

Directorio de Profesores del curso: "Fundamentos y Aplicaciones de la Ingeniería de Sistemas (del 9 al 23 de noviembre de 1981).

1. Dr. José de Jesús Acosta Flores (Coordinador)
Subjefe
División de Estudios de Posgrado
Facultad de Ingeniería
U N A M
México 20, D.F.
550 52 15 Ext. 4464
2. M. en I. Antonio Alvarado Domínguez
Director General
Ingeniería de Transportes y Urbanismo, S.A.
Sor Juana Inés de la Cruz No. 9
Col. Sta. Ma. la Ribera
México 4, D.F.
541 25 38
3. Dr. Juan Pablo Antón Caballa
Investigador
Instituto de Ingeniería
Facultad de Ingeniería
U N A M
México 20, D.F.
550 52 15 Ext. 3621
4. Dr. Raúl Carvajal Moreno
Investigador
I I M A S
U N A M
México 20, D.F.
550 52 15 Ext. 4574 C.U.
5. Dr. Jorge Díaz Padilla
Director General
Felipe Ochoa y Asociados, S. C.
Ricardo Castro No. 54-8° Piso
Col. Guadalupe Inn
México 20, D.F.
550 95 88
6. Ing. José Antonio Esteva Maraboto
Director General
Fundación Javier Barrios Sierra, A. C.
Camino al Ajusco s/n
Fraccionamiento Charrería
Col. Pedregal
Apartado Postal No. 20061
México 20, D.F.
568 92 77
7. Dr. Sergio Fuentes Maya
Jefe de la Unidad de Procedimientos
y Normas
Dirección del Centro de Información
Comisión del Plan Nacional Hidráulico
S A R H
Tepic No. 40 3° Piso
Col. Roma
México 7, D.F.
584 72 45
8. Dr. Oveti Gelman Muravchik
Investigador
Instituto de Ingeniería
U N A M
México 20, D.F.
548 97 93
9. M. en I. Francisco Jauffred Mercado
Jefe de la Unidad de Informática
Subsecretaría de Obras Públicas
S A H O P
Xola y Ave. Universidad Cuerpo B 5° Piso
México 12, D.F.
10. Dr. Felipe Lara Rosano
Coordinador del Área de Sistemas
Instituto de Ingeniería
U N A M
México 20, D.F.
548 97 93
11. Dr. Alejandro López Toledo
Director de Planeación y Desarrollo
Felipe Ochoa y Asociados Consultores
Ricardo Castro No. 54-7° Piso
Col. Guadalupe Inn.
México 20, D.F.
550 96 88
12. M. en C. Germán Sergio Monroy Alvarado
Jefe del Dpto. de Sistemas
División de Ciencias Básicas e Ingeniería
U A M Edificio 3 Oficina 245 2do. Piso
Acapotzalco, México 16, D.F.
382 50 00 Ext. 25

FECHA	DURACION	T E M A S	PROFESORES
9 de noviembre	16:30	LA INGENIERIA DE SISTEMAS EN LA DECADA DE LOS 80'S	DR. FELIPE OCHOA ROSSO
	18	METODOLOGIA EN SISTEMAS	M. EN I. GERMAN MONROY ALVARADO
	19:30	ENFOQUE SISTEMICO	DR. OVSEI GELMAN
10 de noviembre	16:30	FILOSOFIA DE SISTEMAS	DR. RAUL CARVAJAL MORENO
	18	PLANEACION Y SISTEMAS	DR. FELIPE LARA ROSANO
	19:30	PLANEACION PROSPECTIVA	ING. JOSE ANTONIO ESTEVA MARABOTO
11 de noviembre	16:30	LA ESTADISTICA	DR. ALEJANDRO LOPEZ TOLEDO
	18	LA COMPUTADORA	M. EN I. ANTONIO OLIVERA SALAZAR
	19:30	LA INVESTIGACION DE OPERACIONES	DR. MIGUEL COBIAN SELA
12 de noviembre	16:30	PROGRAMACION LINEAL	DR. JOSE DE JESUS ACOSTA FLORES
	18	EJERCICIOS	
	19:30	ASIGNACION OPTIMA DE RECURSOS HUMANOS	DR. MARCO ANTONIO MURRAY LASSO
13 de noviembre	16:30	PROGRAMACION DINAMICA	DR. SERGIO FUENTES MAYA
	18	EJERCICIOS	
	19:30	EL PROBLEMA DE ASIGNACION DE AGUA	
16 de noviembre	16:30	TEORIA DE INVENTARIOS	M. EN I. GUSTAVO ROCHA BELTRAN
	18	EJERCICIOS	
	19:30	UN CASO ESPECIAL DE LA POLITICA DE INVENTARIOS "E, T".	M. EN C. JORGE TURCOTT RIOS
... 12			
FECHA	DURACION	T E M A S	PROFESORES
17 de noviembre	16:30	TEORIA DE DECISIONES	M. EN I. ARTURO FUENTES ZENON
	18	EJERCICIOS	DR. JOSE DE JESUS ACOSTA FLORES
	19:30	APLICACION DE LA TEORIA DE DECISIONES EN EL SISTEMA URBANO	DR. JORGE DIAZ PADILLA
18 de noviembre	16:30	SIMULACION DIGITAL	M. EN C. MARCIAL PORTILLA ROBERTSON
	18	DINAMICA DE SISTEMAS	
	19:30	UN MODELO CORPORATIVO PARA TELEFONOS DE MEXICO	DR. ENRIQUE ZEPEDA BUSTOS
19 de noviembre	16:30	SIMULACION DEL METROPOLITANO DE LA CIUDAD DE MEXICO	M. EN I. LEONARD RAPOPORT YAVITE
	18	PLANEACION DEL DESARROLLO INDUSTRIAL REGIONAL	DR. JUAN PABLO ANTUN
	19:30	ANALISIS DE UNA EMPRESA COMO SISTEMA	M. EN I. ALBERTO MORENO BONETT
23 de noviembre	16:30	ANALISIS DE SENSIBILIDAD EN EL ESTUDIO DE CARRETERAS	M. EN C. RODOLFO TELLEZ GUTIERREZ
	18	APLICACION DE LOS MODELOS DE TRANSPORTE EN LA CIUDAD DE MEXICO	M. EN I. ANTONIO ALVARADO DOMINGUEZ
	19:30	INGENIERIA DE SISTEMAS: UNA VISION PANORAMICA	M. EN I. FRANCISCO J. JAUFFRED MERCADO
		CLAUSURA	

EVALUACION DEL PERSONAL DOCENTE

(1)

CURSO: FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

FECHA: 9 al 23 de noviembre

	DOMINIO DEL TEMA	EFICIENCIA EN EL USO DE AYUDAS AUDIOVISUALES	MANTENIMIENTO DEL INTERES. (COMUNICACION CON LOS ASISTENTES, AMENIDAD, FACILIDAD DE EXPRESION).	PUNTUALIDAD
CONFERENCISTA				
1. DR. FELIPE OCHOA ROSSO				
2. M. EN I. GERMAN MONROY ANDRADE				
3. DR. OVSEI GELMAN				
4. DR. RAUL CARVAJAL MORENO				
5. DR. FELIPE LARA ROSSANO				
6. ING. JOSE ANTONIO ESTEVA MARABOTO				
7. DR. ALEJANDRO LOPEZ TOLEDO				
8. M. EN I. ANTONIO OLIVERA SALAZAR				
9. DR. MIGUEL COBIAN SELA				

ESCALA DE EVALUACION : 1 a 10

EVALUACION DEL PERSONAL DOCENTE

CURSO: FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

FECHA: 9 al 23 de noviembre de 1981

	DOMINIO DEL TEMA	EFICIENCIA EN EL USO DE AYUDAS AUDIO VISUALES	MANTENIMIENTO DEL INTERES. (COMUNICACION CON LOS ASISTENTES, AMENIDAD, FACILIDAD DE EXPRESION).	PUNTUALIDAD
CONFERENCISTA				
10 DR. JOSE DE JESUS ACOSTA FLORES				
11 DR. MARCO ANTONIO MURRAY LASSO				
12 DR. SERGIO FUENTES MAYA				
13 M. EN I. GUSTAVO ROCHA BELTRAN				
14 M. EN C. JORGE TURCOTT RIOS				
15 M. EN I. ARTURO FUENTES ZENON				
16 DR. JORGE DIAZ PADILLA				
17 M. EN C. MARCIAL PORTILLA ROBERTSON				
18 DR. ENRIQUE ZEPEDA BUSTOS				
ESCALA DE EVALUACION : 1 a 10				

EVALUACION DEL PERSONAL DOCENTE

(1)

CURSO: FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

FECHA: 19 al 23 de noviembre de 1981

	DOMINIO DEL TEMA	EFICIENCIA EN EL USO DE AYUDAS AUDIO VISUALES	MANTENIMIENTO DEL INTERES. (COMUNICACION CON LOS ASISTENTES, AMENIDAD, FACILIDAD DE EXPRESION).	PUNTUALIDAD
CONFERENCISTA				
19 M. EN I. LEONARD RAPOPORT YAWITZ				
0 DR. JUAN PABLO ANTUN				
1 M. EN I. ALBERTO MORENO BONETT				
2 M. EN C. RODOLFO TELLES GUTIERREZ				
3 M. EN I. ANTONIO ALVARADO DOMINGUEZ				
4 M. EN I. FRANCISCO JAUFFRED MERCADO				

ESCALA DE EVALUACION : 1 a 10

EVALUACION DE LA ENSEÑANZA

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

TEMA		ORGANIZACION Y DESARROLLO DEL TEMA	GRADO DE PROFUNDIDAD LOGRADO EN EL TEMA	GRADO DE ACTUALIZACION LOGRADO EN EL TEMA	UTILIDAD PRACTICA DEL TEMA
1	LA INGENIERIA DE SISTEMAS EN LA DECADA DE LOS 80'S				
2	METODOLOGIA EN SISTEMAS				
3	ENFOQUE SISTEMICO				
4	FILOSOFIA DE SISTEMAS				
5	PLANEACION Y SISTEMAS				
6	PLANEACION PROSPECTIVA				
7	LA ESTADISTICA				
8	LA COMPUTADORA				
9	LA INVESTIGACION DE OPERACIONES				
1	PROGRAMA LINEAL				
ESCALA DE EVALUACION: 1 a 10					

EVALUACION DE LA ENSEÑANZA

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

TEMA		ORGANIZACION Y DESARROLLO DEL TEMA	GRADO DE PROFUNDIDAD LOGRADO EN EL TEMA	GRADO DE ACTUALIZACION LOGRADO EN EL TEMA	UTILIDAD PRACTICA DEL TEMA
11	EJERCICIOS				
12	ASIGNACION OPTIMA DE RECURSOS HUMANOS				
	PROGRAMACION DINAMICA				
14	EJERCICIOS				
15	EL PROBLEMA DE ASIGNACION DE AGUA				
16	TEORIA DE INVENTARIOS				
17	EJERCICIOS				
18	UN CASO ESPECIAL DE LA POLITICA DE INVENTARIOS				
19	TEORIA DE DECISIONES				
20	EJERCICIOS				

ESCALA DE EVALUACION: 1 a 10

EVALUACION DE LA ENSEÑANZA

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

TEMA	ORGANIZACION Y DESARROLLO DEL TEMA	GRADO DE PROFUNDIDAD LOGRADO EN EL TEMA	GRADO DE ACTUALIZACION LOGRADO EN EL TEMA	UTILIDAD PRACTICA DEL TEMA	
21 APLICACION DE LA TEORIA DE DECISIONES					
22 SIMULACION DIGITAL					
23 DINAMICA DE SISTEMAS					
24 UN MODELO CORPORATIVO PARA TELEFONOS DE MEXICO					
25 SIMULACION DEL METROPOLITANO DE LA CD. DE MEXICO					
26 PLANEACION DEL DESARROLLO INDUSTRIAL REGIONAL					
27 ANALISIS DE UNA EMPRESA COMO SISTEMA					
28 ANALISIS DE SENSIBILIDAD EN EL ESTUDIO DE CARRETERAS					
29 APLICACION DE LOS MODELOS DE TRANSPORTE EN LA CD. DE MEXICO					
30 INGENIERIA DE SISTEMAS: UNA VISION PANORAMICA					

ESCALA DE EVALUACION: 1 a 10

EVALUACION DEL CURSO

3

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

ESCALA DE EVALUACION DE 1 A 10

1. ¿Qué le pareció el ambiente en la División de Educación Continua?

MUY AGRADABLE	AGRADABLE	DESAGRADABLE

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

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

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

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

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

AUTOMOVIL PARTICULAR	METRO	OTRO MEDIO

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

5. ¿Recomendaría el curso a otras personas?

SI	NO

6. ¿Qué cursos le gustaría que ofreciera la División de Educación Continua?

7. La coordinación académica fue:

EXCELENTE	BUENA	REGULAR	MALA

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

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

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

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

10. Otras sugerencias:



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

**FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE
SISTEMAS**



**APLICACION DE LA CIENCIA DE LOS SISTEMAS A LA ESTRUCTU-
RACION DE PROBLEMAS DE PLANEACION.**

DR. FELIPE OCHOA ROSSO

NOVIEMBRE, 1981.

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

Felipe Ochoa¹

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

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

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

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

DESARROLLO Y SU PLANEACION

1.1 NATURALEZA DEL DESARROLLO

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

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

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

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

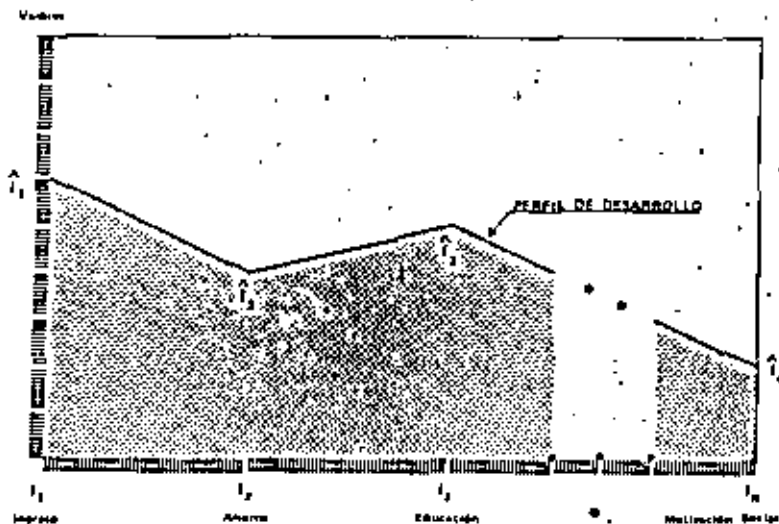


FIG. 1 PERFILES DE DESARROLLO INDIVIDUAL EN EL TIEMPO t.

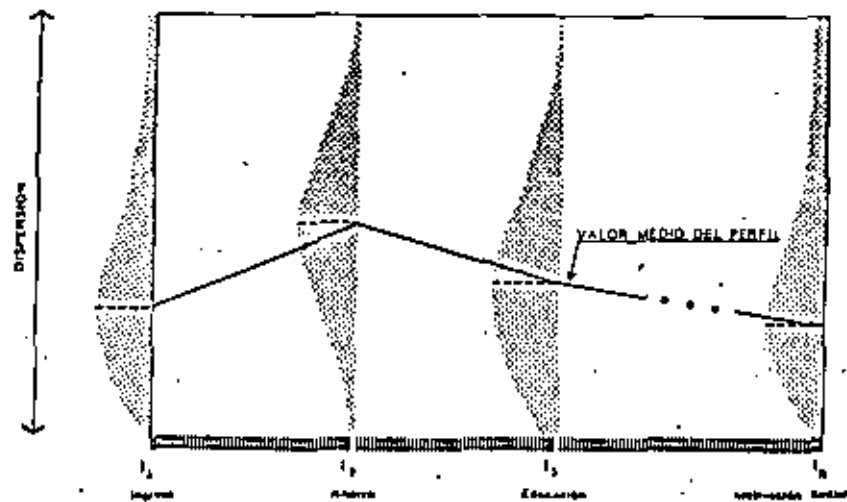


FIG. 2 PERFIL DE DESARROLLO DEL PAIS EN EL TIEMPO t.

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

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

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

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

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

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

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

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

1.2 ENCAUZAMIENTO DEL DESARROLLO

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

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

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

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

1.3 EL PROCESO DE PLANEACION

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

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

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

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

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

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

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

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

LA CIENCIA DE LOS SISTEMAS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ESTRUCTURA DE LA PLANEACION

3.1 EXISTENCIA DE LA ESTRUCTURA

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

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

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

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

3.2 ESQUEMA DE DESAGREGACION

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

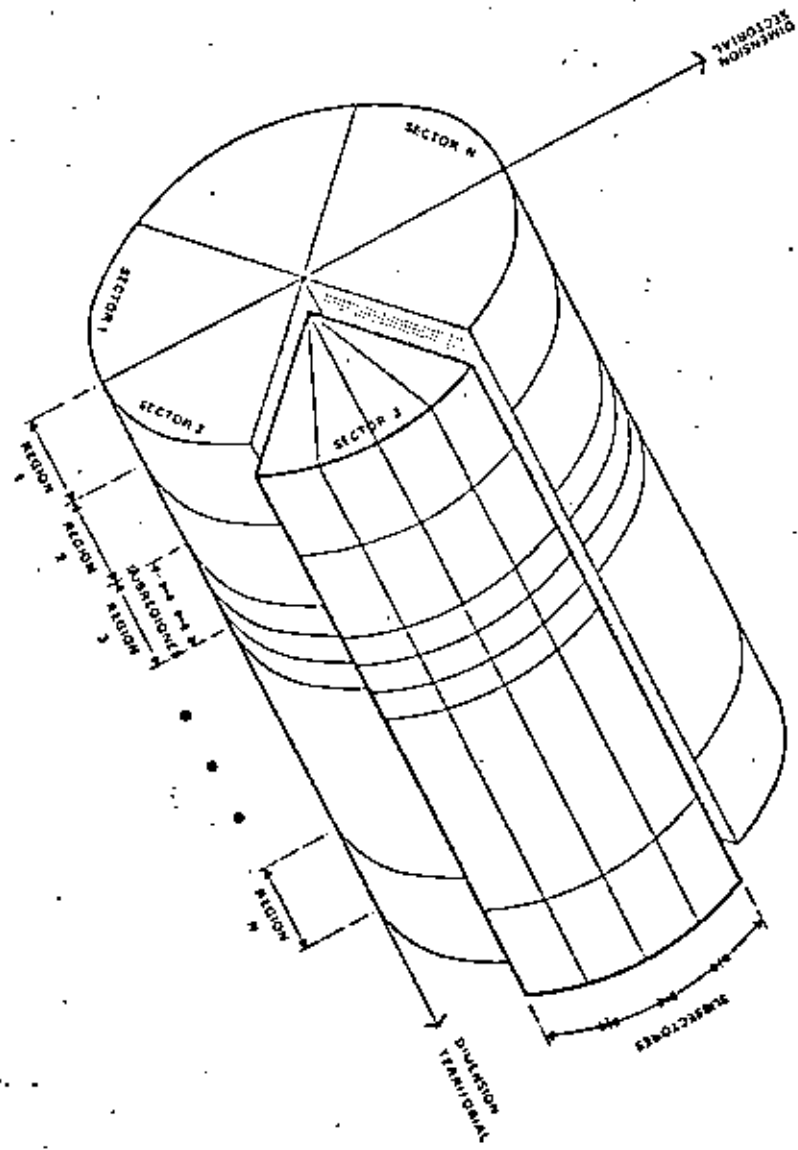
El procedimiento de desagregación del plan global, para efectos de hacerlo operativo, puede llevarse a cabo desagregando o partiendo con respecto a: la dimensión sectorial, la dimensión territorial o ambas dimensiones simultáneamente.

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

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

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

FIG. 2 ESQUEMA DE CLASIFICACION DE LA PLANEACION



3.3 PRINCIPIOS GENERALES

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

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

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

3.4 GENERALIDAD DEL PROCESO DE PLANEACION

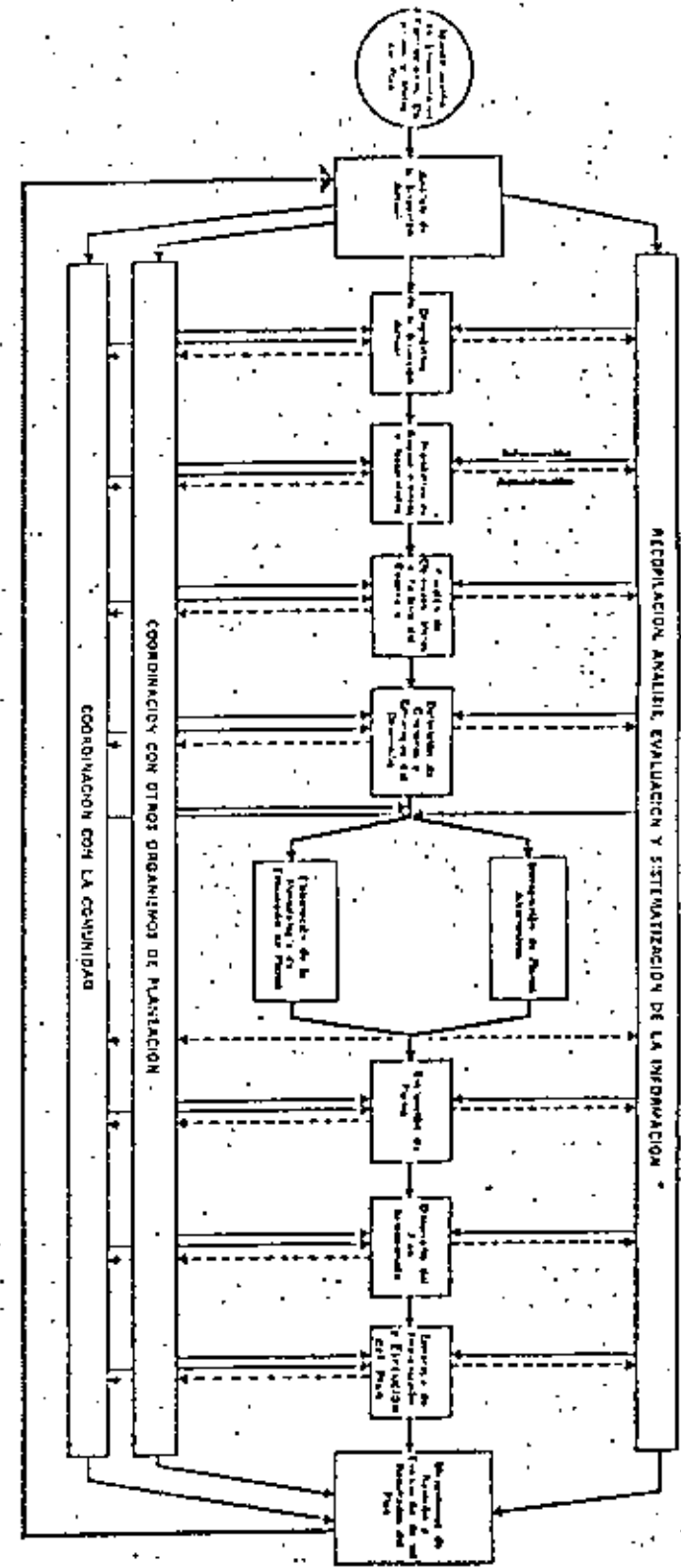
La experiencia derivada de casos de planeación en este y otros países nos señala que el proceso de realización obedece a una serie de pasos o fases de aplicación general, independientemente de que se trate de la planeación del país, de un sector o de una empresa y en cualquier ámbito espacial. Aun cuando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

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

3.5 HERRAMIENTAS DE LA PLANEACION

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

FIG. 4 DIAGRAMA CONCEPTUAL DEL PROCESO DE PLANEACION



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

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

3.6 COMPONENTES DEL SISTEMA A PLANEAR

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

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

1. ESPACIO

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

2. RECURSOS NATURALES

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

3. RECURSOS HUMANOS

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

4. ORGANIZACION

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

5. ACERVO DE CAPITAL

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

6. MECANISMO PRODUCTIVO

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

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

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

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

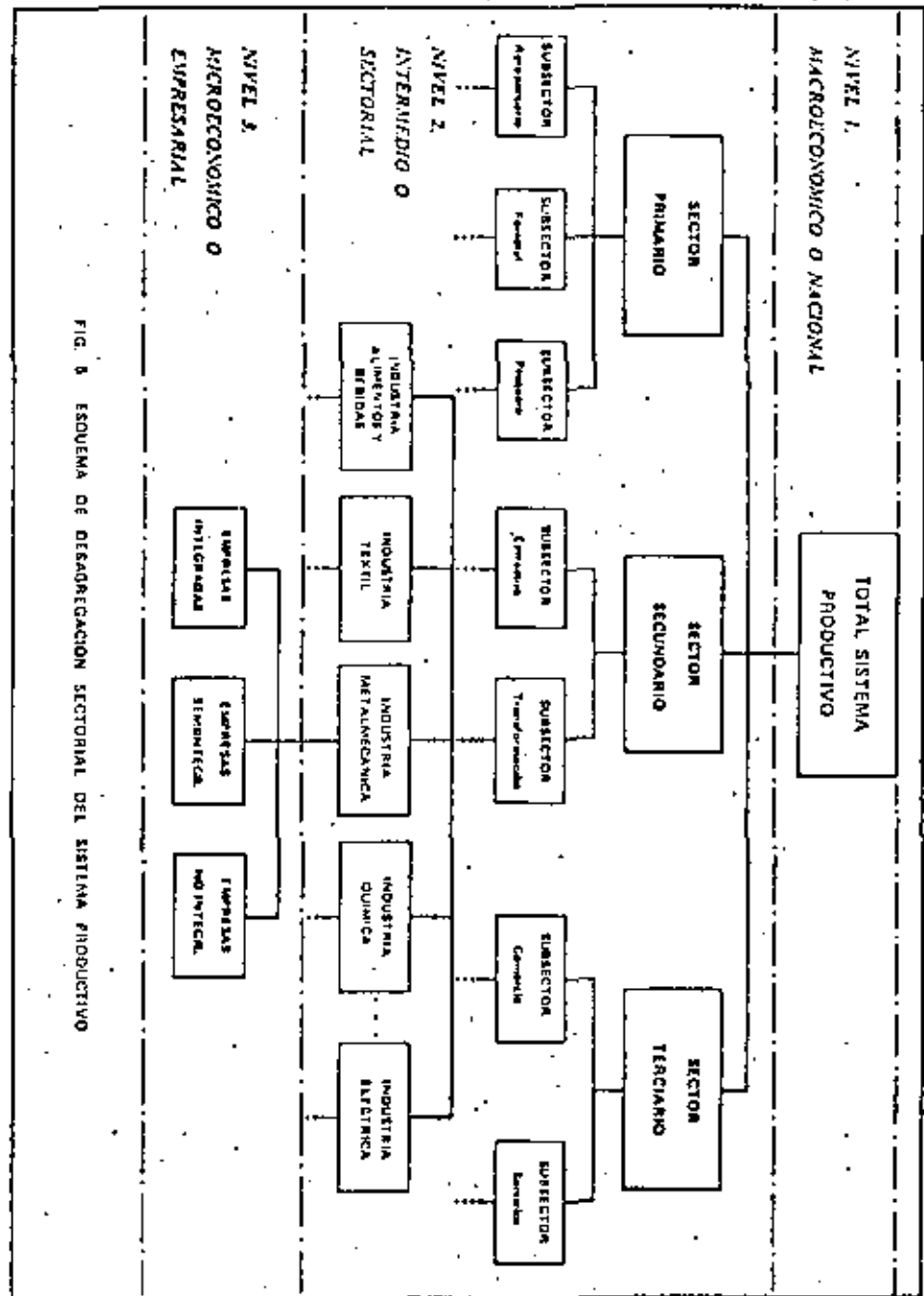
3.7 INFORMACION REQUERIDA PARA EL ANALISIS Y DIAGNOSTICO

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

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

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

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



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

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

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

3.8 RECURSOS HUMANOS PARA LA PLANEACION

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

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

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

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

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

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

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

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

3.9 CONCLUSION

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

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

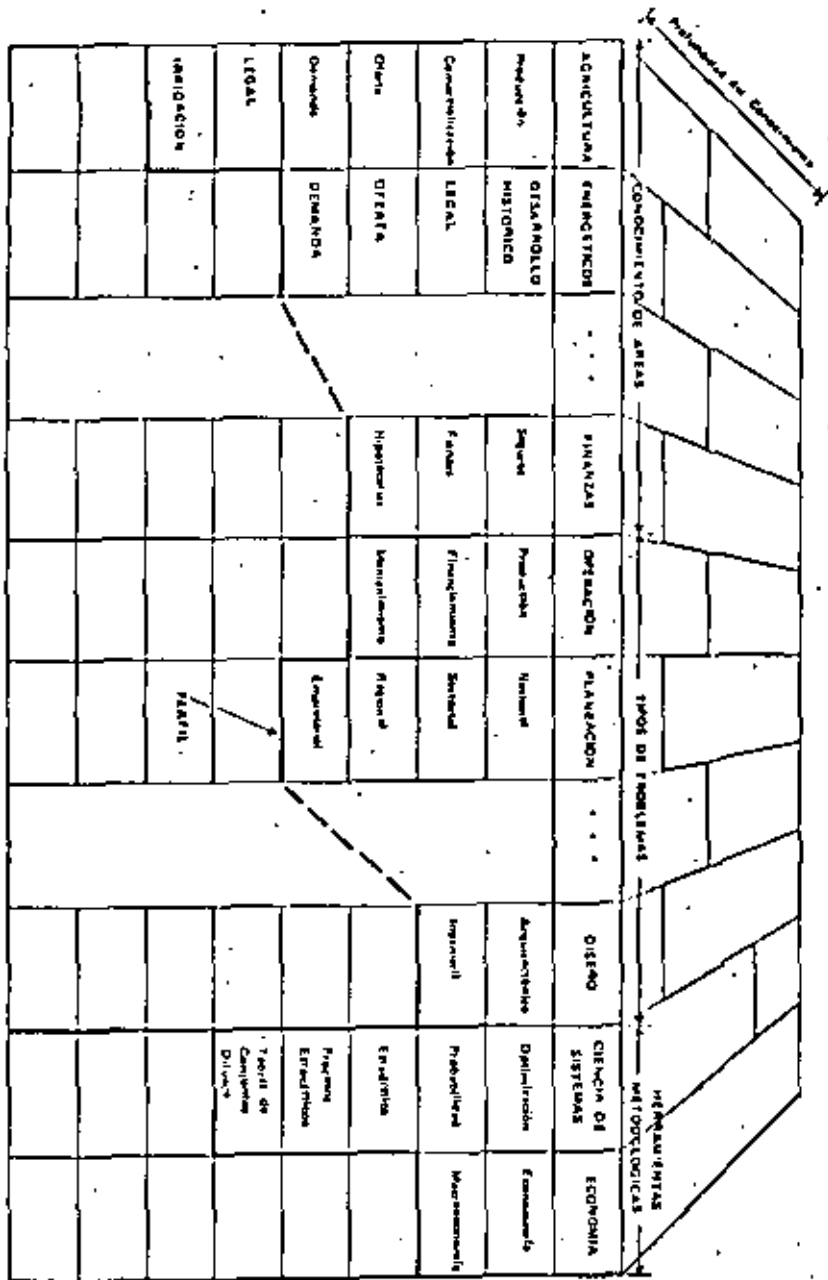


FIG. 8 PERFIL DE EXPERIENCIA CONOCIMIENTO DEL EXPERTO

REFERENCIAS

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



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

**METODOLOGIA DE LA CIENCIA E INGENIERIA DE SISTEMAS
ENFOQUE SISTEMICO**

DR. OVSEI GELMAN

NOVIEMBRE, 1981

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

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

Abstract

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

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

Resumen

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

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

INTRODUCCION: Metodología y Ciencia de Sistemas

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

La poca popularidad de la metodología como resultado de:

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

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

carencia de reportes sobre actividades metodológicas.

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

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

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

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

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

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

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

Winer y Rosenblueth; búsqueda de nuevos conceptos.

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

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

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

Las raíces de la TGS

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

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

el desarrollo de problemas nuevos y complejos formando sistemas interconectados.

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

La insuficiencia de las respuestas:

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

Dos conclusiones.

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

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

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

- al lugar especial en la cognición de las teorías en general, y de las TGS en particular.
- el doble papel que juegan las teorías científicas como medio, y, al mismo tiempo, como sujeto de las investigaciones sistémicas.

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

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

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

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

la tendencia dominante a reducir los problemas metodológicos al nivel y las posibilidades de estudios lógicos en general: los cuales han encontrado su expresión en el intento por representar una teoría en la forma de un cálculo lógico interpretado (primer orden).

utilizar inconscientemente el paradigma específico que constituye la base del enfoque "mecanicista y elementarista", buscando deducir las propiedades del sistema estudiado solamente del estudio de proposiciones y sus relaciones locales.

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

crítica del "convencionalismo"

la necesidad de una definición general, efectiva y sencilla.

aspectos metodológicos y epistemológicos de la definición.

- * la distinción entre el "objeto" y el "sujeto" de estudio.
- * el papel de enfoque de investigación (paradigma) en la conformación del "sujeto de estudio", organización de la experiencia.
- * el constructo como el contenido de la definición del concepto.
- * diferencia entre el procedimiento para formar el constructo y el de su subsecuente sustitución por su definición.
- e) "sistema general" como un constructo.
- * las fuentes epistemológica y psicológica de dos representaciones específicas del "sujeto de estudio" de la investigación; la integral y la componencial (figs. 4, 5 y 6).
- * el "sistema general" como un constructo formado por estas dos representaciones.

La teoría científica como una estructura funcional.

- la teoría bajo el enfoque integral: la idea de su descomposición funcional.

- el estudio de la estructura "externa" de la teoría como fuente de obtención de sus objetivos globales, considerando el papel y el lugar de la teoría dentro de un sistema más general del conocimiento científico; objetivos tales como el estudio y análisis de:

- * el comportamiento (funcionamiento) y propiedades del objeto
- * su estructura
- * el comportamiento y propiedades de sus elementos o componentes
- * cognición de los mecanismos y procesos responsables del comportamiento y de las propiedades del sistema en su totalidad.

estos fines son alcanzados a través de determinados funcionamiento de la teoría como:

- * obtención y descripción de hechos.
- * organización de los hechos (selección, unificación, sistematización, organización, etc).
- * inferencia de principios y leyes empíricas.
- * explicación, predicción y control.
- * obtención de nuevo conocimiento
- * recomendación de esquemas efectivos para el cálculo y la solución de problemas
- * construcción de representaciones ontológicas de la realidad.

el estudio de la estructura "interna" y en particular de una de sus posibles representaciones: la estructura funcional agregado hipotético de subsistemas interconectados tal que su funcionamiento asegura completamente el funcionamiento de la teoría en su totalidad como un determinado sistema conceptual. Alcanzado así este sistema ciertos fines de actividad cognoscitiva dentro de un sistema mayor de conocimiento científico (fig. 8).

* "el campo de estudio": la formulación del problema, su traducción, reducción a una forma estándar, su generalización o reducción, formulación de nuevos problemas, etc.

* "el campo objetivo" "sujeto": para extraer un fragmento definido del mundo objetivo (región objetiva), reconocimiento, selección y descripción, construcción del sujeto de la investigación empírica.

* "modelo": descripción por medio del análisis y la sistematización de hechos utilizando especialmente el objeto abstracto creado.

* "base de la teoría": suministro de las nociones básicas sobre el mundo objetivo: las formas gnoseológicas-para dignas de Kuhn, organizadores de la experiencia de Bogdanov, los ideales del orden neutral de Toulmin, plantillas de Lefebvre.

- la fuente de la estructura de modelado, una totalidad de nociones hipotéticas, etc.

- creación y suministro de multitud de conceptos, básicos e iniciales, con sus definiciones y algunos elementos y objetos prestados por otras teorías.

- suministro de términos lógicos.

* "teoría per se": para predecir y aportar nuevo conocimiento, para explicar y controlar, para el estudio del modelo, hallazgo de leyes e interpretación de resultados a nivel empírico.

* "resultados": para almacenar y entregar resultados en forma específica: leyes y ecuaciones-nuevos constructos, nociones y principios recomendaciones prácticas, previsión científica, etc.

* "medios y métodos": para proveer a otros subsistemas métodos especiales, procedimientos, etc.

Nuevos resultados

Estudios desarrollados como base para:

- comparación de diferentes definiciones de sistema: su clasificación.
- clasificación de teorías científicas: el estudio de su generalización.
- perspectivas para la construcción de teoría de sistema general (fig. 9).

Aplicación especial en la ingeniería de sistemas del marco desarrollado.

- ingeniería como una actividad especial para construir (diseño e implantación).
- especificidad de la ingeniería de sistemas: sistemas de gran escala (complejidad y globalidad).
 - * organización y coordinación de las diferentes actividades: diseño del proyecto.
- estructura lógica del proyecto:
 - * estudio de las dificultades: la problemática.
 - * definición de los objetivos.
 - * elaboración del paradigma.
 - * conceptualización de los sistemas.
 - * especificación de los sistemas (medición de parámetros, etc).
 - * estudio de las posibles soluciones (diseño nuevos sistemas, rediseño, optimización).
 - * estudio de las alternativas de los estados deseados: planificación estratégica.
 - * estudio de los posibles senderos para pasar del estado actual al estado deseado.
 - * diseño de las acciones concretas necesarias; planificación táctica.
 - * implantación del proyecto con su consecuente adaptación.

Planes para el futuro

Diseño de proyectos

estudios sobre la descomposición de los proyectos.

formalización de ciertas etapas.

clasificación de los proyectos.

diseño de proyectos estándar

La construcción de la teoría de sistema general como un proyecto de ingeniería

análisis de las variantes conocidas en la TGS: su tipología.

los problemas de la unificación de las teorías

diseño de teorías con especificaciones para ser hecho por computadora

Elaboración de medios lógico-metodológicos efectivos para la descripción, el modelado y el estudio de sistemas.

estudio de los procedimientos para la formación de constructos, con énfasis específico en "sistema".

análisis de la relación entre el constructo y el modelo como una diferencia entre las funciones de representación en el primero, y de sustitución en el segundo.

los problemas de la construcción de modelos con la utilización del álgebra moderna.

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

Estructura lógica del proyecto

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

Planes para el futuro

Diseño de proyectos

- estudios sobre la descomposición de los proyectos

- formalización de ciertas etapas

Clasificación de los proyectos

- diseño de proyectos estándar

La construcción de la teoría de sistemas general como un proyecto de ingeniería

- análisis de las variantes conocidas de la TGS: su tipología
- los problemas de la unificación de las teorías
- diseño de teorías con especificaciones para ser hecho por computadora

Elaboración de medidas lógico-metodológicas efectivas para la descripción, el modelado y el estado de sistemas

- estudio de los procedimientos para la formación de construcciones, con énfasis específico en "sistema"
- análisis de la relación entre el constructo y el modelo como una diferencia entre las funciones de representación en el primero y de sustitución en el segundo

- los problemas de la construcción de modelos con la utilización del álgebra moderna

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

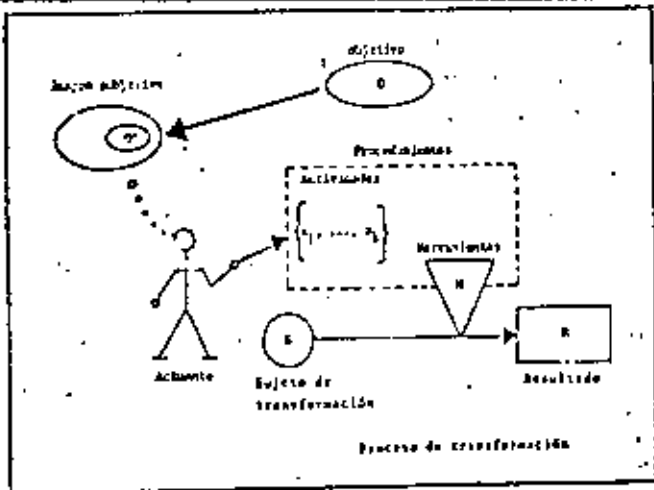


Fig. 1. Paradigma de la actividad humana (primera aproximación)

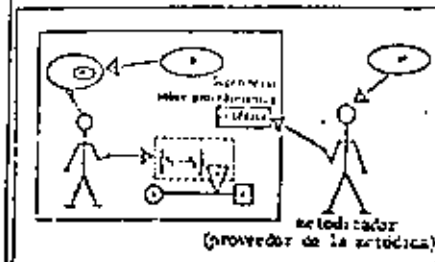


Fig. 2. Papel del metodólogo en el paradigma de la actividad humana

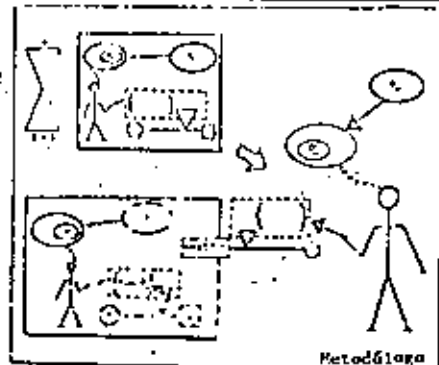


Fig. 3. Papel del metodólogo en el paradigma de la actividad humana

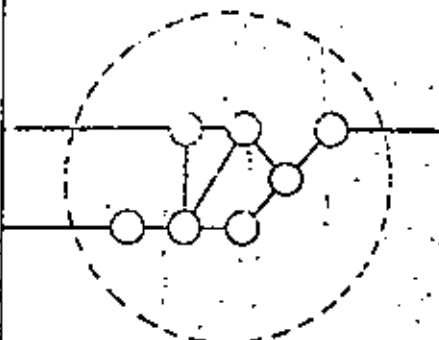


Fig. 4. Representación "C" del sistema

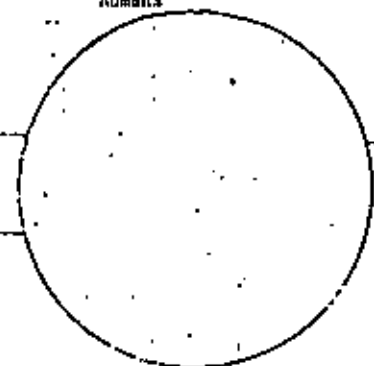


Fig. 5. Representación "N" del sistema

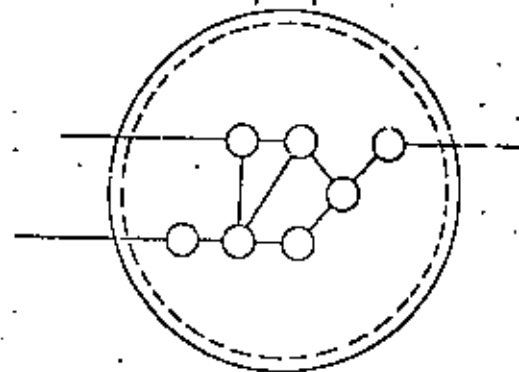


Fig. 6. Confirmación de las representaciones complementarias del sistema

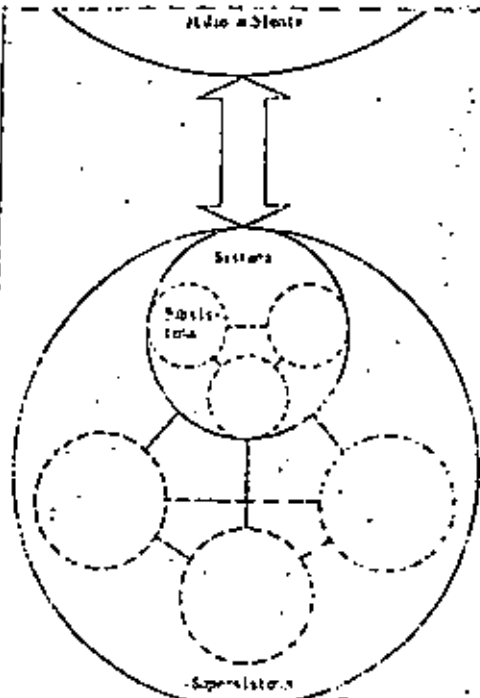


Fig 7 Paradigma de las relaciones entre sub-sistemas, sistemas, super-sistemas y medio ambiente

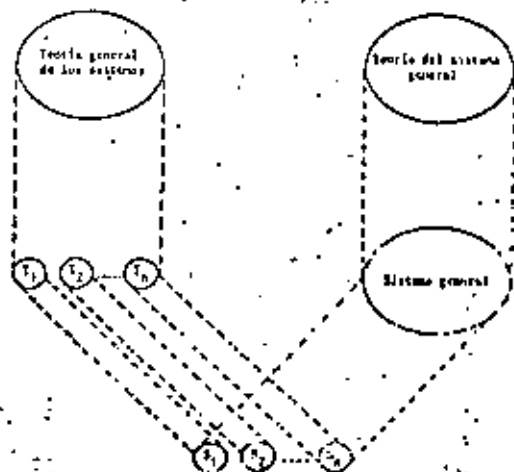


Fig 9 Paradigma para la construcción de los diferentes conceptos: teoría general de los sistemas y teoría del sistema general

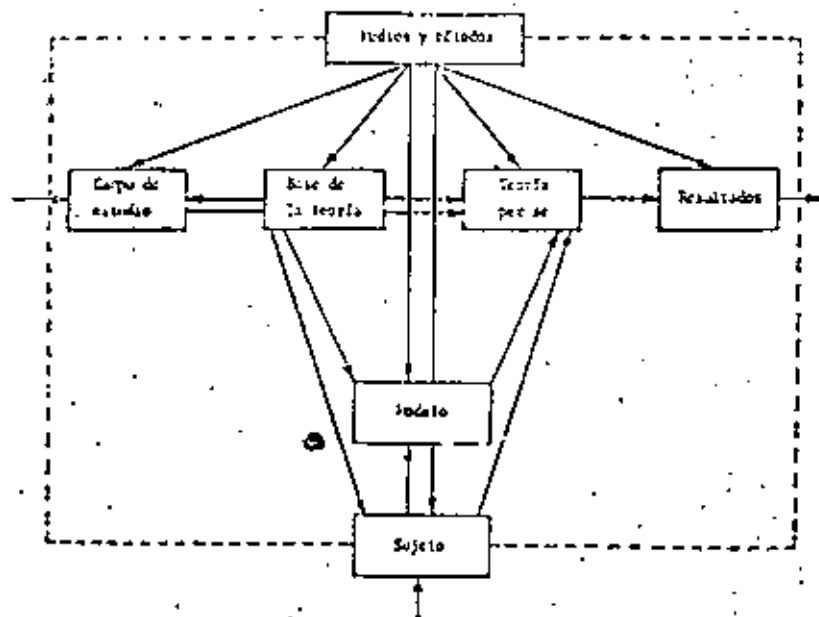


Fig 8 Diagrama de la estructura funcional de la teoría científica (primera aproximación)



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

PERSPECTIVA Y PLANEACION TECNOLOGICA

ING. JOSE ANTONIO ESTEVA MARABOTO

NOVIEMBRE, 1981

Es un hecho indiscutible que las acciones y las decisiones que tomamos ahora influyen sobre el futuro.

El futuro, de hecho, es el único tiempo sobre el cual podemos tener alguna capacidad de manipular.

En otras épocas, el futuro se temía, se esperaba, se trataba de adivinar; hoy, más que cualquier otra cosa, tratamos de diseñarlo y de influir en él.

Los diferentes fenómenos y actividades cuyo desarrollo nos interesa en el futuro pueden ocurrir de diferentes maneras; si no fuera así, no tendríamos necesidad de tomar decisiones; bastaría esperar pasivamente y asimilar los acontecimientos.

Todas nuestras acciones, aunque sea implícitamente, se basan en decisiones, sólo actuales, en un sentido o en otro, si queremos, lo que significa haber tomado una opción. Incluso cuando decidimos no actuar, estamos optando. Inmediatamente, nuestras acciones y nuestras decisiones tienen impactos sobre el futuro. Pueden ser más o menos significativos, más o menos inmediatos. Puesto que es así, vale la pena decidir tomando en cuenta las consecuencias de las decisiones.

Decidir es optar por un camino entre varios posibles (en algunos casos, por un fin entre varios posibles). Generalmente tomar un camino significa renunciar a todos los demás posibles; a veces, esto condiciona el futuro en el sentido de cerrar otras posibilidades posteriores.

La decisión es la voluntad de actuar en un cierto sentido. Planear es decidir anticipadamente acciones o, más aún, cursos de acción.

En este sentido, no puede aceptarse el esquema muy difundido de separar, incluso organizacionalmente la planeación de la acción. Planear no puede ser un pretexto para no actuar, sino una forma de contrar y orientar las decisiones y las acciones.

Por ello, la acción de planear necesita un fin. Difícilmente podrían decidirse cursos de acción sin perseguir algo.

Incluso las acciones que tomamos todos los días, aparentemente sin un fin explícito, persiguen fines. Actuamos de acuerdo con nuestros valores y nuestros objetivos de vida.

Nuestras acciones además, tienen consecuencias, efectos múltiples.

Planear es decidir anticipadamente sobre acciones a tomar ahora o después, que tienen efectos sobre el futuro, con el propósito de alcanzar fines, tomando en cuenta sus posibles consecuencias y los posibles obstáculos o impulsos que se presentarán durante el proceso.

DOS PARADIGMAS DE PLANEACION

Podemos relacionarnos con el futuro de muchas maneras:

Algunos lo ven solamente como el desenlace fatal de las tendencias actuales.

Otros, como algo desconocido, incontrolable, que va planteando a lo largo del camino problemas que deben resolverse sobre la marcha (es decir, una especie de sucesión de "presentes", sin mucha relación entre sí). También puede verse como el resultado de las acciones y decisiones de los participantes. Finalmente, puede contemplarse como objeto de intencionalidad y, en este sentido, puede diseñarse. Estas actitudes suelen designarse respectivamente como inactividad, reactividad, proactividad y proactividad.

Las dos primeras no admiten ni necesitan planeación. Sin embargo, pueden estudiarse a través del pronóstico y de la previsión.

Las dos últimas y sobre todo la cuarta son el objeto de la planeación y de la prospectiva.

El paradigma causal de la planeación considera el futuro como el resultado de conjuntarse decisiones y acciones sucesivas de diversos actores. Compara distintos cursos de acción propuestos desde el punto de vista de sus efectos esperados y, en su caso, opta por los que considere más adecuados.

Otro se verá después, la comparación de los cursos de acción implica la posibilidad de medir en alguna forma sus resultados, lo que usualmente ocurre en términos de probabilidad y de utilidad.

El paradigma teleológico, en cambio, parte de la definición de los fines. Establece puntos de llegada y busca, de acuerdo con ellos, una o varias opciones que permitan conducir a ellos. De alguna manera, la utilidad se considera como valor de partida y los indicadores de comparación son principalmente la probabilidad y el costo (en sentido amplio).

La planeación asociada al primer paradigma es la de uso más generalizado: la teleológica es la que recientemente se ha designado como estratégica y es uno de los intereses fundamentales de la prospectiva.

En uno y otro casos, el trabajo de planeación exige desarrollar ciertas funciones concretas sin las cuales no puede emprenderse:

- Definición del objeto focal, entendido como el conjunto de elementos y variables sobre las cuales se quiere que incida el plan.
- Definición del entorno significativo, o sea el conjunto de elementos y variables que, sin pertenecer estrictamente al objeto focal, mantienen con él relaciones tales que puedan condicionar el éxito del plan o verse afectados significativamente por él.
- Identificación de las variables e indicadores significativos, que se consideren suficientes y representativos para estudiar el proceso que se trate.
- Proposición de opciones (ya sean causales o teleológicas).
- Comparación y evaluación de las opciones.

- Selección en su caso de una de ellas.

Puesto que el futuro no existe y depende de múltiples variables, no es difícil aceptar que presenta opciones múltiples.

En las circunstancias actuales, las expectativas futuras, los actores que influyen, los grupos afectados y los posibles acontecimientos excepcionales, unos futuros son más probables que otros o el alcance de una meta es más probable en un momento que en otro.

De la misma manera distintos caminos propuestos para alcanzar el mismo fin pueden tener costos divergos o distintas acciones y decisiones tomadas ahora pueden tener consecuencias valoradas en forma diferente por los actores y por los afectados.

Si esto es así, es posible pensar en una forma de compararlos.

Para los especialistas suficientemente enteraos de un cierto fenómeno, casi siempre es fácil hacer afirmaciones del tipo "A es más probable que B"; si estas afirmaciones pueden hacerse para múltiples opciones, llega el momento en que se plantea la necesidad de preguntar "cuánto más probable es A que B", lo que puede hacerse en "voces" o, más comúnmente, asignando a la probabilidad de que ocurra cada una un valor escalar entre cero y uno.

En el caso de la utilidad, participan otros elementos. No se trata ya de evaluaciones de los especialistas acerca de la probabilidad comparativa, sino de expresión de los participantes en el ejercicio acerca de sus preferencias relativas. Esto plantea dos grandes problemas: el de los criterios a partir de los cuales se estima la utilidad y el de los participantes en la enunciación de las preferencias.

Si bien los especialistas pueden válidamente asignar probabilidades, las preferencias más importantes para un buen plan deberían ser las de los propios afectados por su realización.

COMPLEJIDAD E INCERTIDUMBRE

Desde el principio, el futuro ha intrigado al hombre. Durante mucho tiempo, basó la manera de producirlo, de adivinarlo. Siempre ha habido casos de predicciones sencillas y acertadas que resultaron acertadas, pero está claro que el futuro no puede adivinarse porque depende sólo en parte del pasado y el presente, pero puede construirse a partir de la intencionalidad de los actores.

Hablamos de la posibilidad de planear el futuro; de evaluar distintos cursos de acción o distintos fines posibles. Miráramos más adelante que es posible realizar estas tareas, proponer cambios cualitativos, prever discontinuidades.

Pero un plan no puede ser algo terminado ni invariable; está sujeto a múltiples factores:

- Puede ser necesario decidir sin información suficiente.
- Una o varias de las decisiones que integran el plan pueden ser equivocadas o no producir los resultados esperados o no totalmente.

- Puede haber otros actores interesados en el mismo campo, que busquen maximizar cosas diferentes o peorjan en juicio distintos valores o distintos intereses.
- Puede haber acontecimientos imprevistos.
- O simplemente, puede ser que los resultados de las primeras acciones modifiquen el entorno de tal manera que las acciones posteriores, por no partir de la misma situación original, produzcan consecuencias distintas de las previstas.

Si estos aspectos dejan de tenerse en cuenta el plan tiene poca utilidad y las decisiones que de todas maneras haya que tomar sobre la marcha resultan dispersas.

En cambio, si tenemos en cuenta todos estos aspectos, el plan se hace muy complejo y plantea exigencias crecientes de instrumental adecuado para manejarlo.

Existen métodos de planeación simplificados, basados en la selección de unas cuantas variables, analizadas casi siempre una por una, sin tomar en cuenta sus interrelaciones. Los planes basados en estos métodos tienen utilidad muy limitada.

La definición sobre el grado máximo de complejidad que se considerará en la planeación tiene importancia decisiva sobre su relevancia.

De la misma manera, la evaluación cuantitativa de la incertidumbre siempre presente en la planeación, permite realizar comparaciones y tomar decisiones con mayor seguridad.

LA PLANIFICACIÓN TECNOLÓGICA

Es generalmente admitido que en la medida que se aleja el horizonte de tiempo de la planeación crecen la incertidumbre y la complejidad.

De alguna manera esto significa que la planeación es particularmente útil en fenómenos con una de las dos características siguientes:

- Procesos de desarrollo o de maduración largos.
- Efectos en el largo plazo o acumulativos hasta valores significativos en el largo plazo.

La tecnología es un caso muy significativo de ambos aspectos.

La tecnología permite resolver problemas y aprovechar oportunidades a partir de conocimientos disponibles y siempre en proceso de crecimiento y perfeccionamiento. A través de ella pueden utilizarse mejor los recursos, crear satisfactores de necesidades, reducir el esfuerzo necesario, etc. Para que una sociedad pueda beneficiarse con más ventajas de la tecnología, es indispensable que transcurra un cierto tiempo:

- Para educar a las personas que hayan de utilizarla, integrar y organizar la capacidad de asimilarla.

- Para desarrollar nuevos productos, procesos, técnicas, principios, etc. ensayarlos e introducirlos a la aplicación.

Planeación tecnológica puede significar distintas cosas para diferentes actores.

- Para los responsables de la política tecnológica, significa la definición de marcos generales, la identificación de fines del desarrollo tecnológico y la implantación de programas específicos de acuerdo con la política.
- Para los institutos de investigación, significa la identificación de las prioridades técnicas y prácticas de sus programas y la elección de las mejores combinaciones beneficio-costo.
- Para las empresas administradoras de productos y servicios, significa el desarrollo de su capacidad de resolver problemas o de competir en los campos de avanzada.

De acuerdo con estas preferencias, los actores podrían estar interesados en planear investigaciones, desarrollos de innovaciones, mejoras, comercialización, reducción de costos, etc.

Además de los aspectos anteriores, que representarían principalmente fines de la planeación, es preciso tener en cuenta efectos como la contaminación, modificación de las políticas de empleo, uso de materias primas estratégicas, costos sociales, etc.

Dado el ritmo intenso del avance de la ciencia y la tecnología en nuestro tiempo, los decisores enfrentan continuamente situaciones en las que hay que hacer opciones tecnológicas, las que resultan críticas y en muchos casos condicionan situaciones posteriores, por los altos costos de inversión que suelen llevar asociadas, es decir la planeación tecnológica es una de las aplicaciones naturales de la planeación estratégica o prospectiva.

Puede enfocarse esta planeación desde tres puntos de vista principales:

- La selección de problemas (know what).
- Las decisiones estratégicas (know why).
- La selección de combinaciones específicas de conocimientos (know how).

Como se verá más adelante, estos tres enfoques son distintos y complementarios entre sí.

LA SELECCIÓN DE PROBLEMAS

Una buena parte de los desarrollos tecnológicos modernos se originan en necesidades debidamente identificadas, que han generado procesos de investigación y desarrollo para desarrollar finalmente en satisfactorios adecuados. Es decir, la tecnología de los países desarrollados suele ser una respuesta a las necesidades identificadas.

Cuando tales tecnologías pretenden ser aplicadas en otros países, las condiciones pueden ser suficientemente diferentes como para hacer inadecuadas las soluciones. Esta situación se resuelve a veces a través de esfuerzos de comercialización que en alguna medida "ajustan" la necesidad de los consumidores a la tecnología disponible.

Sin embargo, aún en estos casos, no elimina una etapa importante del proceso tecnológico que es la selección de problemas.

En el otro extremo, en los países en desarrollo algunos autores sostienen la pertinencia de programas de investigación completamente originales, lo que en muchos casos hace que se consiga talento, energías y recursos económicos en hacer investigaciones que ya están hechas y cuyos resultados están publicados y por tanto disponibles libremente para todos.

La selección de problemas es importante para garantizar que las soluciones que se apliquen sean las respuestas que se necesitan. Adoptar indiscriminadamente tecnologías desarrolladas en otras partes equivale a adoptar sus preguntas, o a tratar de responder a nuevas preguntas con sus respuestas y, en muchos casos, dejar nuestras preguntas sin respuesta.

No podemos hacer planeación tecnológica sin una selección previa de los problemas:

- Enunciación de los más significativos.
- Aclaración y refinación de los problemas enunciados.
- Jerarquización y selección.
- Descripción detallada de los problemas en el orden de prioridad elegido.

La solución de los problemas dependerá en buena medida de la forma en que se planteen originalmente. Por ello afirmamos que la selección de los problemas a resolver es un elemento esencial de la planeación.

ALGUNAS DECISIONES ESTRATÉGICAS

Una vez definidos los problemas la planeación tecnológica busca soluciones pertinentes. Aunque hemos afirmado que algunas de las desarrolladas en otras partes pueden ser inadecuadas, afirmamos también que podrían ser adecuadas.

Por lo tanto, la búsqueda de soluciones no sólo se refiere a la elección de una entre varias alternativas técnicas sino, sobre todo, la opción entre varias fórmulas estratégicas.

El aspecto clave en la selección de la estrategia es el desarrollo de la capacidad. De nada sirve disponer de recetas que permitan resolver un número considerable de problemas a partir de información desarrollada en otras partes, si no se dispone de personal capaz de definir el problema que se trata de resolver y de juzgar sobre la pertinencia de aplicarle algunas de las soluciones conocidas o buscar una nueva. Esto significa ser capaz de entender las semejanzas y las diferencias entre nuestros problemas y los de otros países, la forma en que nuestras circunstancias modifican las soluciones o su aplicabilidad, las diferencias en los efectos secundarios, etc. Es importante, pues, optar entre varias posibles políticas:

- Desarrollar o adoptar tecnologías existentes.

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

Cuando se hacen estudios de pronóstico y de evaluación tecnológicos, estas opciones pueden presentar, de un caso a otro, aspectos muy diferentes.

OPCIONES TECNOLOGICAS ESPECIFICAS

Como se dijo antes, en muchos casos las empresas que utilizan tecnología no se plantean el problema en términos de "qué conocimientos se necesitan para resolver los problemas de la gente" sino más bien "qué tamaño de mercado tendría el producto desarrollado con la tecnología conocida".

No es éste el lugar para discutir la validez de uno u otro planteamiento; nos conformaremos con afirmar que las diferentes opciones tecnológicas específicas que se tienen en cuenta en este punto plantean un problema no trivial, ya que las tecnologías alternativas podrían tener consecuencias diferentes sobre la capacidad de competir en el mercado, sobre la utilización de insumos locales, sobre el costo, sobre el entorno físico, etc.

En presencia de libertad suficiente para escoger entre varias opciones tecnológicas, es posible compararla en cuanto a ciertas características fundamentales: qué opciones diferentes hay, en qué estado se encuentra cada una, cuáles utilizan los competidores, qué posición relativa queremos guardar.

Más adelante comentamos también algunos aspectos relativos a la evaluación tecnológica.

PRONOSTICO TECNOLOGICO

La historia de los avances tecnológicos recientes presenta características muy significativas. Es notorio el acelerado desarrollo sobre todo en ciertos campos.

En presencia de información suficiente es posible establecer algunas relaciones entre desarrollos tecnológicos que permiten hablar de "historias tecnológicas" es decir, secuencias ordenadas de acontecimientos que se ligan unos con otros. Es posible admitir que los futuros acontecimientos dentro del mismo campo puedan ligarse con estas historias.

En otras palabras, no parece haber contradicción en admitir que los posibles cambios tecnológicos futuros puedan pronosticarse.

La clave del pronóstico tecnológico es sin duda la selección de los indicadores. Como observamos en seguida, la forma en que se relacionen las variables entre sí condiciona las interpretaciones que se hayan de la información disponible.

Por ejemplo, puede pensarse en la tecnología de iluminación a partir de un indicador compuesto como el consumo de energía eléctrica por cada unidad de iluminación; si puede demostrarse que esta relación ha venido disminuyendo en el pasado de acuerdo con una cierta tendencia, es posible utilizar este indicador para proyectar las posibles aspiraciones de los futuros desarrollos.

En cambio, está demostrado que la velocidad de desplazamiento sería un indicador insuficiente para pronosticar los futuros desarrollos de la aviación. Parecerían más pertinentes otros indicadores más complicados, que relacionasen número de pasajeros, distancias recorridas y tiempos necesarios (por ejemplo, millas-pasajero por hora).

Las técnicas más comunes utilizadas en el pronóstico tecnológico no se detallan en este trabajo pues serán motivo de otras secciones.

Baste mencionar que son de uso frecuente la extrapolación de tendencias (una variable en relación con el tiempo), ciertas correlaciones sencillas y las llamadas curvas logísticas y curvas envolventes. Estas últimas son particularmente efectivas en la evaluación de posibles discontinuidades en el desarrollo de la tecnología.

EVALUACION TECNOLOGICA

Por definición, la evaluación tecnológica es una función multidisciplinaria, que considera a la tecnología como parte de un sistema social complejo dentro del cual se trata de determinar diversos tipos de consecuencias.

Como ya se ha enunciado en párrafos anteriores, la tecnología tiene impactos importantes sobre el ambiente físico y sobre la sociedad. Por lo tanto, la evaluación tecnológica es principalmente una apreciación comparativa, de ser posible en términos cuantitativos, de dichos impactos. Utiliza como recursos para el análisis técnicas algo más complejas que las empleadas en el pronóstico (aunque no le son exclusivas), entre las que destacan las técnicas delos e impactos cruzados.

La técnica delos representa una forma de estimar consecuencias futuras a partir de la consulta reiterada con especialistas, lo que permite crear un sustituto de la información "estadística acerca del futuro".

La técnica de impactos cruzados, en sus varias versiones, representa un esfuerzo para evaluar cuantitativamente los efectos de unas variables sobre otras cuando estos son difíciles de separarse del conjunto.

Ambas técnicas serán objeto de sesiones específicas durante este mismo curso.

Una última advertencia en el campo de la evaluación tecnológica se refiere a la legitimidad de los impactos que se consideran como base. Es posible que la tecnología y un cierto efecto que quiere atribuirsele se desarrollen paralelamente, guarden correlación matemática y sin embargo no mantengan relaciones causa-efecto. En el planteamiento de los cuestionarios para los especialistas, investigar esta cuestión será vital para la validez de los resultados.



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

METODOLOGIA Y METODOS EN SISTEMAS

M. en C. Germán S. Monroy Alvarado

NOVIEMBRE, 1981

SE DICE QUE UNO DE LOS ASPECTOS IMPORTANTES QUE CARACTERIZAN A LA INGENIERIA DE SISTEMAS, A LA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES O DEMÁS ACTIVIDADES RELACIONADAS CON LAS CIENCIAS DE LOS SISTEMAS, ES SU MÉTODO O METODOLOGÍA.

EN LA LITERATURA EXISTENTE APARECE UNA GRAN VARIEDAD DE CONCEPTUALIZACIONES.

SE TRATA AQUÍ DE DAR UNA VISTA A VUELO DE PÁJARO SOBRE LAS PRINCIPALES. (RELACIONADOS CON LA INGENIERIA DE SISTEMAS). SIGUIENDO MAS O MENOS LA CRONOLOGÍA DE SU PUBLICACIÓN. BUSCANDO -- DESPERTAR INTERÉS SOBRE LA NECESIDAD DEL ESTUDIO Y CONOCIMIENTO -- DE LOS MÉTODOS Y METODOLOGÍA.

ASI EMPECEMOS CON ESTOS TÉRMINOS, QUE EN OCACIONES SE UTILIZAN COMO SINÓNIMOS. BUSCANDO SU DEFINICIÓN EN UN DICCIONARIO ENCONTRAMOS:

[DEFINICIÓN]

METODO MANERA O MODO DE PROCEDER, MODO ORDENADO, LÓGICO O SISTEMÁTICO DE INDAGAR, INSTRUIR, PRESENTAR - ETC.

DEL GRIEGO META: HACIA, MAS ALLÁ
ODOS: VÍA, CAMINO
BUSQUEDA DE CONOCIMIENTO.

METODOLOGÍA CONJUNTO O SISTEMA DE MÉTODOS, PRINCIPIOS Y REGLAS PARA REGULAR UNA DISCIPLINA. ESTUDIO (CIENTÍFICO) DE LOS MÉTODOS, ESTUDIO DE LOS PRINCIPIOS QUE DAN BASE A LA ORGANIZACIÓN DE LAS DIVERSAS CIENCIAS Y LA CONDUCCIÓN DEL INDAGAR CIENTÍFICO.

ENTRE LOS PRIMEROS LIBROS PUBLICADOS EN ESTE CAMPO SE ENCUENTRA EL DE MORSE Y KIMBAL SOBRE INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES EN EL QUE OBSERVAMOS EL USO CASI EQUIVALENTE DE MÉTODO CIENTÍFICO Y METODOLOGÍA, LA DEFINICIÓN DE UN PROCEDIMIENTO DE LA I.O. Y DE LOS MÉTODOS Y HERRAMIENTAS QUE UTILIZA.

PARECE ENTONCES PODER EXISTIR VARIOS MÉTODOS, ENTRE LOS QUE DESTACA "EL CIENTÍFICO". EN EL MÉTODO CIENTÍFICO PRECISAMENTE SE RELACIONAN LOS DE I.S., I.O. ETC.

FOR OTRO LADO, DE MANERA AMPLIA, LA METODOLOGÍA ES EL TRATADO CIENTÍFICO DE LOS MÉTODOS, PARECE HABER SOLO UNA.

1950 MORSE Y KIMBAL

I.O. : UN MÉTODO CIENTÍFICO, ACTIVIDAD CON METODOLOGÍA MAS O MENOS DEFINIDA ATACAR PROBLEMAS NUEVOS Y ENCONTRAR SOLUCIONES DEFINITIVAS CIENCIA APLICADA.

PROCEDIMIENTO

- ESTUDIO DE OPERACIONES PASADAS, HECHOS
- CONSTRUCCIÓN DE TEORÍAS PARA EXPLICAR LOS HECHOS
- USO DE HECHOS Y TEORÍAS PARA PREDECIR OPERACIONES FUTURAS.

MÉTODOS Y HERRAMIENTAS.

MÉTODOS ESTADÍSTICOS

EXPERIMENTACIÓN

MÉTODOS ANALÍTICOS (TEORÍA)

(CON SU ORIENTACION FILOSOFICA CHURCHMAN, ACKOFF (Y ARNOFF) EN SU LIBRO PUBLICADO EN 1957 SOBRE I.O., SISTEMATIZAN LOS CONCEPTOS Y PRESENTAN DE MANERA GENERAL LAS FASES DEL METODO DE LA I.O. DERIVADO DEL METODO CIENTIFICO.

BUENA PARTE DE ESTA OBRA SE DEDICA A LOS ASPECTOS DEL METODO.

1957 CHURCHMAN, ACKOFF, ARNOFF

I.O. = INTERDISCIPLINA
ENFOQUE DE SISTEMAS
METODO CIENTIFICO

MÉTODOS, TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS DE I.O.

FASES

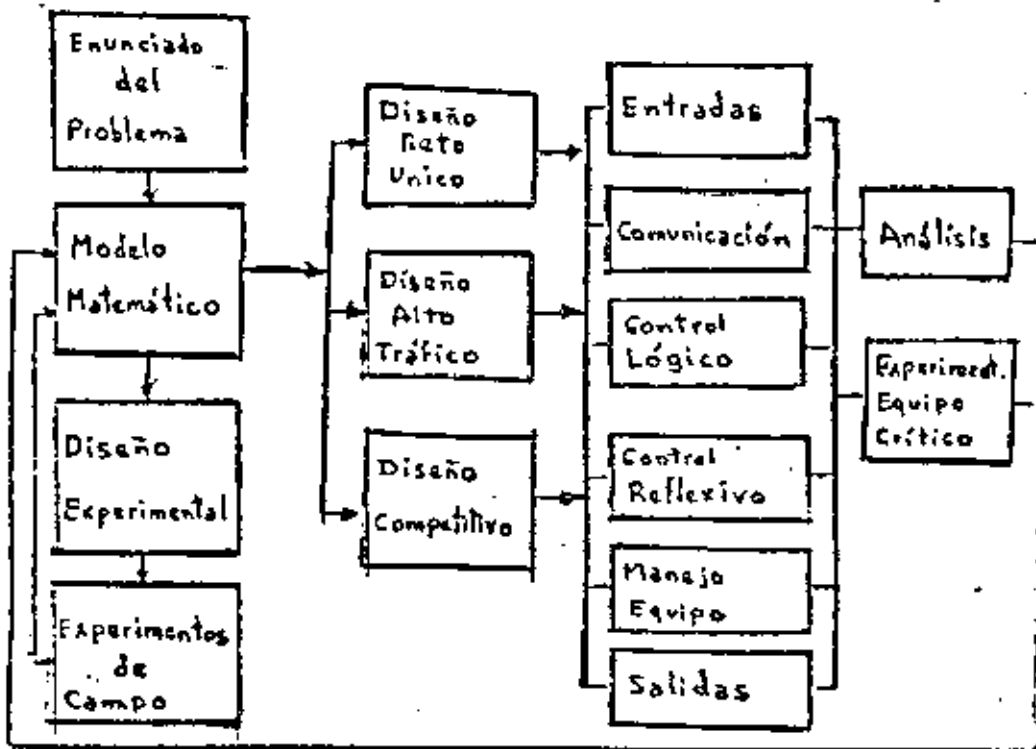
- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA
- CONSTRUCCIÓN DE MODELO
- OBTENCIÓN DE SOLUCIÓN DEL MODELO
- PRUEBA DEL MODELO Y SOLUCIÓN
- ESTABLECER CONTROLES SOBRE SOLUCIÓN
- IMPLANTAR LA SOLUCIÓN

TAMBIÉN EN 1957 APARECE EL PRIMER LIBRO SOBRE INGENIERÍA DE SISTEMAS PUBLICADO POR GOODE Y MACHOL, QUE SIN DAR TANTO ÉNFASIS COMO EL ANTERIOR AL MÉTODO DESCRIBE LAS FASES DEL MÉTODO.

I.S.

FASES

- INICIAL
- ORGANIZACIÓN
- DISEÑO PRELIMINAR
- DISEÑO PRINCIPAL
- CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO
- PRUEBA, ENTRENAMIENTO Y EVALUACIÓN



EN 1962 ARTHUR HALL PUBLICA SU LIBRO METODOLOGÍA DE LA INGENIERÍA DE SISTEMAS EN EL QUE SE REFLEJA SU PREOCUPACIÓN POR DEFINIR EXTENSAMENTE SU MÉTODO.

CADA UNA DE LAS FASES SE PRESENTAN CON PROFUNDIDAD Y DETALLE.

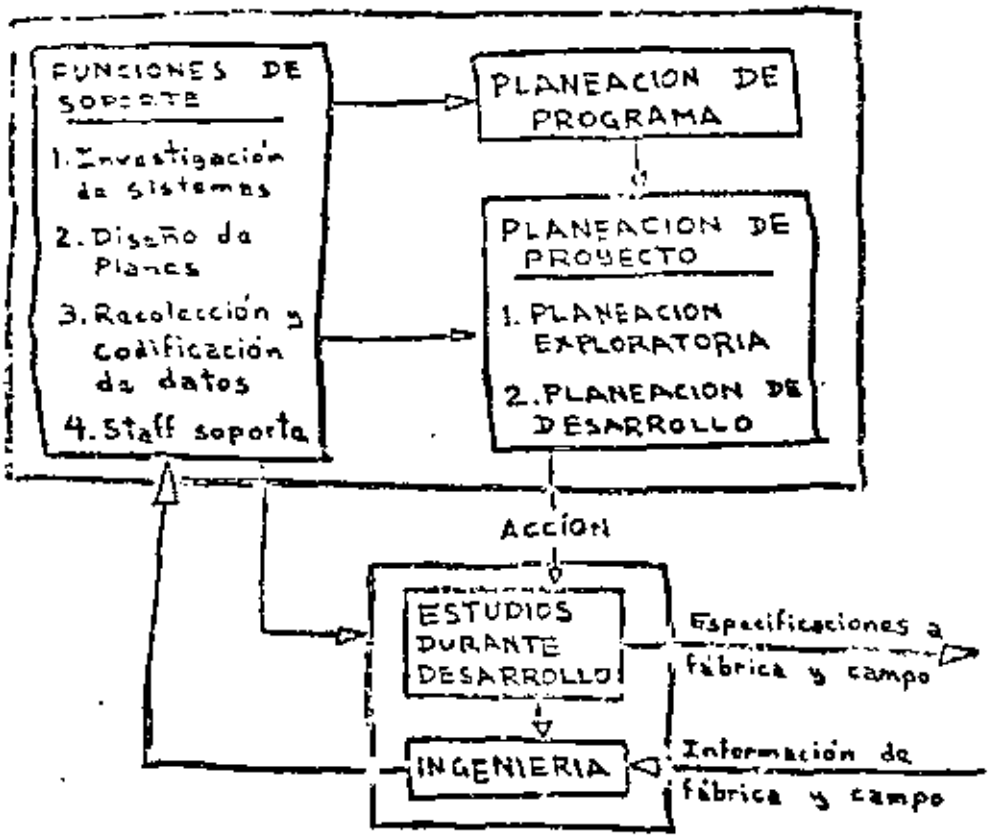
1962 HALL

//

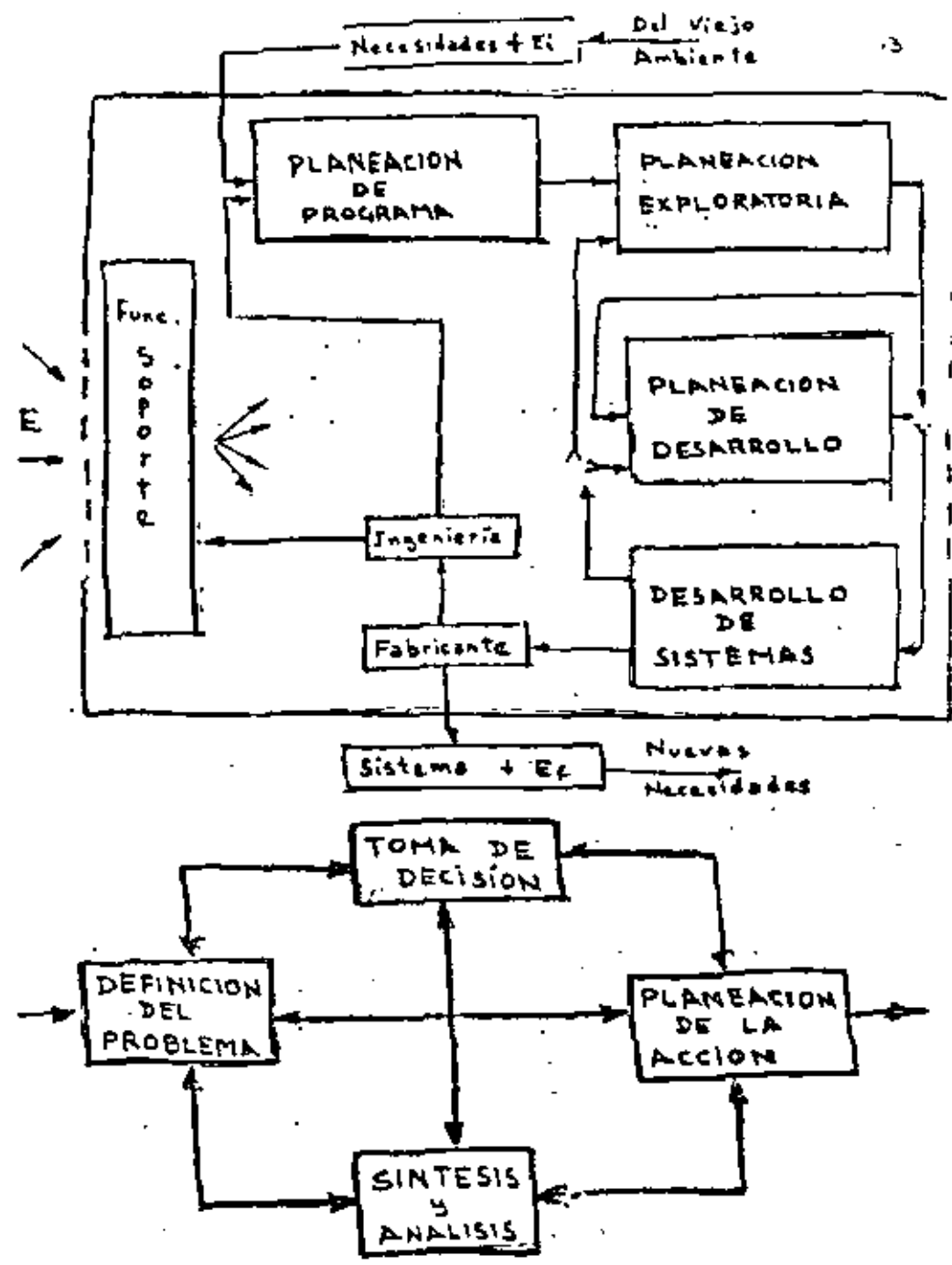
I.S.

FASES

- ESTUDIOS DE SISTEMAS (PLANEACIÓN DE PROGRAMA)
- PLANEACIÓN EXPLORATORIA (PLANEACIÓN DE PROYECTO I)
 - DEFINICIÓN DEL PROBLEMA
 - SELECCIÓN DE OBJETIVOS
 - SÍNTESIS DE SISTEMAS
 - ANÁLISIS DE SISTEMAS
 - SELECCIÓN DEL MEJOR SISTEMA
 - COMUNICACIÓN DE RESULTADOS
- PLANEACIÓN DE DESARROLLO (PLANEACIÓN DEL PROY. II)
- ESTUDIOS DURANTE DESARROLLO (FASE ACCIÓN I)
- INGENIERÍA (FASE ACCIÓN II)



ESTRUCTURA OPERACIONAL



EN 1965 CHESNUT PUBLICA SU LIBRO HERRAMIENTAS DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS Y DESPUES EN 1967 SUS MÉTODOS DE LA I. S.

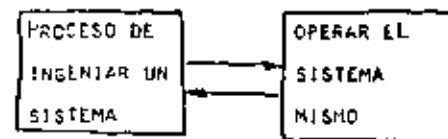
EN ESE MISMO AÑO VAN COURT HARE PUBLICA SU ANÁLISIS DE SISTEMAS.

ESTAS DOS PUBLICACIONES CON UNA FUERTE ORIENTACIÓN - MAS QUE AL MÉTODO HACIA LAS TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS A PESAR DE SU TÍTULO GENERAL.

1967 CHESTRUT

HERRAMIENTAS DE I.S. (1965)
MÉTODOS

LA ACTIVIDAD DE I.S.



ELEMENTOS GENERICOS

- ESTABLECIMIENTO DEL VALOR O NECESIDAD DEL SISTEMA.
- DETERMINACIÓN DE COSTOS
- ESTIMACIÓN TIEMPO PARA PRODUCIRLO
- FORMULACIÓN Y ESTRUCTURACIÓN ESPECÍFICA
- ORGANIZACIÓN Y DELINEACIÓN PARA HACERLO
- EJECUCIÓN DEL TRABAJO PARA ASEGURAR UN SISTEMA CONFIABLE.

1967 VAN COURT HARE

ANÁLISIS DE SISTEMAS: UN ENFOQUE DIAGNÓSTICO.

- DEFINICIÓN DEL SISTEMA
- ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA
- TRATAMIENTO DEL SISTEMA (IMPLANTACIÓN Y MEJORAMIENTO)

EN 1969 JENKINS EN UN ARTICULO DEL PRIMER NÚMERO DE -
LA REVISTA DE INGENIERIA DE SISTEMAS (INGLATERRA) BAJO EL TÍTULO
DEL "ENFOQUE DE SISTEMAS" CON GRAN ÉXITO PRESENTA SU MÉTODO.

1969

JENKINS

ANÁLISIS DE SISTEMAS

- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA
- ORGANIZACIÓN DEL PROYECTO
- DEFINICIÓN DEL SISTEMA
- DEFINICIÓN DEL SISTEMA MAS AMPLIO
- OBJETIVOS DEL SISTEMA MAS AMPLIO
- OBJETIVOS DEL SISTEMA
- DEFINICIÓN DEL CRITERIO ECONOMICO GLOBAL
- RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN Y DATOS

DISEÑO DE SISTEMAS (SÍNTESIS)

- PREDICCIÓN
- CONSTRUCCIÓN DE MODELO Y SIMULACIÓN
- OPTIMIZACIÓN
- CONTROL
- CONFIABILIDAD

IMPLANTACIÓN

- DOCUMENTACIÓN Y APROBACIÓN
- CONSTRUCCIÓN

OPERACIÓN

- OPERACIÓN INICIAL
- VISTA RETROSPECTIVA
- MEJORAMIENTO DE OPERACIÓN

NEUFVILLE Y STAFFORD DE MANERA MAS OPERATIVA DEFINEN EL MÉTODO PARA SU ANALISIS DE SISTEMAS EN 1971.

EN ESE MISMO AÑO CHURCHMAN PUBLICA SU LIBRO DISEÑO DE SISTEMAS DE INDAGACIÓN PRODUCTO ACTUALIZADO DE SU TRABAJO PUBLICADO CON ACKOFF EN 1950 MÉTODOS DE INDAGACIÓN QUE SE DIRIGE A LA PREGUNTA ¿EXISTE UN SOLO MÉTODO CIENTÍFICO?

1971 NEUFVILLE Y STAFFORD

ANÁLISIS DE SISTEMAS: UN PROCESO DE DISEÑO.

- DEFINICIÓN DE OBJETIVOS
- FORMULACIÓN DE MEDIDAS DE EFECTIVIDAD
- GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS
- EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS
- SELECCIÓN.

1971 CHURCHMAN (ACKOFF)

DISEÑO DE SISTEMAS DE INDAGACIÓN 1950 MÉTODOS DE INDAGACIÓN.

RACIONALISTA	-	LEIBNIZ
EMPIRICO	-	LOCKE
CRITICISMO	-	KANT
DIALECTICO	-	HEGEL
PRAGMATICO EXPERIMENTAL	-	SINGER

FARA ALGUNOS AUTORES, COMO CHECKLAND, LA MAYORIA DE LOS METODOS ANTERIORES SE AJUSTAN MEJOR A SISTEMAS "DURES", ENTENDI- DOS ESTOS COMO SISTEMAS TECNOLOGICOS, QUE A SISTEMAS "SIAVES" EN LOS QUE EL COMPONENTE HUMANO Y SOCIAL TIENE PREPONDERANCIA.

EN LA BÚSQUEDA DE MÉTODOS ADECUADOS PARA ESTOS ÚLTIMOS SE RECURRE AL MÉTODO DE ACCIÓN INVESTIGACIÓN CUYAS BASES SE - REMONTAN A 1944 POR KURT LEWIN Y QUE HA INFLUIDO LOS TRABAJOS - DE INST. DE RELACIONES HUMANAS TALVISTACK DE INGLATERRA EL - CUAL HA CONTRIBUIDO SUSTANCIALMENTE A SU DESARROLLO.

1944 ACCIÓN INVESTIGACION.

KURT LEWIN TALVISTACK
COMBINA { GENERACIÓN DE TEORÍA
 { CAMBIO SISTEMAS SOCIALES

A TRAVÉS DEL PROCESO DE ACTUAR EN EL SISTEMA.

- SI QUIERES CONOCER ALGO TRATA DE CAMBIARLO
- NO HAY ALGO TAN PRÁCTICO COMO UNA BUENA TEORÍA.

FASES

- GANAR ACCESO AL SISTEMA
- IDENTIFICAR LOS PROBLEMAS CON LOS MIEMBROS DEL SISTEMA.
- RECOLECCIÓN DE DATOS Y DIAGNÓSTICO PRELIMINAR
- RETROALIMENTACIÓN
- DIAGNÓSTICO CONJUNTO DE PROBLEMA
- TOMAR ACCIÓN ACORDADA
- EVALUAR RESULTADOS

CON ESTA BASE PETER F. CHECKLAND PROPONE SU MÉTODO EN -

1972

CHECKLAND

METODOLOGÍA PARA SISTEMAS SUAVES

FASES

1. ANALISIS

- 1.1 EXAMINAR LA SITUACIÓN PROBLEMA Y RECOLECTAR PARA EL ROL DE "EL PROBLEMA"
- 1.2 ANALIZAR LA SITUACIÓN PROBLEMA (ESTRUCTURA, PROCESO, RELACIONES)

2. DEFINICIÓN RAIZ DE SISTEMAS RELEVANTES

- 2.1 FORMULACIÓN DE DEFINICIÓN RAIZ DE SISTEMAS RELEVANTES.

3. CONCEPTUALIZACIÓN

- 3.1 JUNTAR EL MÍNIMO NECESARIO DE ACTIVIDADES EN EL SISTEMA(S) 2.1. CONSTRUYE MODELOS CONCEPTUALES.
- 3.2 USAR EL CONCEPTO DE "SISTEMA FORMAL" Y/O OTROS MODOS DE PENSAR SISTÉMICOS PARA FINALIZAR LA CONCEPTUALIZACIÓN.

4. COMPARACIÓN Y DEFINICIÓN

- 4.1 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE 1 Y 3
- 4.2 DE RESULTADOS 4.1 DEFINIR EL RANGO DE CAMBIOS POSIBLES.

5. SELECCIÓN

- 5.1 SELECCIONAR, CON ACTORES DE LA SITUACIÓN, UN CAMBIO RELEVANTE FACTIBLE REQUERIDO PARA MEJORAR LA SITUACIÓN EN 1.2

6. DISEÑO E IMPLANTACIÓN

- 6.1 DISEÑAR LO NECESARIO PARA IMPLANTAR EL CAMBIO DESEADO

7. EVALUACIÓN Y REITERACIÓN

CENTRO DE TODA ESTA VARIEDAD LA CONCEPTUALIZACIÓN DE -
 ACKOFF Y CHURCHMAN PARECEN LAS MAS SÓLIDAS, ESTE ÚLTIMO POR SU -
 CONSIDERACIÓN DE DIFERENTES MÉTODOS Y EL PRIMERO TRATANDO DE --
 SINTETIZAR EN UNO ÚTIL PARA LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN SISTEMAS.

1962 ACKOFF

CIENCIA = PROCESO DE INDAGACIÓN PARA:

- CONTESTAR PREGUNTAS
- RESOLVER PROBLEMAS
- DESARROLLAR PROCEDIMIENTOS MAS EFECTIVOS PARA HACERLO.

HAY VARIOS MODOS DE INDAGAR

EL MODO CIENTÍFICO = MÉTODO CIENTÍFICO ES CONTROLADO
 DIRIGIDO EFICIENTEMENTE PARA ALCANZAR LOS FINES DESEADOS

EN GENERAL SE RECONOCE QUE CON EL MÉTODO CIENTÍFICO TENEMOS MAS OPORTUNIDADES PARA OBTENER RESPUESTAS CORRECTAS -
 A PREGUNTAS Y MEJORES SOLUCIONES A PROBLEMAS.

HERRAMIENTA CIENTÍFICA

INSTRUMENTO FÍSICO O CONCEPTUAL

TÉCNICA CIENTÍFICA

MANERA DE USAR HERRAMIENTAS

MÉTODO CIENTÍFICO

MANERA DE SELECCIONAR TÉCNICAS
 (REGLA DE DECISIÓN)

METODOLOGÍA

ESTUDIO DE LOS MÉTODOS
 (CIENTÍFICOS) (LÓGICA DE LA CIENCIA)

IDEALES

CIENTÍFICO
 POLÍTICO-ECONÓMICO
 ÉTICO-MORAL
 ESTÉTICO



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

**PAPEL DE LA PLANEACION EN EL
PROCESO DE CONDUCCION**

**DR. OVSEI GELMAN
GONZALO NEGROE**

NOVIEMBRE, 1981

PAPEL DE LA PLANEACION EN EL PROCESO DE CONDUCCION

Ovsei Gelman*
Gonzalo Negro**

1. INTRODUCCION

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

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

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

2. CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL USO DEL ENFOQUE SISTEMICO

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

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

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

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

3. ANALISIS DEL PROCESO DE CONDUCCION

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

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

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

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

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

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

REPRESENTACION FUNCIONAL DEL SISTEMA CONDUCTENTE

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

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

5. PROCESO DE SOLUCION DE PROBLEMAS Y SU PLANTEAMIENTO

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

Es posible especificar algunas causas que originan dicha situación:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

6. ESTRUCTURA DEL PROCESO DE PLANEACION

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

7. DEFINICIÓN DEL OBJETO CONDUCIDO

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

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

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

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

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

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

8. RESUMEN

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

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

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

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

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

BIBLIOGRAFIA

1. Ackoff R L, Towards a system of systems concepts, *Management Science*, Vol. 17, No. 11, 1971
2. Ackoff R L, Beyond problem solving, *General Systems Yearbook*, Vol. XIX, 1974
3. Ackoff R L, The aging of a young profession: operations research, University of Pennsylvania, 1976
4. Ackoff R L, The corporate rain dance, *the Wharton Magazine*, Winter 1977
5. Ackoff R L, Un concepto de planeación de empresas, Ed. Limusa, México, 1980
6. Ackoff R L, et al, Scott Report, Designing a national scientific and technological communication systems, University of Pennsylvania Press, 1976
7. Beer S, *Cybernetics and management*, John Wiley and Sons, New York, 1959
8. Chadwick G F, Una visión sistémica del planeamiento, Ed. Gustavo Gili, Barcelona, 1973
9. Churchman C W, A critique of the systems approach to social organization systems concepts, *Lectures on Contemporary Approaches to Systems*, Miles Ralph F Jr, Wiley and Sons, 1973
10. Churchman C W, Perspectives of the systems approach, *Interfaces*, Vol. 4, No. 4, August 1974.
11. Gelman O, Formalization of mathematical modelling processes as one of the ways of building the general systems theory, *Problems of Logic and Methodology of General Systems Theory*, Tbilisi, 1967
12. Gelman O, Metodología de la ciencia e ingeniería de sistemas: algunos problemas, resultados y perspectivas, *Memorias del IV Congreso de la Academia Nacional de Ingeniería*, Mérida, Yucatán, 1978
13. Gelman O, Laurechuck N, Specifics of analysis of scientific theories within the framework of the general systems theory, *Armenian Academy of Science, Pu House, Yerevan*, 1974
14. Gelman O, Rangel J L, Desarrollo de un sistema de protección y restablecimiento para una ciudad frente a desastres, *Memorias del V Congreso de la Academia Nacional de Ingeniería* Morelia, Michoacán, 1979
15. Graham R J, People, problems and planning: a systems approach to problems identification, *Interfaces*, Vol. 8, No. 1, Nov 1977
16. Graham R J, On management science process, *Interfaces*, Vol. 8, No. 2, Feb 1978
17. Graham R J, Seltzer J, An application of catastrophe theory to Management Science Process, *Omega*, Vol. 7, No. 1, 1979
18. Gupta J N D, Management science implementation: experiences of a practicing O R manager, *Interfaces*, Vol. 7, No. 3, May 1977
19. Habermas J, *Problemas de legitimación del capitalismo tardío*, Buenos Aires, Amorrortu, 1975
20. King W R, Cleland D I, Information for more effective strategic planning, *Long Range Planning*, Vol. 10, Feb 1977

21. Kochen M, Coping with complexity, Omega, Vol. 8, No. 1, 1980

22. Kuhn T S, The structure of scientific revolutions, 2nd ed. The University of Chicago Press, Chicago III, 1970

23. Littauer S B, Yegulalp T M, Zahariev G K, A framework for optimizing managerial decision, Omega, Vol. 4, No. 1, 1976

24. Mc Loughlin J B, Urban and regional planning a systems approach, Faber and Faber, London, 1969

25. Mitroff I I, Towards a theory of systemic problem solving: prospects and paradoxes, Int. J. General Systems, Vol. 4, 1977

26. Morris W, Management science bayesian introduction, Prentice Hall Corp, 1968

27. OECD, Symposium on Long Range Forecasting and Planning, Perspectives of Planning, Bellagio, 1969

28. Popper K, Conjectures and refutations the growth of scientific knowledge, Routledge and Kegan Paul, 1965

29. Rangel J L, Gleman O, Desarrollo del enfoque sistémico y concreción de algunos elementos básicos para definir y analizar el sistema educativo en México, Informe interno, Instituto de Ingeniería, UNAM, 1980

30. Richards L D, Graham R H, Identifying problems through gaining, Interfaces, Vol. 7, No. 3, May 1977

31. Toolmin S, Ideals of natural order, philosophical problems of natural science, Dudley Shapere the Macmillan Co., 1971

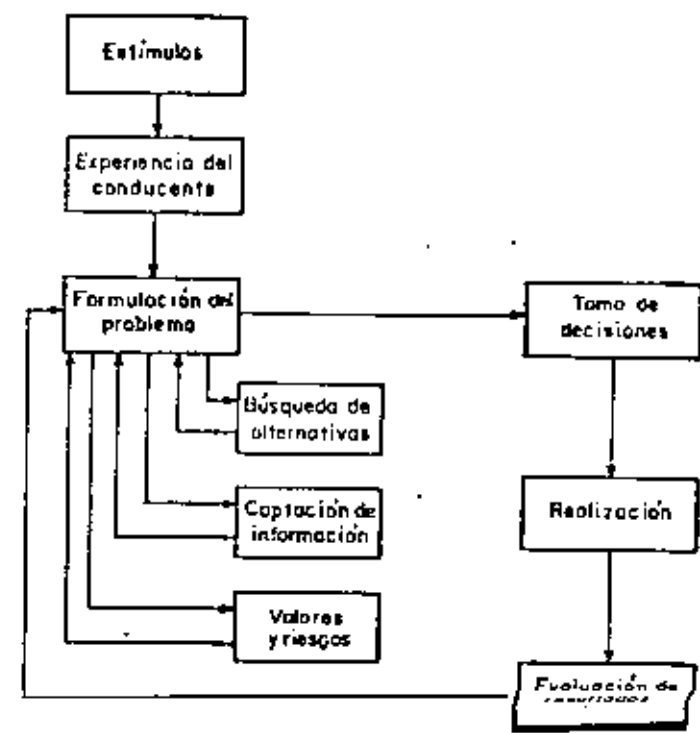


Fig 1. Proceso de toma de decisiones según Morris

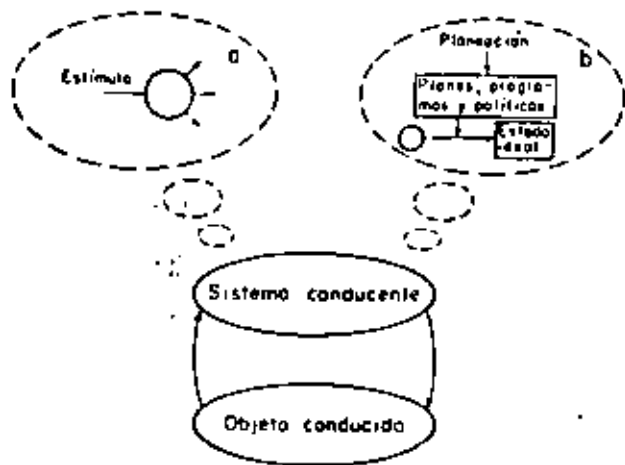


Fig 2. Paradigmas del proceso de conducción a) conducción correctiva, b) conducción planificada

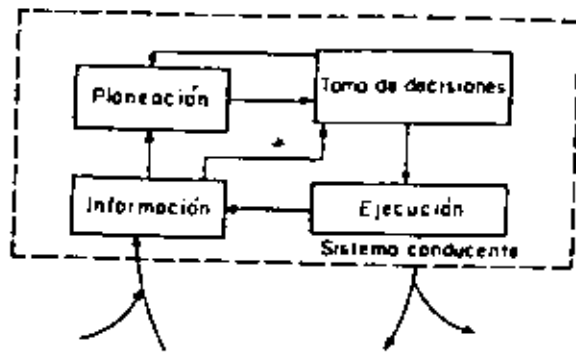


Fig 3. Representación funcional del sistema conducente

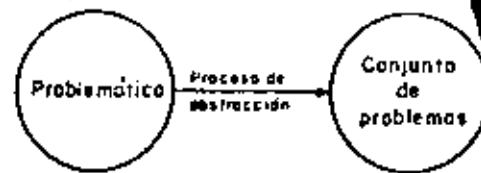


Fig 4. Procedimiento de construcción del sistema según Ackoff

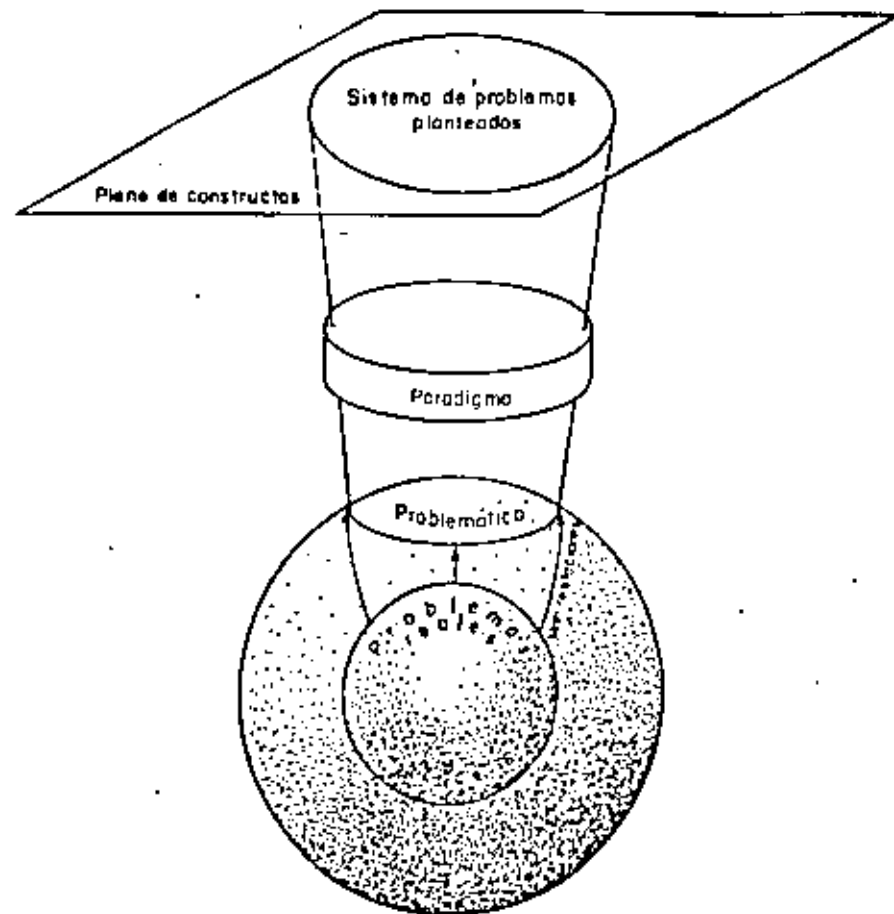


Fig 5. Esquema que permite visualizar el sistema de problemas reales y planteados

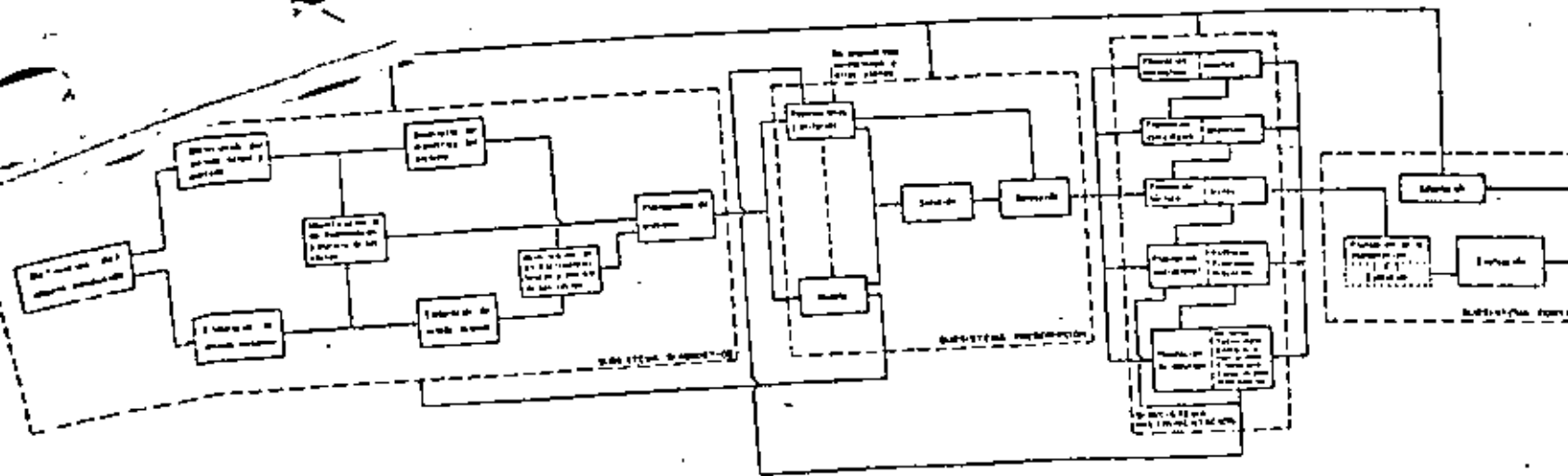


Fig 7. Esquema general del proceso de planeación

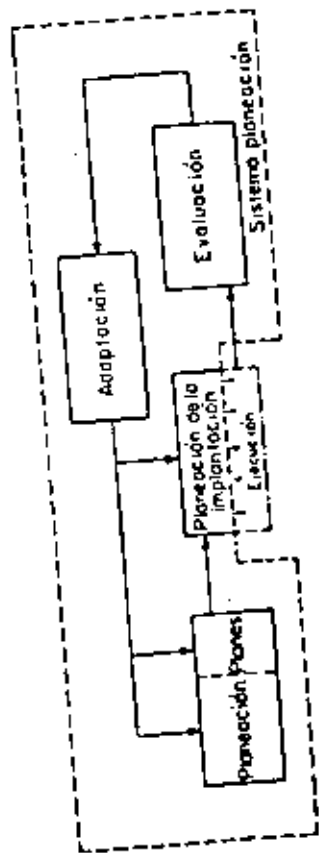


Fig 6 Estructura del proceso de planeación (primer paso)

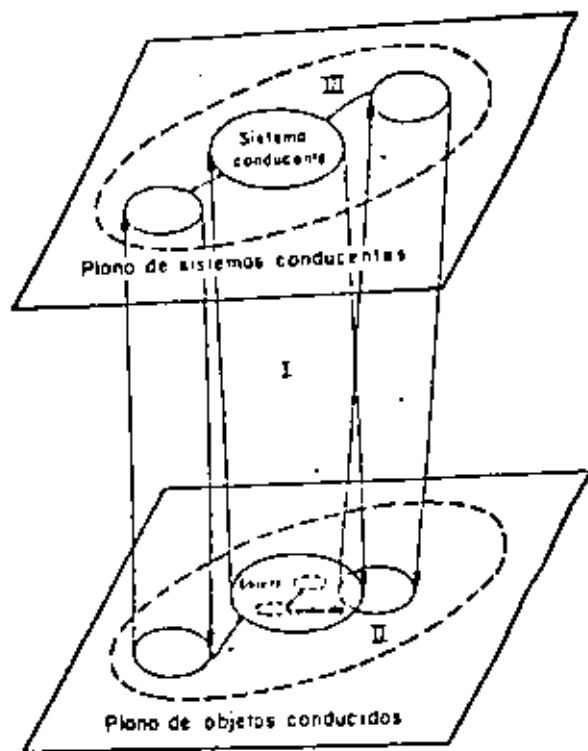


Fig B. Paradigma para la identificación de tres clases de problemas

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

Raúl Carvajal
Institute for Applied Mathematics and
Systems
National University of Mexico
IJMAS-UNAM
Apdo. Postal 20-726
México 20, D.F.
MEXICO

Abstract

A methodology for the detection of emerging paradigms is developed through the analysis of implicit and explicit criticisms. The search for the systems' paradigm reveals a set of systems frames at different stages of development. Four basic assumptions that underly most systems frames and limit their use in the research, design, planning, and management of social systems are identified. A set of frames that may advance the systems movement are proposed. They are enclosed under the name of systemic-netfields and provide a link between systems and networks, aggregates, and fields.

1. Introduction

Determining the present state of the systems paradigm and possible new paradigms requires an understanding of development processes of new areas. It is accepted that new areas develop through four stages following a sigmoid curve. The stages are paradigm generation, normal growth, exponential growth and declination [34, 80, 81]. In the model the initial stage is the appearance of a paradigm. Discussion of this phenomenon requires clarification as to the meaning of systems as a paradigm. In general, it can be said that there is no unique system paradigm. There are a set of systems paradigms, each at a different stage of development. The different concepts share some common features. The declination of some of the systems paradigms may be detected through some crisis or criticism that may appear. New concepts frequently develop from existing ones through a dialectical process. A limiting or weak feature in the original concept may begin the process. An antithetic conceptualization is proposed from which a new concept emerges as a synthesis. The emergence of new concepts belong to a general class of processes called "emergent social processes" [40, 77].

The analysis of systems paradigms lead to the generation of new frames that may have important implications for the research, design, planning, and management of social systems.

They are enclosed under the generic name of systemic-netfields. These frames may constitute a needed bridge between systems and networks, aggregates, and fields.

II. Systems Thinking.

Systems thinking is usually referred to as systems approach or the use of systems frames. Frame is used in the sense of Minsky [78, 91]. Many interpretations have been given for the so called Systems Approach (SA). Some authors emphasize the object of the inquiry, namely, systems [22, 54, 99]. Others focus on the synthetic nature of the SA, methodology used, or teleological or purposive orientation [25, 28, 36, 52].

A. Systems Approach.

Most of the definitions or conceptualizations of the SA can be described in terms of: structural issues referring to the particular frame used or the specific subject matter; or methodological issues such as the type of approach, method of inquiry or specific procedure.

1. Structural issues.

1.1. Systems frame. In many cases the SA has been taken solely as the use of a systems frame for understanding or tackling problematic situations [18, 27, 54]. In occasions it has been considered as a frame for the unification of many fields of knowledge [54].

1.2. Problematic situation, real world problems. The purpose of inquiry may not be the knowledge of a system but the solution of a problematic situation. A system frame applied to a complex problematic situation provides the basis for conceptualizing them as messes (system of problem) [3].

2. Methodological issues.

2.1. Analysis and synthesis. Analysis is the method of the analytical approach. The framework of the analytical approach is based on the doctrines of reductionism and mechanism. The basic method used in synthetic approach is synthesis. The framework of the synthetic approach is based on the doctrines of expansionism and teleology.

Some conceptualizations of SA uses the analytical way of thinking on systems frames [103]. Others include them together as "an amalgam of the scientific method (analysis) and the method of invention (synthesis)" [61], or as in [28] where the SA is said to provide a strategy for designs (synthesis) and maintenance (analysis).

2.2. Method of inquiry. Statements like "the SA enables man to appreciate his view of social reality by listening to others" [31] implies the use of a systems frame on one hand and a method of inquiry on the other. The multi-disciplinarity of the SA [61] refers to a particular mode of inquiry.

2.3. A procedure. Many references to systems approach are interpreted as specific procedures or methodologies, as in Checkland's procedure: analysis of the situation, "root" definitions, modeling, validation, selection of alternatives, and implementation [25, 26, 27].

As can be seen through the structural and methodological issues, SA may alternatively be described in terms of one or several of the previous characteristics. For example:

- a. The use of system frames (item 1.1)
- b. The use of system frames to deal with problems, i.e., messes (items 1.1, 1.2).
- c. The synthetic mode of thought applied to messes (items 1.1, 1.2, 2.1).
- d. A method of inquiry about messes using the synthetic mode of thought (items 1.1, 1.2, 2.1, 2.2).
- e. A methodology for dealing with problems based on methods of inquiry about messes using the synthetic mode of thought (items 1.1, 1.2, 2.1, 2.2, 2.3).

At the core of the diverse conceptualization of the systems approach is the system frame. It has been stated that the only unifying element of the systems movement is the notion of system [25].

B. System as a paradigm.

The concept system is more general in nature than that of a particular scientific area. As a paradigm it has broader conceptual implications. Sometimes it has been referred to as a meta-paradigm [92].

For the purpose of this work, a paradigm may be interpreted as:

1. A special type of "frame" shared by a community.
2. One of the requirements for a frame to qualify as a paradigm is that it is adopted by a significant group of researchers. A frame may have the potentiality for growing and generating meaningful problems but it may remain latent unless a social process of adoption and diffusion is generated. The development of a paradigm implies existence of specific social structures in each stage of development.
3. A frame structures the subject matter, models, theories and stereotypes.
4. A frame implies the construction of conceptual and concrete "tools". At the same time, new tools may make possible the construction of new paradigms or the extension of existing ones.
5. A frame is organized hierarchically containing subframes.
6. Basic assumptions are embedded within a paradigm.

7. A paradigm implies a research program. This program may be directed toward the growth of the frame or toward its use in order to modify behavior and produce some social change. The main intention of the research program may be the generation of knowledge or the production of change.

The concept system provides a framework for conceptualizing or viewing the world. It has been defined in many ways [55]. Definitions such as "a system is a set of related elements" [46]; or "a system is a set of interrelated elements each of which is related directly or indirectly to every other element, and no subset of which is unrelated to any other subset" [1, 2], are generally accepted but are of little interest by themselves.

Usually these definitions are followed by a typology where the researcher's interest is reflected in a specific kind of system. For example, in [1] systems are classified as state-maintaining, goal-seeking, multi-goal seeking, purposive, and purposeful. It may be said that the main interest of the researcher is the study of purposeful systems. Checkland [24] divides systems in natural systems, designed physical systems, designed abstract systems and, human activity systems. In [25, 26] he focuses on human activity systems.

Von Bertalanffy [17, 18] stresses the importance of open systems, systems where there is import and export, and therefore, change of the components. He points out the basic properties of systems: equilibrium, self-regulation, equifinality, entropy, growth, information, feedback, etc. His research proposition focuses on the study of these properties, the finding of isomorphisms among systems, the search for common structures and the unity of science. Mesarovic in [74] focus on the study of some mathematical objects called general systems. He formalizes systems concepts such as open and closed systems, structure, decomposition and state of the system, attributes and behaviour of systems, reproducibility and controllability of systems and goal seeking behaviour. The research program implicit in [74] is directed toward areas like control and the formalization of systems concepts and properties. The degree of precision required to manipulate and use such formal systems models are of doubtful interest for the research programs stated by Churchman in [30] or by Checkland in [25].

In general, it can be stated that there is not a system paradigm but several frames at different stages of development. The distinct frames have different degrees of acceptance and evolution. At this point, a frame can be more easily identified by and through the leading researchers in the area and their principal works, than by a collective constructed frame.

Eventhough the various systems frames, have some relationship between them, their development has been fairly independent in that they have not been based in a common research program or a common frame.

In conclusion, as we can see no archetype system frame which can be taken as "the paradigm". the analysis of the systems paradigm will be done through the identification of the implicit basic assumptions which underly most system frames. The implicit assumptions may be detected through an analysis of criticisms posed to the systems movement.

III. Criticism of the Systems Movement.

Criticism of the system's concept and the systems approach have been numerous. In many cases criticism is direct and readily identifiable [9, 15, 16, 19, 21, 44, 47, 49, 50, 51, 53, 65, 66, 68, 83, 84, 89, 96]. But, frequently criticism is made in an implicit form as in the proposal of a research program that is antithetical to a given systems frame. Without confronting thesis and antithesis it is almost impossible to recognize the criticism implied by the antithesis.

Not all criticism is symptomatic of the emergence or need for a new paradigm. In the analysis of criticism it is necessary to identify what can be called early state criticism and misunderstandings. These recurrent criticisms are successfully resolved early or incorporated in the actual development of

the systems frames. Criticisms which result from works of leading researches are particularly relevant for the analysis of emerging paradigms. Those who generate the main research programs usually have the capability for detecting emerging competing frames. Frequently, new developments are presented to them for recognition and comments. Also, they receive a great deal of the criticism directed against the area. Leading researchers or their students are frequently the precursors of new areas.

The recognition and classification of criticisms in terms of their potential for detecting an emergent paradigm is a complex task subject to the bias of the researcher. For this reason it is considered necessary, to start out by describing the type of criticism which will probably not lead to a new trend: early state criticisms and misunderstandings. They are classified in seven categories:

1. Philosophical status of the systems movement. This kind of criticism usually starts by stating that a given systems movement is rooted on certain philosophical theory.

Then, it transfers to the systems movement the criticism against such theory. Examples of this kind are:

"The systems theorists, in striving to be 'scientific' and 'up to date', have incorporated perhaps the most archaic and least tenable features of 19th century thought" [66] ; "the weaknesses of Hegelian thought are to some extent the weaknesses of general systems theory" [83] .

2. Holistic approach. An early popular criticism was on the inability of knowing a system as a whole. It is based on the misunderstanding of the expansionism doctrine. Some examples are: "starting with a given problem we shall be ultimately dealing with the entire universe" [89] ; "if we take the whole system ideal seriously it appears that we must have full knowledge before we can provide guidelines for inquiry. However, if we have this knowledge inquiry would be unnecessary" [21] .

3. Objectivity and scientific status of the systems approach. A recurrent theme is the issue of objectivity. For example: "general systems theory has failed as a scientific theory" [83] ; "traditional systems approaches usually

commit two sins: the assumptions that human beings (including scientists) are objective; and excessive reliance on one modeling approach" [67] .

4. Modeling. Frequently, it is stated that the construction of models is an intrinsic feature of the systems paradigms. Therefore, criticisms are directed toward the formalization of partially understood situations, the building of models that do not capture the essence of the situation, excessive generality, overspecializations, or overconcern with the model in itself.

5. Incipient state of development. Criticism has been directed toward the lack of integration of the different areas that some authors have included within the systems movement. For example: "the systems approach is a kind of mosaic, made up of bits and pieces of ideas, theory and methodology from a number of disciplines..." [50] .

6. Limited application to social systems. Some authors [44, 50] have stated that systems paradigms can not deal with systems of the complexity of social systems.

7. Purpose. An initial criticism was directed to the concept of purpose. For example: "there is no evidence to

support the hypothesis that the Universe has a purpose" [83]. Such criticism has become actual again with the work on autopoiesis. Beer states that one of the reasons why the concept of autopoiesis interests him is that it involves the destruction of teleology [71].

IV. Implicit Criticism: evidence of an emerging systems (?) paradigm.

Different systems frames can emerge not only as a response to critical views posed against systems paradigms, but, also, in order to advance the movement into new frontiers and to overcome limitations that have been expressed exists in different directions of the social area of the systems movement. The issues around which these developments might occur are diverse and sometimes difficult to track. In this section we will concentrate on the most notorious issues.

1. Complexity. Complexity has been an ever present issue in the development of the systems movement. Many criticisms of the systems approach have been directed to the difficulty in dealing with complex situations [44, 49, 51, 107]. The study of complexity requires the understanding of its source. Different typologies have been used in relation with the description of the source of complexity as the one developed by Boulding [20] which can be taken as a description of the complexity of either phenomena or models for analysing these phenomena [87].

A second typology distinguish between complexity which is internal to a system, external to a system, or due to the observer of the system. Trists' concept of turbulent environment [102]

is an example of external complexity.

Pondy and Mitroff [87] state that the rate at which uncertainty overwhelms an organization is related more to its internal structure than to the amount of environmental uncertainty. Forrester [42] states that complexity depends on the perceptive system of the observer.

A third typology is related to the extension of the embedded social system which ranges from the individual to the whole society including formal and informal groups, social networks and organizations, and inter-organizational domains created by organizations, whose interrelationship compose a system at the level of the field as a whole [11].

2. Emergent social processes and the genesis of systems.

The study of the genesis of systems and emergent social processes is one of the areas mentioned in relation with futures research and the study of complex social systems. Emergence refers to unanticipatable characteristics of superordinate regulative processes that grow out of the circumstances that were there before they came to be. Emergent properties can not be predicated from the parts, they are the synthesis between thesis and antithesis. New myths may generate new forms of regulative stability that characterize the way our epoch is emerging. New theory, new art, mutations are exam-

ples of emergent processes that generate high turbulence. An emergent social system coexists with other systems. An emergent social system may arise out of temporary systems conditions that engender it. An ideal systems frame where the states are mutually exclusive or systems are permanent entities possesses limitations for use in the study of emergent social processes and the genesis of systems.

3. Culture. Within the systems movement several authors have pointed out the need for understanding culture. Vickers [106] strongly indicates the need for a cultural revolution. Ackoff [4] points out that the main obstructions for development are cultural ones. Trist [101, 102] refers to a paradigm shift that is changing our cultural fabric, shifts occur due to a change from a disturbed reactive environment toward a turbulent environment where: the systems survival mode is shifting from operations toward a negotiated order; power structure is shifting from a concentrated to dispersed pattern; the basis of order is shifting from hierarchical to sociological; planning orientation from preactive to interactive; learning mode from model 1 to model 2; organizational structure from bureaucratic toward holographic; design principle from redundancy of parts toward redundancy of functions. Schwartz and Ogilvy states that "a fundamental shift in basic beliefs and assumptions about the nature of things and the human condition is going on". An emergent pattern is occurring in different areas: physics, chemistry, brain theory, ecology, evolution, mathematics, philosophy, politics,

psychology, linguistics, religion, consciousness, and arts. The emergent pattern is being manifested in a shift of qualities from simple and probabilistic toward complex and diverse; from hierarchy toward heterarchy; from mechanical toward holographic; from determinate toward indeterminate; from linearly causal toward mutually causal; from assembly toward morphogenesis; from objective toward perspective [110]. Pandy and Hitroff [87] are proposing the development of a cultural model of organization that take into account the complexity of social system. Clark [33] proposes the study of organizational sagas, reconstruction of organizational history that stresses its origins, its triumphs and its tangible symbols. These issues imply the study of emergent processes, of the genesis of systems, and of some specific factors such as language and myths.

4. Language. Language plays at least four important and distinct roles in social behavior: it controls our perception, it helps to define the meaning of our experience by categorizing streams of events, it influences the ease of communication, it provides a channel of social influence. Possession of a common language facilitates the exercise of social control [86]. Language helps to mold the social fields through perception and communication of values that conform social reality. Also, language is affected by the social field where it is embedded.

The study of language involves the description of complicated social fields, a description that requires the use of more flexible systems frames than the ideal "well-behaved" frame.

5. Values and myths. Values and myths provide a reference of what is naturally expected, according to how people would act. People want reassurance that what they think is natural and right, and what they think is natural and right has to do with the myths to which they subscribe regarding reality, self and their relationships [77]. Change in a social system may be accomplished through a change in its values and myths. Myths, stories, and metaphors provide powerful vehicles in organization for exchanging and preserving rich sets of meanings [33, 76, 79]. Through norms, values, and myths, systems that are loosely coupled may exist in a unified form in crisis situation. The study of values and myths require frames capable of describing loose coupling and temporary systems.

6. Critical situations. Under conditions of natural disaster, or extreme opportunity organizations reveal an inner part of their structure.

Individuals and groups usually adopt latent forms of behavior. Keckel has stated that the complexity of a system may be altered by deprivation in the sense that the number of elements and the number of relationships that exist may be greatly reduced [107]. Thompson has recognized the existence of "synthetic" organizations that arise in response to disasters [100]. The study of such situations require alternative concepts to the usual permanent, well-behaved, mutually exclusive states systems ideal frames.

7. Planning and unagement. Planning ought to be a way of using complexity to enrich rather than to destroy. Some planning efforts should be geared toward increasing turbulence in order to open up unpredictable possibilities which may lead to further human development by decreasing gratuitously containing stability [77].

In order that planners and systems analysts can deal with complexity they must learn the myths relevant to the constitutions of the social reality. A crucially important role for the analyst and designer is the creation of potentially stabilizing myths, but in a temporary form [77].

The administrator's role shifts from technologist to linguist, from structural engineer to myth maker [87]. A movement toward designing a desirable future and inventing ways of bringing it about [7] can be seen within this new role.

8. Autonomy. The study of autonomy has regained an important place within the systems movement with the work of Maturana and Varela [71]. Autonomy is the assertion of the system's identity through its internal functions and self-regulation. It brings together related concepts such as self-organization, cooperative interactions, emergence, and innovation [105]. Autopoiesis describes the autonomous character of living things. An autopoietic machine is an homeostatic system which has its own organizations as the fundamental variable which it maintains constant. Autopoietic machines are autonomous, have individuality, are unities, do not have inputs or outputs. Autopoiesis is necessary and sufficient to characterize the organization of living systems. Systems which exhibit autonomy share one universal feature: organizational closure, i.e., indefinite recursion of component interaction.

This line of research requires a deeper understanding of the inner regulating mechanism of systems and presents an interesting perspective about the question of the reality of systems.

9. Reality of systems, artificial reality. Asserting that a given ensemble or entity is a system is an assumption [107]. Are systems out there, or are they in the minds of systems planners? The most plausible answer is none of the above. The way the world appears to us depends on our basic theory about the structure of the world. To inquiry we must construct a theory of reality which will then guide us in the observation we make, which in turn will guide us in the revision of our theory of reality [32].

In social systems, the status of a system, such as an organization, shifts from that of an objective reality to one which is a socially constructed reality. The reality of the behavior of individual or groups is a product of the perception of those elements. By the act of believing, they are partially creating a social reality. The creation of norms, values and myths are acts that modify social reality.

Properties that were thought to reside in objects are becoming recognized as properties of the observer. Complexity is highly dependent on the perceptive system of the observer. Forster (42) states that the old paradigm was the management of observed systems. The new paradigm is the management of observing systems.

The study of this type of phenomena is closely related to the previous topics that are generating the need for different systems frames.

10. Systems pathology. The study of systems pathology has been proposed in relation to social systems. Pondy and Nitroff stated the need for developing a theory of error, pathology and disequilibrium in organizations (87). The recognition of pathology requires the recognition of normalcy, and thereby, deviant behavior. Normalcy implies a kind of functional behavior and/or value judgement and is usually judged in relation to an ideal frame.

Systems pathologies in great part refer to some specific systems frame. One phenomenon that is often seen as a pathology or undesirable behavior is conflict and the exercise of power within social systems.

11. Power. Much criticism against the systems movement is directed toward the neglect of the variable power (19, 21). Bryer (21) states that systems analysis has ignored variables which could prove to be crucial such as those involved in social problems that are culture-bound, value-laden, and honeycombed within a political power network. The study of power generates strong reactions within the systems movement. Churchman (32) states that an enemy of the systems approach is the political approach. On the other hand, Benveniste (14) says that a new social role combining political and technical dimensions is needed. The absence of research on power in social systems may be due to the association between power and political maneuvering, manipulation and intrigue. These associations have caused, and rightfully so, a strong reaction such as the one expressed by Eilon (30).

Taking power as the ability of a system to fulfill its purposes and functions, there is an implicit concept of power in each level of Bouldings' typology. For example, clock-works have a device embedded within them which is capable of realizing the functions of the system i.e. a winding

mechanism. Open systems which process inputs into outputs require a power source to effect transformation. Living organisms have complex processes which transform energy into movement. Multi-cephalus systems have a power concept embedded in them which has one peculiar characteristic: one element can use another element as its tool. This characteristic has had such strong implications that one of the most common definitions of power in social systems is not the ability to produce a desired change, but the ability of making an individual do what one desires. To produce changes, maintain their internal stability, perform their different functions systems must exercise power and control. Holistic systems frames can be thought of as containing an implicit holistic concept of power, a type of omnipotence ideal [65]. The study of power requires a frame that can describe conflicting behavior among system components which would be somewhat different from the "well-behaved" frame.

V. Limiting Assumptions Implicit in Systems Frames.

To understand the implication of conceptualizing an entity as a system it is necessary to identify the basic assumptions which underly most systems frames. The set of assumptions that are important to the present study are those which have implicit limitations for the study of social systems.

The search for such assumptions was done through the analysis of possible new avenues of the systems movement, and direct criticism raised against systems frames. In this section the integration of both aspects is presented. Four basic limiting assumptions have been identified: tight relationships, well behaved components, mutually exclusive states, and permanency.

1. Tight relationships. As the components are more "tightly coupled", more interdependent, the object is more "systemic", in that, it fits better a system frame ideal. As the components are more "loosely coupled" the systemic property is weaker. The paradox of a perfectly coupled system underlies many system frames. It is a paradox because the limiting case of a tight system is no longer a system, it is an object.

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

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

Limitation to this ideal has been expressed by different authors. Vickers [104] stated that "we cannot avoid the demands of an increasingly interdependent world, but we should minimize them when and where we can". Trist [101] states that in

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

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

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

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

as such. Churchman states that "the differentiating features of systems is that they can be separated into parts, and that parts work together for the sake of the whole" [50]. He identifies a component by its ability to benefit a system. That is, if a system can influence another entity to do something for its benefit, then the latter is a component to the former. Van Gogh [104] stated that "one of the objectives of the systems approach is to insure that all subsystems work together and contribute toward the total system's objectives".

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



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

The Systems' Paradigm Crisis and the Emergence of New Frames:
Systemic-Netfields

(C o m p l e m e n t o)

Dr. Raúl Carbajal

Noviembre 1981.

or the kidneys trying to take over the brain, it is difficult to treat conflict between components as other than abnormal behavior.

Within the "well-behaved" stereotype, it is difficult to determine when an element is a component. How long and how much must an element contribute to the whole in order to qualify as a component? Does it matter that the element is obliged to make its contribution? Can we imagine a component trying to subvert the systemic order? (eventhough it happens frequently in social systems, sometimes with the help of a systems approacher). Does this stereotype have implicit a "brave new system" ideal?

3. Mutually exclusive states. Weick [107] has pointed out that conceptualization of biological and physical entities as systems has proven to be a workable model of reality partly because many of the variables have mutually exclusive states.

But entities such as psychological ones often have states that are coexistent. For example, a model of obesity suggests that in every adult there may reside an inner fat person eventhough the exterior form may be thin. A person

is at an intersection of many states on different occasions. The possibility that multiple states exist simultaneously for a single psychological variable is plausible because actors remember, perceive, and anticipate.

The assumption of mutually exclusive states implies, not only, a definite state for variables and components, but also, for the whole system. The idea that there may be a potential system within other systems or entities is ruled out within this stereotype making it difficult to conceptualize phenomena such as the emergence or genesis of social processes.

4. Permanent system. The maintenance of its internal structure is one of the basic characteristics of a system. Systems, and especially man-made systems, are frequently viewed as permanent entities whose disappearance is a failure of design or structure. A permanent system does not necessarily imply a static structure. There may be a dynamic change process but geared toward the maintenance of the identity of unity of the system. Survival is a key objective.

Within this stereotype, it is difficult to conceptualize a system that gets transformed into other entities such as networks. The growth and separation of a component is a traumatic experience and is frequently interpreted in terms of the failure of the system to provide adequate conditions for component development, or as a deviant act of either addition or ingression on the part of the component. Systems that exist only in temporary conditions are considered to be in a state of immaturity.

In the systems literature, temporary systems have been recognized or conceptualized as the so called task or mission oriented groups, as basic parts in project, matrix or multidimensional organizations [5, 35, 93]. Thompson [100] has labeled "synthetic organizations" as those which emerge to overcome the effects of large scale natural disasters in communities. When normal organizations are immobilized by a sudden disaster, the synthetic organization rapidly develops a structure where coordinated action can get the job done. He states that they are inefficient because they must simultaneously establish structure and carry on operations. But what happens when these organizations are dissolved? Is all the energy spent in their temporary organization lost? Holling [46] reflecting on how systems persist in response to

grave fluctuations gave the example of the Managua earthquake: "Police did not function, communication was cut, and so on. Nevertheless, the system persisted because people were able to draw support from the remnants of their extended family" They created a synthetic organization where people learned to deal with disasters and learn to organize themselves. It would not be surprising if there was a connection between the earthquake and the revolution that took place later. Perhaps the synthetic organization did not disappear after all.

There are some questions that are very unlikely to arise within this stereotype:

- a) How does an entity transform itself into a system?
- b) When may a crisis collapse a system?
- c) When may a crisis strengthen a system?

VI. Systemic-Netfields.

The identification of those four limiting assumptions provided the basis for the analysis of systems paradigms. A strategy for the generation of alternative frames is through the identification and modification of limiting assumptions. Therefore, in this section a proposal for the development of some apparently new frames will be made. Three concepts, enclosed under the generic label of systemic-netfields, are advanced. They are the following: systemic-networks, systemic-aggregates, and systemic-fields.

1. Systemic-networks. The relationship between networks and systems has been recognized for some time. Trist [101] refers to "temporary systems arising from networks". In social anthropology concepts such as quasi-groups and action-sets [72] which have system (or group) properties and network (or association) properties have been developed.

A systemic-network is a network with the capability of becoming a system and a system with the capability of becoming a network when specific conditions arise. The systemic and network status coexist in a systemic-network. Its potential lies in its capacity for choosing the appropriate degree of "systemicity". If a network capability

32

for transformation into system and a system's ability to transform into a network is partial, then we will consider it a partial systemic-network.

The definition of systemic-network can be derived from the description of a social network. A network in general is considered to be a graph (set of nodes and arcs) with a certain type of flow in its arcs. A social network frame focuses attention on relationships (arcs) between people (nodes). Within this frame it is assumed that a person's social conduct, decision processes, orientation and attachments can be understood within the context of his network relationships. Anderson and Carlos [8] state that social network theory, if it amounts to anything, contains the following elements: a concept which focuses on the individual social agent; a web of interconnected individuals who use their linkages to transmit their expectations, affect, and sentiments and to transact their social affairs; a set of behavioral mechanisms involved in the conduct of network relations; a loosely structured framework for examining the dynamics of the network; and a set of empirical and analytical techniques.

The definition of system as a set of interrelated elements encloses the definition of a network. Networks have been referred to as unbounded systems [10]. The main differences between a system and a network are: the concept of unity and wholeness and the "tightness" of their elements.

A systemic-network may be transformed from a network into a system by threatening situations or extreme opportunities. A social network is not necessarily a systemic-network if it lacks the capability for becoming a system. A temporary system that preserves the capability for becoming a system through time is a systemic-network. The study of systemic-networks requires the recognition of its present status of integration. A researcher who studies an organization, which under crisis situation behaves as a tight system, may have a completely different description when the organization is in a network or systemic-aggregate (see VI-2) condition.

Design of a systemic-network poses an entirely different problem than the design of a system. The purpose of a systemic-network design is not only to attain a given objective but to create a coexisting system-network and to determine the appropriate degree of systemicity for different situations.

Elements of a systemic-network may be individuals, systems or other systemic-networks. There may be a systemic-network embedded in a supra systemic-network.

2. Systemic-aggregates. A systemic-aggregate is closely related to a systemic-network. The difference is the existence of a support system. A systemic-aggregate is a set of elements with a common support system that enables the elements to grow and survive. A systemic-aggregate has two limiting conditions: a system, and an aggregate of parts with a common support system. Both conditions coexist simultaneously.

In the aggregate conditions, the common objectives of the parts is the preservation of the support system. This objective may be stated as the creation of a situation where each and all members develop as they please. The common support system requires cooperative behavior which may range from little cooperative activity by the elements, to a total redirection of their activities to serve the whole. When all components behave mainly in the interest of the whole the systemic aggregate is in system condition. Such situations may arise when there is a common threat.

A referent organization could be an example of a support-system in a systemic-aggregate. This type of organization is critical for the development of organizational domains. They have three functions: regulation of present relationships and activities, establishing ground rules and maintaining base values; appreciation of emergent trends and issues, developing a shared image of a desirable future; infrastructure support which entails information sharing, special projects, resources, etc. [112]. A family could be another example of a systemic-aggregate. Through growth, there may be separation of parents and sons and therefore become a systemic-network. A university can be conceptualized in a more natural way as a systemic-aggregate than as a system. The conceptualization of a university as a system has caused much frustration to systems thinkers. Schools, taken as components within university, seem uninterested in cooperation above a minimal level. They resist change toward a cooperative state that would require a redirection of their activities. Universities have been compared to graveyards since both of them grow in the same way and remain un-changed for the same reason. Loosely coupled (45, 108) and temporary systems may be examples of systemic-aggregates, providing they have a support system common to all components.

3. Systemic-fields. The concept of systemic-field draws largely from the works of Lewin (64) and Emery and Trist (40).

Lewin's field theory views change as the result of the alteration of existing field forces which unfreeze the system and produce a locomotion or change in position in the field until a new equilibrium is reached refreezing the system or pattern. An increase in one of the forces does not necessarily generate a change. It may be countermanded by other forces at a higher level of tension. The ideas of Lewin have been used to describe the social-psychological space of an institution. Field forces and tension systems have also been used to describe the social influence process. The power of one person over another is related to the strength of the force field which he can induce over the other person.

De Greene (36) states that among the properties of socio-technical fields are: the magnitude, directions and point of application of the forces; the thresholds above which a change is produced as well as the level of satiation of the forces; gradient or forces of attraction that values or goals may exert; inertia and momentum of the elements of subsystems. He states that the challenge of systems science is "the discovery of the means of sensing, identifying, describing, measuring, predicting, and controlling the changes that lead to a restructuring of the socio-technical systems fields".

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

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

3.1. Elements and properties. The elements or components of a systemic-field are: individuals, systems, networks, systems-networks, systemic-aggregates, or even systemic-fields. Three basic properties are present among the elements:

- a. Force. An element's force is related to its ability to produce a desired outcome, change or locomotion. In this context, force includes the different aspects of social influence.
- b. Field. The degree in which an element or event influences the behavior of other elements is a measure of the magnitude of its field. A field may be produced by goals or values or by elements which are perceived as capable of exerting a powerful force. The valence of the field in relation to an element is the perception on its orientation as positive, neutral, or negative toward the element.
- c. Tension. The tension level of an element is the result of the exertion of the different forces and the presence of fields upon the structure of the element.

3.2. Characteristics of systemic-fields. Some characteristics of systemic-fields are the following:

- a. Perceptive elements. A systemic-field has components which are capable of reflexion, perception, and anticipation. A component may react to a force or to the belief in the existence of a force. The perception of a force may be based on past behavior or conceptual models that make the interpretation of language, signs and symbols possible. An element may modify its behavior due to its belief, regardless of the reality of the force or field. If an element is perceived as capable of exerting a great force or influence, then its intentions will be of much interest.
- b. Changing nature of elements. If a small force is exerted on an individual element then it behaves as an individual providing it can manage the situation. If the magnitude of the force is so big that an individual finds defense impossible, then the individual element may produce a systemic-network or system response to protect itself. The structure of the responding element may change due to the perception of the magnitude of the force exerted upon it. Also, the perception of the structure of the

source of the force modifies its response. If an element believes that the source is a systemic-network, the likely implication is that it is much more difficult to oppose than an individual element.

- c. Tension level. The tension level of an element of a systemic field is a function of the fields, forces acting upon it, and its internal structure. In a state of equilibrium the tension level must be below a critical value called the fragility level. If the tension level raises above its fragility level then the element collapses or dissolves. The most viable elements may then be incorporated in other entities such as systemic-networks or systems.

Conflict may be conducted in a systemic-field within limits that do not reach the fragility level. A higher level component may instigate limited conflict among lower level components.

- d. Valence. An element may perceive another component as positive, neutral or negative. That is, if it is perceived as positive then the development of the component benefits the element. In general, an element will resist or oppose

the development of the components that are perceived as having a negative valence.

- e. Performance and coordination. The realization of tasks or actions in general require the exertion of a force, the potential for exerting a force, or a potential for modifying the field. Coordination of activities requires the ability to modify the behavior of deviant elements.

VII. Conclusions

1. Through the analysis and synthesis of criticism raised against existing frames a methodology for the detection of new trends can be developed which could imply the need for the modification of the existing paradigm. This methodology may be improved in several ways. For example, a more detailed study of the social structure of the area could be made using variables such as coauthorship, citation and cocitation indexes, and relationships such as thesis director, colleagues, membership in societies, etc. Also, a further analysis of the intellectual development could be done consulting the expert opinion of leading researchers of the area. Eventhough the present study omits such avenues, it is felt that the methodology provides a good basis for the identification of emergent paradigms.

2. The search for the systems paradigm reveals a set of systems frames at different stages of development. The different frames eventhough, they have some relationship between them, have been developed in a fairly independent way, in that, they have not been based in a common research program or a common frame.

Therefore, it is natural to suggest a proposal for advancing the systems movement: to gather the main leaders of the movement and, through a consensus creating procedure, to produce a research program for the future of the area. There is a technique for carrying out such a procedure.

3. Understanding the implications of systems frames in social systems is done through the identification of basic limiting assumptions. Four limiting assumptions are identified: tight relationships, well-behaved components, unique states, and permanency. These limiting assumptions may pose strong limitations for the use of systems frames in social systems. They may be at the root of a crisis of the systems paradigms. If these assumptions are conceptualized as constituents of the ideology of systems thinking their modification will be confronted with strong opposition within the systems movement.

4. Three frames which may constitute valuable tools for research, design, planning, and management of social systems have been developed under the generic name of systemic-net-fields: systemic-networks, systemic-aggregates and systemic-fields. They constitute a bridge between systems and networks, aggregates, and fields. A power structure resembles more a systemic-network than a system or a network. A university may be conceptualized more "naturally" as a systemic aggregate than as a system. Conflict may be better treated using a systemic-field frame where the components are in a state of dynamic equilibrium with different degrees of tension.

5. The understanding of social systems can be advanced through the construction of a powerful "algebra" with individuals, aggregates, networks, systems, and systemic-netfields as components. The definition of operations, composition laws and interrelationships between these components will provide a much richer (and unfortunately messier) super frames for the study of complex social systems and processes such as emergent social processes, autonomy, myths, language, culture, and the genesis and exercise of power.

BIBLIOGRAPHY

43

1. Ackoff, R.L., Towards a system of systems concepts, Management Science, 17, 11, 1971.
2. Ackoff, R.L., Emery, P.E., On Purposeful Systems, Chicago: Aldine-Atherton, 1972.
3. Ackoff, R.L., Redesigning the Future, New York: Wiley, 1974.
4. Ackoff, R.L., National development planning revisited, Oper. Res., 25, 2, 1977, 207-218.
5. Ackoff, R.L., Towards flexible organizations: a multidimensional design, Omega, 5, 6, 1977.
6. Ackoff, R.L., The future of operations research is past, J. Opl. Res. Soc., 30, 1979, 93-104.
7. Ackoff, R.L., Resurrecting the future of operational research, J. Opl. Res. Soc., 30, 1979, 189-199.
8. Anderson, B., Carlos, M.L., What is social network theory? in T.R. Burns and W. Buckley (eds), Power and Control, Social Structures and Their Transformations, London and Beverly Hills: Sage Publications, 1976.
9. Baha, A.J., Systems Theory: hocus pocus or holistic science, General Systems, 14, 1969.
10. Beer, S., Decision and Control, London: Wiley, 1966.
11. Beer, S., Brain of the firm, Allen Lane: The Penguin Press, 1972.
12. Beer, S., The Heart of Enterprise, New York: Wiley, 1980.
13. Bennis, W.G., Benne, K.D., Chin, R., The Planning of Change, 2nd. Edition, New York: Holt, Rinehart and Winston, 1969.
14. Benveniste, G., The Politics of Expertise, Berkeley: Glendessary Press, 1972.
15. Berlinski, D., On Systems Analysis: An Essay on the Limitations of Mathematical Methods on the Social, Political and Biological Sciences, Cambridge: MIT Press, 1976.
16. Berlinski, D., Adverse notes on systems theory, in reference 57.
17. Bertalanffy, L. Von., The theory of open systems in physics and biology, Science, III, 1950, 23-29.
18. Bertalanffy, L. Von., General System Theory, Harmondsworth: Penguin Books, 1968.
19. Bevan, R.G., Bryer, R.A., On measuring the contribution of OR, J. Opl. Res. Soc., 29, 1978, 409-418.
20. Boulding, K., General Systems theory - the skeleton of science, in reference 22.
21. Bryer, R.A., The status of the systems approach, Omega, 7, 3, 1979, 219-231.
22. Buckley, W. (ed), Modern Systems Research for the Behavioral Scientist, Chicago: Aldine, 1968.
23. Cetron, M.J., Clayton, A., Investigating potential value changes, in reference 67.
24. Checkland, P.B., A Systems map of the Universe, J. Sys. Eng., 2, 2, 1971.
25. Checkland, P.B., Towards a systems-based methodology for real world problem solving, J. Sys. Eng., 3, 2, 1972.
26. Checkland, P.B., The development of systems thinking by systems practice—a methodology from an action research program. In R. Trappl and F.P. Hanika (eds), Progress in Cybernetics and Systems Research, Vol. II, Washington D.C.: Hemisphere, 1975, 276-283.
27. Checkland, P.B., Science and the systems paradigm, Int. J. General Systems, 3, 1976, 127-134.
28. Chen, G.K.C., What is the systems approach?, Interfaccs, 6, 1, 1975.

- 45
- 46
29. Churchman, C.W., The Systems Approach, New York: Delacorte Press, 1968.
 30. Churchman, C.W., The Meaning of Inquiring Systems, New York: Basic Books, 1971.
 31. Churchman, C.W., Perspectives of the systems approach, Interfaces, 4, 4, 1974.
 32. Churchman, C.W., The Systems Approach and its Enemies, New York: Basic Books, 1979.
 33. Clark, B.R., The occupational saga on higher education, Administrative Science Quarterly, 17, 1972, 178-184
 34. Crane, D., Invisible Colleges: Diffusion of Knowledge in Scientific Communities, Chicago: University of Chicago Press, 1972.
 35. Davis, S.M., Lawrence, P.R., Matrix, Reading, Mass: Addison-Wesley, 1977.
 36. De Graena, K.B., Sociotechnical Systems: Factors in Analysis, Design and Management, Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1973.
 37. Dolby, R.G.A., Sociology of knowledge in natural science, Science Studies, 1, 1971.
 38. Duncan, N.J., On revolutionizing methodology, Interfaces, 6, 1, 1975, 19-23.
 39. Eilon, S., Power corrupts, Omega, 7, 4, 1979, 269-272.
 40. Emery, F.E., Trist, E.L., Socio-technical systems, in F.E. Emery (ed), Systems Thinking, England: Penguin Books, 1960.
 41. Emery, F.E., Trist, E.L., Towards a Social Ecology, London: Plenum Press, 1973.
 42. Foerster, H. Von., The curious behavior of complex systems: lessons from biology, in Ref. 67.
 43. Forster, M., An introduction to the theory and practice of research in work organizations, Human Relations, 25, 6, 1972.
 44. Gall, J., Systemantics, New York: Quadrangle/The New York Times Book Co., 1974.
 45. Glassman, R.D., Persistence and loose coupling in living systems, Behavioral Science, 18, 1973, 83-90.
 46. Hall, A.D., Fagen, R.E., Definition of system, General Systems, 1, 1956.
 47. Hall, J.R., Hess, S.W., OR/MS: Dead or dying? RX for survival, Interfaces, 8, 3, 1978.
 48. Holling, C.S., The curious behavior of complex systems: lessons from ecology, in Reference 67
 49. Hoos, I.D., Systems Analysis as a technique for solving social problems- a realistic overview, Socio-Economic Planning Sciences, 4, 1, 1970.
 50. Hoos, I.D., Systems Analysis and Public Policy: a Critique, Berkeley: University of California Press, 1972.
 51. Hoos, I.D., Engineers as analysts of social systems: a critical enquiry, J.Svs. Eng., 4, 2, 1976, 81-88.
 52. Jenkins, G.M., The systems approach, J.Svs. Eng., 1, 1, 1969.
 53. Jones, A.W., On the limitations of GST in systems engineering, in reference 57
 54. Kast, P.E., Rosenzweig, J.E., The modern view: a systems approach, in J. Beishon and G. Peters (eds), Systems Behavior, The open University Press, London: Harper and Row, 1972.
 55. Klir, G.J., An Approach to General Systems Theory, New York: Wiley, 1969.
 56. Klir, J.G. (ed), Trends in General Systems Theory, New York: Wiley, 1972.
 57. Klir, J.G. (ed), Applied General Systems Research, New York: Plenum Press, 1978.
 58. Kuhn, T.S., The Structure of Scientific Revolutions, 2nd. ed., Chicago, University of Chicago Press, 1970.

59. Kuhn, T.S., Second thoughts on Paradigms, in F. Suppes (ed) The Structure of Scientific Theories, Urbana: The University of Illinois Press, 1974, 459-462.

60. Lapp, R.E., The New Priesthood: The Scientific Elite and the Uses of Power, New York: Harper, 1965.

61. Lee, A.M., Systems Analysis Frameworks, London: Macmillan, 1970.

62. Lecuw, A.C.J. de, Systems: definition and goal, Journal of Systems Engineering, 3, 2, 1972.

63. Levin, P.H., On decisions and decision-making, Publ. Admin., 50, 1972, 19-44.

64. Lewin, K., Field Theory in Social Science: Selected Theoretical Papers, Dorwin Cartwright (ed), London: Tavistock, 1963.

65. Lilienfeld, R., Systems Theory as an ideology, Social Research, 42, winter 1975, 637-660.

66. Lilienfeld, R., Systems thinking in the social sciences, in R. Lilienfeld, The Rise of Systems Theory, New York: Wiley, 1978.

67. Linstone, H.A., Clive Simmonds, W.H., Futures Research, Reading, Ma: Addison-Wesley, 1977.

68. Ludz, P.C., Marxism and System theory in a bureaucratic society, Social Research, 42, 1975, 661-674.

69. Marchall, J.H., On the concept of a system, Philosophy of Science, 42, 1975, 448-468.

70. Masterman, M., The nature of a paradigm, In I. Lakatos and a Musgrave (eds), Criticism and the Growth of Knowledge, Cambridge: The University Press, 1970.

71. Maturana, H.R., Varela, F.J., Autopoiesis and Cognition: The realization of the Living, Dordrecht, Holland: Reidel, 1980.

72. Mayer, A.C., The significance of quasi-groups in the study of complex societies, in M. Banton (ed), The Social Anthropology of Complex Societies, London: Harper and Row, 1973.

73. McLean, M., The limitations of applied systems research, in reference 57.

74. Mesarovic, M.D., Views on General Systems Theory, New York: Wiley, 1969.

75. Mesarovic, M.D., Systems concepts, paper prepared for the UNESCO Project "Scientific thought", 1969.

76. Meyer, J., Rowan, B., Institutionalized organizations: formal structure as myth and ceremony, American Journal of Sociology, 30, 1977, 431-450.

77. Michael, D.N., Planning's challenge to the systems approach, in Reference 67.

78. Minsky, M., A framework for representing knowledge, AI Memo 306, MIT Artificial Intelligence Laboratory, Cambridge, Mass, June 1974.

79. Nitroff, I.I., Kilmann, R., On organizational stories: an approach to the design and analysis of organizations through myths and stories, in R.H. Kilmann, L.R. Pondy, and D.P. Slavin (eds), The Management of Organization Design: Strategies and Implementation, New York: American Elsevier, 1976.

80. Mallins, N.C., The development of a scientific specialty: the phage group and the origins of molecular biology, Minerva, 10, 1, 1972.

81. Malkay, M.J., Gilbert, G.N., Woolgar, S., Problem areas and research networks in science, Sociology, 9, 2, 1975.

82. Pfeffer, J., Salancik, G., Organizational decision making as a political process: the case of a university budget, Administrative Science Quarterly, 19, 1974, 131-151.

83. Phillips, D.C., System Theory - a discredited philosophy, Abacus, September 1969, 3-15.

84. Phillips, D.C., Holistic Thought in Social Sciences, Stanford, Cal.: Stanford University Press, 1976.

85. Pidd, M., Systems approaches and operational research, European Journal of Operational Research, 3, 1979, 13-D.

86. Pondy, L.R., The other hand clapping: and information processing approach to organizational power, in T. Demerz and S. Bacharach (eds), Research Systems and Power Distribution, Cornell University, School of Industrial and Labor Relations, 1977.
87. Pondy, L.R., Mitroff, I.I., Beyond Open system models of organization, Research in Organizational Behavior, 1, 1979, 3-39
88. Price, D.J., De Solla, Little Relevance, Big Science, New York: Columbia University Press, 1963.
89. Raitt, R.A., Must we revolutionize our methodology?, Interfacog, 4, 2, 1974.
90. Rapoport, A., Modern systems theory-an outlook for coping with change, General Systems, XV, 1970, 15-25
91. Rubin, A.D., Knowledge, Experiment and Evaluation in Medical Biotechnology, AI-TR-316, MIT Artificial Intelligence Laboratory, Cambridge, Mass, Jan. 1975.
92. Sachs, W.K., Toward formal foundations of teleological systems science, General Systems, XXI, 1976, 145-152.
93. Scott, W.G., Mitchell, T.R., Organization Theory, Georgetown, Ontario: Richard D. Irwin, Inc., 1972.
94. Shapiro, D., The structure of scientific revolutions, Philosophical Review, 73, 1964, 383-394.
95. Shaw, M.E., Costanzo, P.R., Theories of Social Psychology, New York: Mac Gray-Hill, 1970.
96. Silverman, D., The Theory of Organization, New York: Basic Books, 1971.
97. Simon, H.A., The Sciences of the Artificial, Cambridge, Mass.: MIT Press, 1969.
98. Sapper, T. (ed), The Structure of Scientific Theories, Urbana: The University of Illinois Press, 1974.
99. Systems Analysis and Operations Research: A tool for policy and program planning for developing countries, Commission on International Relations, National Academy of Sciences, Washington D.C., 1976.
100. Thompson, J.D., Organizations in Action, New York: McGraw Hill, 1967.
101. Trist, E.L., New directions of hope: recent innovations interconnecting organizational, industrial, community and personal development, Ethical Studies, 13, 1979, 439-471.
102. Trist, E.L., The environment and system-response capability, Futures, April 1980.
103. Van Court, H., Systems Analysis, in Progress in OR, Vol. 2, New York: Wiley, 1964.
104. Van Gogh, J.P., Applied General Systems Theory, 2nd Ed., New York: Harper and Row, 1978.
105. Varah, F.J., On being autonomous: the lessons of natural history for systems theory, in reference 57
106. Vickers, G., The future of culture, in H.A. Hirstone and R.H. Clive Simmonds, Futures Research, Reading, Ma.: Addison - Wesley, 1977.
107. Weick, K.E., Middle range theories of social systems, Behav. Sci., 10, 6, 1974.
108. Weick, K.E., Educational organizations as loosely coupled systems, Administrative Science Quarterly, 21, 1976, 1-19
109. Zeleny, M., Book Reviews: Trentowski, Bogdanov, Leduc, Smuts, Inc. J. General Systems, 5, 1, 1979, 63-71.
110. Schwartz, P., Orilly, J., The emergent paradigm: Toward an aesthetics of life, Unpublished Manuscript presented at the ISOMAR Meeting in Barcelona, Spain in June 1980.
111. Trist, E.L., A concept of organizational ecology, Australian Journal of Management, 2, 2, 1977.
112. Trist, E.L., Referent organizations and the development of inter-organizational domains, A distinguished lecture to the Academy of Management, 39th, Annual Convention, Atlanta, August 9, 1979.
113. Trist, E.L., The evolution of socio-technical systems: As a conceptual framework and as an action research program, Unpublished manuscript, April 1980.



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

PLANEACION Y SISTEMAS

Dr. Felipe Lara Rosano

NOVIEMBRE, 1981

PLANEACION Y SISTEMAS

Dr. Felipe Lara Rosano
Coordinador de Inj. de Sistemas
Instituto de Ingenieria, UNAM.

1. Introducción

La planeación la definió Ackoff como un proceso de decisiones anticipatoria, es decir que, en vez de esperar a que los problemas se presenten para decidir sobre ellos, se puede organizar un proceso de decisiones que, anticipándose a los problemas futuros, los evite, logrando una situación más deseable.

Siendo el desarrollo un fenómeno social, que se da en un medio geográfico y una estructura económica dados, la metodología adecuada para abordar el problema de su planeación es la metodología adecuada para abordar el problema de su planeación es la metodología de sistemas o enfoque sistémico.

Este enfoque se basa en considerar a la realidad que se estudia como un todo formado por partes estrechamente interdependientes, es decir, como un sistema.

Se define como sistema un conjunto de elementos, llamados componentes del sistema, interrelacionados de tal manera que las propiedades del todo se derivan de la forma en la que relacionan los componentes y la influencia de un componente sobre el todo depende de uno o más de los demás componentes. Por ejemplo, el automóvil es un sistema cuyos componentes son el motor, el carburador, los frenos, la dirección, etc. El funcionamiento del automóvil depende de la forma en que se relacionan todos estos componentes y además el funcionamiento de uno de ellos, por ejemplo del motor, depende del tipo de carburador que tenga el auto.

Otro ejemplo de sistema sería la selva tropical húmeda cuyos elementos son ciertas especies vegetales, cierto tipo de suelos, ciertos regímenes pluviales y térmicos, ciertas latitud y altitud, ciertas especies animales, etc, todos los cuales están interrelacionados de manera que la alteración considerable de uno de ellos tiene efecto sobre todos los demás.

2. Principios de la planeación

Para que la planeación sea eficaz, o sea que lleve a los objetivos que se propone, necesita seguir cuatro principios: participación, coordinación, integración y continuidad.

Participación. Cuando un plan es originado en una oficina sin la participación de la gente que va a implantarlo o la que va a recibir los beneficios supuestos de dicho plan, generalmente se establecen brechas de comunicación entre la oficina planificadora, los implantadores y los usuarios que provocan dificultades que pueden llevar al fracaso total del plan.

Para prever y evitar estas dificultades, la planeación debe ser participativa, es decir, deben ser incluidos en los esfuerzos de planificación tanto los que van a ejecutar e implantar el plan como la comunidad que va a recibir los efectos de dicho plan. En el caso ideal, la función del planificador profesional no es la de planear para otros si no ayudarlos a que estos planifiquen eficaz y eficientemente para sí mismos.

El principal valor de la planeación para una comunidad no es consumir el plan, sino participar en su producción, ya que este proceso lleva implícito un proceso simultáneo de educación y concientización. El planificador profesional debe ser, entonces, un educador.

Coordinación. En un sistema social se pueden distinguir dos cualidades en relación con su organización: la jerarquía vertical de la organización que distribuye el poder de decisión en diferentes niveles, por ejemplo presidente, director general, jefe de departamento, jefe de grupo etc. y la distribución de funciones, que distribuye los diferen

tes objetivos a alcanzar entre diferentes secciones del sistema. Por ejemplo, en una empresa existen departamentos de compras, de producción, de contabilidad, de personal, de ventas, etc cada uno de los cuales tiene asignado un objetivo diferente y por lo tanto una función diferente dentro del sistema total.

La planeación de un sistema debe ser coordinada, lo que quiere decir que la planeación de cada función específica del sistema debe estar de acuerdo con la planeación de las demás funciones para que el todo funcione armónicamente.

Así como por ejemplo, al planificar el turismo se debe lograr que la planeación de alojamientos esté acorde con la promoción, con la demanda potencial, con la planeación de los medios de transporte y con el tipo de atractivos que ofrece la localidad.

La planeación debe ser coordinada, porque muchas veces lo que parece ser un problema de una de las partes es en realidad el síntoma de una deficiencia de otra o de la forma en que las partes interactúan y puede obtenerse una gran mejoría en el sistema cambiando el comportamiento de ese otro elemento en vez del de la parte que parecía deficiente. Por ejemplo, a veces es posible aumentar el nivel de producción de una comunidad, mejorando la eficiencia de los medios de transporte.

Integración. Al decir que la planeación debe ser integra

da se quiere decir que la planeación de las actividades de un nivel jerárquico dado debe estar acorde con la planeación de las actividades de los niveles superiores e inferiores. Por ejemplo, la planeación de los transportes locales debe estar acorde con la de los foráneos.

Diferentes tipos de decisiones son distribuidas en diferentes niveles de la jerarquía vertical de un sistema.

Por ejemplo, las decisiones operacionales, que consisten en seleccionar algunos medios de acción, se toman en la base; las decisiones tácticas que implican definir objetivos de corto plazo se toman en el siguiente nivel; decisiones estratégicas que implican selección de objetivos de mediano plazo se toman a niveles más altos y las decisiones normativas que implican la selección de objetivos últimos e ideales se toman al nivel más alto. La mayor parte de las veces, la planeación es un proceso que fluye de arriba a abajo, enfatizando por lo tanto las decisiones normativas y estratégicas. Otras veces, la planeación fluye de abajo hacia arriba, enfatizando las decisiones operacionales y tácticas. La planeación integrada, en cambio, hace que todos los tipos de decisiones reciban el mismo énfasis y que los objetivos a corto plazo estén acordes con los objetivos a mediano y largo plazo.

Continuidad. La continuidad en la planeación se refiere a dos aspectos: en primer lugar debe buscarse que los planes de hoy sean congruentes con los planes de mañana para

evitar un derroche inútil de recursos. En segundo lugar, como las circunstancias ambientales cambian rápidamente y en forma continua, no es posible que el plan elaborado en un momento dado siga teniendo vigencia cinco años después, por lo que el plan debe revisarse y actualizarse continuamente y permanentemente, adaptándose a las circunstancias cambiantes.

3. Fases de la planeación

Debido a la complejidad del proceso de planeación, conviene dividir a éste en fases para hacerlo más manejable.

De acuerdo con Ackoff (1974b), hay cinco fases de la planeación: planeación de fines, planeación de medios, planeación de recursos, planeación organizacional e implantación y control de la planeación.

Planeación de fines. Esta fase de la planeación se refiere a la identificación y definición de los objetivos del proceso de planeación y al diseño de un futuro más deseable. Hay tres tipos de fines: los ideales, los objetivos y las metas. Los ideales son fines que no pueden llegar a cumplirse totalmente, pero a los cuales se puede uno aproximar indefinidamente con el tiempo. Otra manera de visualizar los ideales es considerarlos como objetivos que van a llegarse a cumplir a muy largo plazo. Por ejemplo, el acabar con la pobreza en México podía considerarse como un ideal.

Los objetivos son fines a mediano plazo a los que es necesario llegar para aproximarse a los ideales. Por ejemplo, dar educación, empleo y una mejor nutrición serían objetivos que habría que alcanzar para erradicar la pobreza en México.

Las metas son fines a corto plazo, ^{generalmente} cuantificables y que constituyen un prerrequisito para alcanzar los objetivos. Por ejemplo disminuir a la mitad el número de analfabetas en dos años.

Planeación de medios. Esta fase de la planeación se refiere a la definición y a la selección de los medios e instrumentos necesarios para alcanzar los fines propuestos. En esta fase no sólo es importante tomar en cuenta medios que ya existan, sino descubrir o inventar nuevos medios más eficientes para alcanzar los fines propuestos.

En general puede decirse que, para alcanzar una meta, es necesario emprender un conjunto de acciones coordinadas llamado táctica; para alcanzar un objetivo hay que emprender un conjunto de tácticas que es la estrategia y para aproximarnos a un ideal es necesario emprender un conjunto de estrategias que configuran una política.

Planeación de recursos. En esta fase de la planeación se determina la cantidad y calidad de los recursos necesarios para alcanzar los fines propuestos con los medios seleccionados. Así mismo, hay que definir cómo se van a gene-

rar e a conseguir estos recursos, así como la forma en que se van a distribuir para lograr un efecto óptimo. Entre los recursos tenemos los recursos humanos, los edificios, los servicios, el equipo, los insumos, el capital, la información, la tecnología.

Planeación organizacional. Esta etapa de la planeación se refiere al diseño de la organización que se requiere para llevar a cabo el plan en forma eficaz, o sea cumpliendo con los objetivos, y en forma eficiente, o sea con un aprovechamiento óptimo de los recursos. Dentro del diseño de la organización es importante fijar la estructura y funciones de la misma en forma completa pero flexible de manera que la organización diseñada sea capaz de adaptarse a los cambios que pudieran presentarse y sea capaz de aprender de los propios errores para mejorar su funcionamiento.

Implantación y control de la planeación. En esta fase de la planeación se programan con todo detalle los pasos necesarios para implantar el plan, definiendo quién es el responsable de cada paso y cómo va a evaluarse el efecto del plan en el futuro. Esta fase es sumamente importante porque es la liga entre el proceso de planeación y la realidad sobre la que se va a aplicar éste. En muchas ocasiones la falla de esta última fase provoca que los planes nunca se lleven a efecto o no tengan los resultados que se esperaban.

La evaluación de los efectos del plan debe partir de los fines inicialmente propuestos y de la situación que se ha logrado con la implantación del plan. La medida en que esta situación corresponda a los fines originales es un indicador para la evaluación del plan.



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

LA ESTADISTICA COMO HERRAMIENTA DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

Dr. Alejandro López Toledo

NOVIEMBRE, 1981

La gente dedicada a la estadística sugiere modelos probabilísticos de la realidad e investiga su validez. Al hacerlo intenta obtener un mayor conocimiento del comportamiento de los sistemas físicos y facilitar mejores predicciones y decisiones con respecto a estos sistemas. Uno de los principales puntos de interés de la estadística es la inferencia estadística, obtener conclusiones a partir de datos.

Las discusiones que se presentan a continuación son breves, basadas en ejemplos sencillos, en alguna forma incompletos y siempre a un nivel introductorio. Nuestros principales objetivos son:

- 1) Introducir algunos de los métodos y puntos fundamentales de la estadística
- 2) Indicar la naturaleza de la transición que se requiere conforme uno se mueve de la teoría de la probabilidad y sus aplicaciones al razonamiento estadístico

Empezaremos con unos pocos comentarios sobre la relación entre estadística y teoría de probabilidad. Después de identificar algunos de los principales puntos de interés en las investigaciones estadísticas consideraremos los métodos comunes para el estudio de estos puntos. Estos métodos generalmente representan el punto de vista de la estadística clásica. Las secciones de conclusión sirven como una pequeña introducción hacia el campo en desarrollo de la estadística Bayesiana o estadística moderna.

LA ESTADÍSTICA ES DIFERENTE

La teoría de probabilidad es axiomática. Problemas de probabilidad totalmente definidos tienen una solución única y precisa. Los problemas que conoceremos que

son totalmente abstractos aunque algunos de ellos se basan en modelos probabilísticos de la realidad.

El campo de la estadística es diferente. La estadística le interesa la relación de tales modelos con el sistema físico real. Los métodos empleados por la gente dedicada a la estadística son modos arbitrarios de ser razonable en la aplicación de la teoría de la probabilidad a situaciones físicas. Sus principales herramientas son la teoría de probabilidad, una sofisticación matemática y el sentido común.

Utilizando un ejemplo extremo, simplemente no hay un modo único o mejor o correcto de extrapolar el producto nacional bruto para dentro de 5 años basado en los datos de la lluvia de los últimos 3 días. De hecho no hay mejor manera de predecir la lluvia del cuarto día. Pero hay muchas maneras de tratar.

MODELOS ESTADÍSTICOS Y ALGUNOS PUNTOS RELACIONADOS

Lo que nos interesa ahora, son los modelos de la realidad y la realidad en sí misma. Es importante que recordemos la diferencia entre un modelo estadístico y sus implicaciones y la situación física actual que está siendo modelada.

En el mundo real podemos diseñar y realizar experimentos. Podemos observar ciertas características de interés de los resultados experimentados. Si estamos estudiando el comportamiento de una moneda de origen dudoso, una característica de interés puede ser el número de águilas observadas en un cierto número de volados. Si estamos probando una vacuna, una característica de interés podría ser los rangos de inmunidad observados en un grupo de control y en un grupo vacunado.

¿Cuál es la naturaleza de un modelo estadístico? Basado en el conocimiento que se tenga del mecanismo o de los mecanismos físicos involucrados y de experiencias anteriores la gente que aplica la estadística postula un modelo probabilístico

* Tomado de A. Drake, "Fundamentals of Applied Probability Theory", McGraw 1967, P. Winkler y J. Hava "Qualitative", IIFW 1975. Para el Curso Fundamentos y Aplicaciones de la Ingeniería de Sistemas, Div. Educación Continúa, Fac. Ing. UNAN, por A. López Toledo e Ing. Ignacio González Reyna.

para el sistema que está estudiando. El supone o anticipa que este modelo exhibirá o mostrará un comportamiento probabilístico en las características que le interesan, similar a aquel del sistema físico. Los detalles del modelo pueden o no estar relacionados con la naturaleza real del sistema físico.

Si el investigador está interesado en la moneda de origen dudoso puede sugerir un modelo que es un proceso de Bernoulli con una probabilidad P para el águila en cualquier volado. Para el estudio de las vacunas puede sugerir un modelo que asigne una probabilidad de inmunidad P_1 a cada miembro del grupo de control y asigne una probabilidad P_2 a cada miembro del grupo vacunado.

Veremos ahora algunas de las preguntas que el investigador hace acerca de sus modelos y también veremos como emplea datos experimentales para tratar de contestar estas preguntas.

1. Basado en datos experimentales, un cierto modelo parece razonable o al menos no es particularmente irracional. Esto es del dominio de las pruebas de significancia. En una prueba de significancia, el investigador especula sobre la posibilidad de que datos similares a los observados en la realidad sean generados por experimentos hipotéticos con el modelo.
2. Basados en datos experimentales, cómo expresamos una preferencia sobre varios modelos postulados. Estos modelos pueden ser similares, difiriendo únicamente en los valores de sus parámetros. Cuando uno se enfrenta con la selección entre varios modelos hipotéticos se encuentra uno en una situación de pruebas de hipótesis. Las pruebas de hipótesis y las pruebas de significancia como veremos, están relacionadas íntimamente.
3. Dada la forma de un modelo postulado de un sistema físico y algunos datos experimentales, cómo podemos utilizar los datos para establecer los valores más deseables de los parámetros del modelo. Esta pregunta surgirá por ejemplo si consideramos el modelo de Bernoulli para los volados de la

moneda sospechosa y deseamos ajustar el parámetro P para hacer el modelo lo más compatible posible que se pueda con los datos experimentales. Este es el dominio de la estimación.

4. Los problemas que investigan la relación entre dos o más variables y utilizan tal relación para hacer predicciones, son llamados problemas de correlación y regresión.
5. Nosotros podemos tener dudas sobre los parámetros apropiados para nuestro modelo. Sin embargo, basados en experiencias previas con sistemas físicos y de otra información disponible, podemos tener convicciones acerca de valores razonables para estos parámetros los cuales son para nosotros variables aleatorias. El campo del análisis Bayesiano desarrolla una metodología eficiente para combinar tal conocimiento a priori con datos experimentales. El análisis bayesiano es particularmente útil para investigaciones que resultan en decisiones entre varios posibles cursos de acción futura.

ESTADÍSTICA: VALORES DE LA MUESTRA Y VALORES EXPERIMENTALES

La frase valores experimentales siempre se aplica a lo que ahora conocemos como el resultado de un experimento hipotético con un modelo de un sistema físico. Dado que es importante que podamos distinguir entre las consecuencias de un modelo y las consecuencias de la realidad estableceremos dos definiciones.

Valor Experimental: se refiere al valor actual que debe por supuesto ser obtenido por el desarrollo de experimentos (reales) con el sistema físico.

Valor de la Muestra: se refiere al resultado del desarrollo de experimentos (hipotéticos) con el modelo del sistema físico.

Estas definiciones en particular no son universales en la literatura, pero sin embargo nos proveen con un lenguaje sencillo y explícito.

PRUEBAS DE SIGNIFICANCIA

Supongamos que como resultado de los esfuerzos preliminares en modelación, hemos propuesto un modelo de un sistema físico y podemos determinar la función de densidad de probabilidad (FDP) para el valor de la muestra de q , la estadística que hemos seleccionado. En pruebas de significancia trabajamos en el espacio de eventos para la estadística q utilizando esta FDP que también será válida para los valores experimentales de q si nuestro modelo es correcto. Deseamos evaluar la hipótesis de que nuestro modelo es correcto.

En el espacio de eventos para q definimos un evento W , conocido como el evento improbable. Podemos seleccionar para nuestro evento improbable cualquier evento en particular de probabilidad α , donde α es conocida como el nivel de significancia de la prueba. Después de que el evento W ha sido seleccionado obtenemos un valor experimental de la estadística q . Dependiendo si el valor experimental de q cae o no dentro del evento improbable W llegamos a una de las dos conclusiones como resultado de la prueba de significancia, las conclusiones son:

1. Rechazo de la hipótesis. El valor experimental q cayó dentro del evento improbable W . Si nuestro modelo hipotetizado fuera correcto, nuestro valor experimental observado de la estadística hubiera sido un resultado improbable. Dado que de hecho nosotros obtuvimos ese valor experimental creemos que es muy improbable que nuestra hipótesis sea correcta.
2. Acepta la hipótesis. El valor experimental de q cayó en W' . Si nuestra hipótesis fue verdadera el valor experimental observado de la estadística no sería un evento improbable. Como de hecho nosotros obtuvimos ese valor experimental, la prueba de significancia no nos ha dado ninguna razón para ~~aceptar de la hipótesis.~~

HIPOTESIS PARAMETRICA Y NO PARAMETRICA

Si nosotros suponemos una forma dada de un modelo y su prueba de hipótesis que especifica valores para los parámetros del modelo, decimos que estamos probando una hipótesis paramétrica.

Las hipótesis no paramétricas son de una naturaleza mucho más amplia, frecuentemente en relación a la forma general de un modelo o a la forma de la FDP resultante para la característica de interés. Algunas típicas hipótesis no paramétricas son:

- La característica x está normalmente distribuida
- Las variables x y y tienen FDP marginales idénticas
- Las variables x y y aleatorias tienen valores esperados diferentes
- La varianza de la variable aleatoria x es mayor que la varianza de la variable aleatoria y .

En principio las pruebas de significancia para hipótesis paramétricas o no paramétricas siguen el mismo procedimiento. En la práctica la determinación de la estadística útil para las pruebas no paramétricas es frecuentemente muy difícil. Sin embargo hay métodos no paramétricos que tienen un gran valor práctico que nos ayudan a hacer estas pruebas no paramétricas.

PRUEBAS DE HIPOTESIS

El término pruebas de significancia normalmente se refiere a la evaluación de una hipótesis H_0 en la ausencia de cualquier información útil acerca de hipótesis alternativas. Una evaluación H_0 en una situación donde hay hipótesis alternativas H_1, H_2, \dots , se conoce como prueba de hipótesis.

Para desarrollar una prueba de hipótesis seleccionamos una de las hipótesis H_0 (llamada la hipótesis nula), y la sometemos a una prueba de significancia basada en alguna estadística q . Si el valor experimental de la estadística q cae en la zona crítica (o de rechazo) W entonces "rechazamos" H_0 y "aceptamos" H_1 . En cualquier otro caso aceptaremos H_0 y rechazaremos H_1 .

$$\text{Prob} (q \text{ en } W | H_0) = \text{Prob} (q \text{ en } W | Q = Q_0) = \alpha$$

ESTIMACION

Supongamos que hemos desarrollado la forma de un modelo de proceso físico, y que deseamos determinar los valores más deseables para algunos parámetros de este modelo. La teoría general de utilizar datos experimentales para estimar tales parámetros se conoce como *teoría de estimación*.

Cuando nosotros realizamos una prueba de hipótesis que tiene un conjunto apreciable de alternativas, la validez de las varias formas sugeridas de modelo puede estar en la discusión. Para nuestra discusión de estimación tomaremos el punto de vista que la forma general de nuestro modelo no se debe cuestionar. Únicamente deseamos aquí estimar algunos parámetros del proceso dado que la forma del modelo está correcta. Como al fijar la forma del modelo es equivalente a fijar la forma de la FDP para la característica x del proceso, determinar los parámetros del modelo es similar a ajustar los parámetros de la FDP que mejor se acomoda a los valores experimentales.

Sea $Q_n(x_1, x_2, \dots, x_n)$ la estadística cuyos valores de muestra son una función del tamaño de la muestra n y cuyos valores experimentales son una función de n valores independientes experimentales de la variable aleatoria x . Sea Q el parámetro de nuestro modelo o su FDP resultante de la variable aleatoria x . Nosotros estaremos interesados en esas estadísticas Q_n cuyos valores experimentales sean buenos estimadores del parámetro Q . Tales estadísticas son conocidas como estimadores.

Un estimador útil sería el promedio de n valores experimentales de x , dado por:

$$Q_n = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \bar{x}_n$$

para estimar el parámetro $E(x)$.

Los estimadores deben tener ciertas propiedades deseables como son:

- consistencia
 - insesgados
 - eficiencia relativa
 - suficientes
- y deben acompañarse por intervalos de confianza.

Hay varias formas de obtener los estimadores de Q siendo el más utilizado el método de máxima verosimilitud.

CORRELACION Y REGRESION

Los problemas de correlación y regresión generan varias preguntas, como las siguientes:

1. La relación estadística que proporciona alguna predictibilidad aparentemente existe entre las variables aleatorias de interés.
2. Qué tan fuerte es el grado de relación estadística, en el sentido de la posible habilidad para predecir, que proporciona la relación.
3. Puede formularse una simple regla para predecir una variable a partir de otra u otras variables, y si es así, qué tan buena es esta regla.

La respuesta a las primeras dos preguntas se puede obtener investigando los problemas de correlación y la respuesta a la tercera a través de problemas de regresión.

CORRELACION

La covarianza y el coeficiente de correlación, son dos medidas que incluyen la relación entre dos variables aleatorias. El signo de la covarianza nos da alguna idea con respecto a la dirección de tal relación x y y . Por ejemplo si la covarianza es positiva entonces altos valores de x tienden a estar asociados con altos valores de y , y bajos valores de x con bajos valores de y . Si la covarianza es negativa, entonces altos valores de x tienden a estar asociados con bajos valores de y , y viceversa.

Dado que la covarianza es afectada por la variabilidad de x y y tomadas individualmente, nos dice muy poco sobre la fuerza de la relación entre las dos variables. Una mejor medida es el coeficiente de correlación.

$$\rho_{xy} = \frac{\text{Cov}(x, y)}{s_x s_y}$$

El coeficiente de correlación es una de las medidas de la relación entre dos variables aleatorias más utilizadas.

Más específicamente ρ_{xy} es una medida de la relación lineal entre las dos variables X y Y .

Frecuentemente el coeficiente de correlación no se conoce, pero una muestra de la población bivariada o del proceso de interés está disponible. Y así como la media de la muestra puede utilizarse para estimar la media de la población, el coeficiente de correlación de la muestra puede utilizarse para estimar ρ_{xy} .

El coeficiente de correlación de la muestra (llamado el coeficiente de correlación producto-momento de Pearson) se define de la siguiente manera:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - m_x)(y_i - m_y)}{n s_x s_y}$$

donde los n pares de valores (x_i, y_i) , representan una muestra de tamaño n de la población bivariada y m_x, m_y, s_x, s_y , representan las medias de la muestra y las desviaciones estándar de la muestra de las dos variables.

INFERENCIA EN PROBLEMAS DE CORRELACION

Si nosotros suponemos que la población de interés es de la forma normal bivariada, entonces la relación entre X y Y es estrictamente lineal y puede resumirse con el parámetro ρ_{xy} . Claro, el coeficiente de correlación de la muestra r_{xy} puede utilizarse para estimar ρ_{xy} . Sin embargo, aunque es un estimador suficiente y consistente de ρ_{xy} , el coeficiente de correlación de la muestra es un poco sesgado. Sin embargo, este sesgo es tan pequeño que para fines prácticos, por lo general se ignora.

PROBLEMA (ejemplo)

Considérese la relación entre la altura de la esposa y la del esposo. Si suponemos que la distribución conjunta de las alturas de los matrimonios puede razonablemente aproximarse a una distribución normal bivariada, entonces la relación de interés puede resumirse por el coeficiente de correlación. Para investigar esta relación una muestra de 15 matrimonios se seleccionó aleatoriamente y los datos resultantes se muestran en la Tabla 10.4.1 y en la Fig. 10.4.1. (ver sección de presentación en la conferencia).

El coeficiente de correlación de la muestra calculado, resultó ser $r_{xy} = 0.89$

Aparentemente hay una relación lineal muy fuerte entre la altura de las esposas y los esposos. Utilizando las pruebas de independencia obtendríamos los intervalos de confianza para tal aseveración.

Debemos tener cuidado al interpretar los resultados de este ejemplo. Aunque la correlación encontrada es apreciable, no tiene sentido pensar que la altura de las esposas causa la altura de los esposos o que la del esposo causa la de la esposa. Estas son simplemente dos medidas numéricas que ocurren juntas en una forma más o menos lineal, de acuerdo con la evidencia de esta muestra. La razón del porque de esta relación lineal existe está completamente fuera del campo de la estadística y el coeficiente de correlación y las pruebas que se han hecho no dan ninguna luz sobre el problema. En este ejemplo es perfectamente obvio que las personales diferencias y los estándares corrientes de la sociedad causan que ocurra alguna selección en el proceso de los matrimonios.

Es de lo más importante, en problemas de correlación, distinguir entre correlación y causa. Una correlación alta en un conjunto particular de datos no necesariamente implica una relación causal entre las variables.

LA CURVA DE REGRESIÓN

En los problemas de correlación, estábamos interesados en medir la fuerza de la relación estadística entre dos variables X y Y . En los problemas de regresión lo que nos interesa es predecir el valor de una de las variables aleatorias dado el valor de la otra variable. Por ejemplo, supongamos que queremos predecir las ventas de un producto dado el precio del producto. En este caso, decimos que el precio es la variable independiente y que la otra variable ventas, es dependiente del precio. Supongamos que X representa el precio y Y las ventas. ¿Cómo podemos predecir Y , si nosotros conocemos la

distribución marginal de Y , podemos utilizar la media de la distribución $E\{Y\}$. Sin embargo, ésta ignora la información concerniente a X . Como x , el valor de X es conocido, la distribución de interés es la distribución condicional de Y , dado que $X = x$. Esta distribución se representa por $P\{Y|X = x\}$ en el caso discreto, y por $f(y|x)$ en el caso continuo. Un estimador intuitivo razonable de Y es la media de la distribución condicional de Y dado que $X = x$.

La media condicional, $E\{Y|X = x\}$, puede variar para diferentes valores de x ; en otras palabras, es una función de x , y esta función se llama la curva de regresión de Y sobre X .

ANÁLISIS BAYESIANO

Un bayesiano cree que cualquier cantidad cuyo valor no conoce es una variable aleatoria. Cree que es posible en cualquier momento expresar el estado del conocimiento acerca de una variable aleatoria en la forma de una FDP. Conforme evidencia experimental adicional se disponga, el teorema de Bayes se utiliza para combinar esta evidencia con las FDP's anteriores para obtener una FDP posterior, representando el estado de conocimiento actualizado. La FDP que expresa el estado de conocimiento del analista sirve como la base cuantitativa para cualquier decisión que requiera hacer.

ALGUNOS COMENTARIOS SOBRE ANÁLISIS BAYESIANO Y ESTADÍSTICA CLÁSICA

Hay gran cantidad de literatura tanto matemática como filosófica que trata de la relación entre la estadística clásica y el análisis bayesiano. Para indicar algunas de las consideraciones en una manera relativamente breve, algunas generalizaciones imprevistas, necesariamente aparecen en la siguiente discusión.

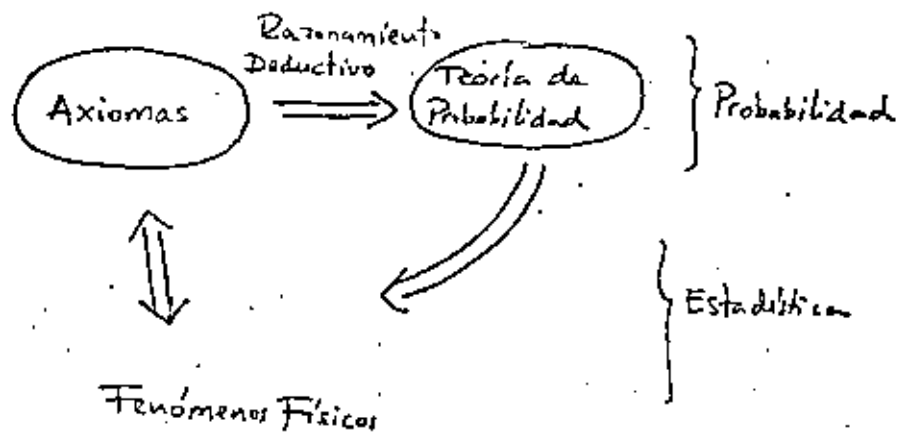
El enfoque bayesiano representa una salida significativa de las técnicas clásicas más conservadoras del análisis estadístico. Las técnicas clásicas son frecuentemente particularmente apropiadas para investigaciones científicas puras y para asuntos que involucren muestras muy grandes. Los procedimientos clásicos intentan requerir al menos varias suposiciones posibles por parte del analista. El análisis bayesiano involucra una estructura más específica de suposiciones y frecuentemente se describe como orientado a la decisión. Algunas de las aplicaciones más productivas del enfoque bayesiano se encuentran en situaciones donde convicciones a priori y cantidades relativamente pequeñas de experimentación deben combinarse en una manera racional para tomar decisiones entre cursos de acción alternativos futuros.

PRESENTACION EN CONFERENCIA

LA ESTADISTICA COMO HERRAMIENTA EN LA INGENIERIA DE SISTEMAS

- ¿Para qué la estadística?
- Estadística diferente a probabilidad
- Modelos Estadísticos
- Estadísticas
- Pruebas de Significancia
- Pruebas de Hipótesis
- Regresión y Correlación
- Estimación
- Análisis Bayesiano

AVUNDO CONCEPTUAL VS. MUNDO REAL



MODELOS ESTADÍSTICOS

- Se postula un modelo probabilístico
- Se espera que ciertas características de interés observen un comportamiento probabilístico similar al del fenómeno físico

- Modelos
 - Pruebas de Significancia
 - Pruebas de Hipótesis
 - Estimación
 - Regresión y Correlación
 - Análisis Bayesiano

HERRAMIENTAS DE LA ESTADÍSTICA

- Teoría de Probabilidad
- Matemáticas
- Sentido Común

ESTADÍSTICAS

x_i = característica de interés a observar en el i -ésimo experimento hipotético

x_1, \dots, x_n muestra de tamaño n
(n variables aleatorias)

$Z = f(x_1, \dots, x_n)$ es una estadística

Muchas preguntas se responden con base a:

- postular un modelo
- seleccionar una estadística Z cuya fun. de probabilidad pueda obtenerse
- Observar el valor experimental de Z y comentar sobre la posibilidad de que un valor similar podría venir del modelo.

ESTADÍSTICAS POPULARES

Media de la muestra

$$M_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad E(M_n) = E(X)$$

$$\sigma_{M_n}^2 = \frac{\sigma_x^2}{n}$$

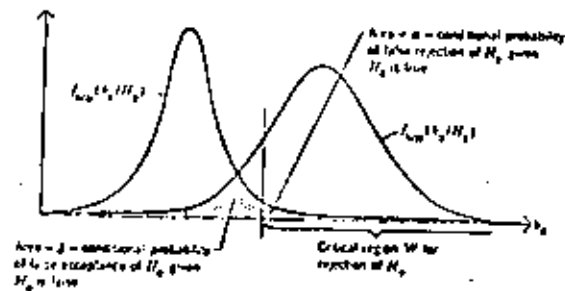
Variancia de la Muestra

$$S_n^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - M_n)^2$$

$$E(S_n^2) = \frac{n-1}{n} \sigma_x^2$$

PRUEBAS DE HIPÓTESIS

- Pruebas de significancia con hipótesis alternativa



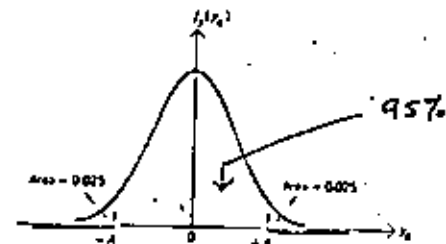
H_0 : Hipótesis nula

H_1 : Alternativa

¿Acepta o rechaza H_0 ?

PRUEBAS DE SIGNIFICANCIA

- Se desea evaluar si el modelo es correcto a través de Z



and A is determined by

$$\text{Prob}(z \geq A) = 0.025 = 1 - \Phi\left(\frac{A - 0}{\sqrt{10}}\right)$$

$$\Phi\left(\frac{A}{\sqrt{10}}\right) = 0.975 \quad A \approx 2.3$$

- Si la observación cae en un evento poco probable para el modelo, nuestro modelo no es probablemente el adecuado.

ESTIMACION

- Se desea determinar los valores más adecuados para ciertos parámetros de un modelo

Estimador: una estadística $Z_n(x_1, \dots, x_n)$
de $f(x_0, \theta) = f(x_0, \theta)$
parámetro

interesa Z_n cuyos valores sean buenos estimados de θ

Ejemplo:

$$1. Z_n = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \bar{X}_n$$

- es un estimador de $E(X)$
- la realización de una serie de observaciones es un estimado de $E(X)$

$$2. Z_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X}_n)^2 = S_n^2$$

PROPIEDADES DESEABLES DE ESTIMADORES

- Consistencia

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \text{Prob} (|Z_n - \theta| > \epsilon) = 0, \quad \epsilon > 0$$

- Insesgado

$$\lim_{n \rightarrow \infty} E(Z_n) = \theta \quad \text{asintóticamente insesgado}$$

o

$$E(Z_n) = \theta \quad \text{insesgado}$$

- Eficiente

de mínima varianza

- Suficiente

contiene toda la información de la muestra

CORRELACION

- Relación estadística que proporciona alguna predictibilidad aparentemente existe entre variables aleatorias de interés
- Que tan fuerte es el grado de relación estadística, -para poder predecir que proporciona la relación-

REGRESION

- Formular una regla para predecir una variable a partir de otra u otras, y decir que tan buena es la regla

COVARIANZA Y COEFICIENTE DE CORRELACION

$$\text{Cov}(x, y) = E[(x - \mu_x)(y - \mu_y)] = E(xy) - E(x)E(y)$$

$$\rho_{xy} = \frac{\text{Cov}(x, y)}{\sigma_x \sigma_y}$$

es una medida de la relación lineal entre x y y

- Si no se conoce, se estima por el coeficiente de correlación de la muestra

$$\rho_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{nS_x nS_y}$$

$x_1 \dots x_n$

$y_1 \dots y_n$

INFERENCIAS EN PROBLEMAS DE CORRELACION

$$H_0: \rho_{xy} = 0$$

$$H_1: \rho_{xy} \neq 0$$

Si H_0 , para n pequeña,

$$t = \frac{r_{xy} \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{xy}^2}}$$

es t de Student con $n-2$ grados de libertad

Para cualquier ρ_{xy} y n suficientemente (moderadamente) grande,

$$w = \frac{1}{2} \log_e \frac{1+r_{xy}}{1-r_{xy}}$$

es aproximadamente normal

- Se puede entonces probar $H_0: \rho_{xy} = k$
- Se pueden encontrar intervalos de confianza para ρ_{xy}

10.4 REGRESSION AND CORRELATION

10.1 AN EXAMPLE OF A CORRELATION PROBLEM

Table 10.1.1 Heights of Wives and Husbands for 15 Couples

Couple	x (H's height)	y (Wife's height)
1	70	73
2	67	72
3	70	75
4	71	76
5	67	70
6	64	68
7	71	72
8	65	67
9	65	67
10	64	65
11	65	68
12	66	71
13	68	68
14	65	71
15	61	67

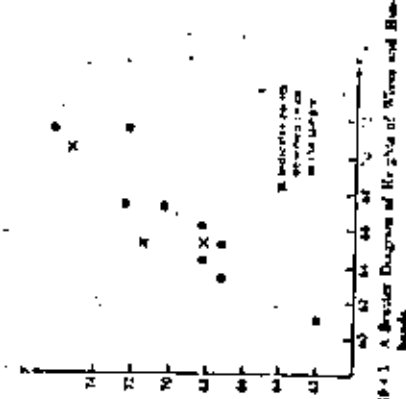


Figure 10.1.1 A Scatter Diagram of He-20s of Wives and Husbands

Ejemplo

10.1 AN EXAMPLE OF A CORRELATION PROBLEM

The scatter diagram (Figure 10.1.1) indicates that there is some degree of linear association between the two variables in this example. The sample correlation coefficient computed from Equation (10.1.7) turns out to be

$$r_{xy} = \frac{(15)(182) - (91)(70)}{\sqrt{(15)(15) - (91)^2} \sqrt{(15)(135) - (67)^2}}$$

$$= \frac{2100}{\sqrt{(15)(15) - (91)^2} \sqrt{(15)(135) - (67)^2}} = .69$$

It appears, then, that there is a strong linear relationship between the heights of wives and husbands. Using the test of independence given by Equation (10.1.1), we get

$$t = \frac{(0.69) \sqrt{15-2}}{\sqrt{1-(0.69)^2}} = \frac{1.009}{.732} = 1.38$$

From the table of the T distribution, we see that the p -value for a two-tailed test is much less than .01 in this case. Moreover, from Equation (10.3.6), limits for a 95 percent confidence interval are

$$1.429 \pm 1.06 \sqrt{.05}$$

$$1.429 \text{ and } 1.018,$$

in terms of r_{xy} . (The w value corresponding to $r_{xy} = .69$ is 1.429.) Transforming back to correlation values, a 95 percent confidence interval for ρ_{xy} is approximately (.617, .924).

We must be careful in interpreting the results of this example. Even though the correlation found is sizable, it makes no sense at all to think of the height of the wife as "causing" the height of the husband, or that of the husband causing that of the wife. There are simply two concurrent measurements that happen to occur together in a more or less linear way, according to the evidence of this sample. The reason why this linear relationship is completely out of the realm of statistics and the correlation coefficient and test shed absolutely no light on this problem. In this example, it is perfectly obvious that personal preferences and current standards of beauty cause some selection to occur in the process of mating, and these factors in turn underlie our observations that (x, y) pairs occur in a particular kind of relationship. As a description of a population situation, our inferences may very well be valid, but this fact alone gives us no license to talk about the cause of the apparent linear relationship. It is most important to emphasize, however, that the relationship between the two variables is a causal relationship in a particular set of data, and not necessarily simply a causal relationship between variables.

REGRESION

En correlación se investiga la fuerza de la relación estadística entre x y y .

En regresión se desea predecir una variable dado un valor de otra variable

$f_{x/y}(x/y)$ contiene toda la información

$E(x/y)$ es entonces un estimador (predicor) razonable de x dado y .

La media condicional $E(x/y = Y_0)$, función de Y_0 , es la curva de regresión de x en y .

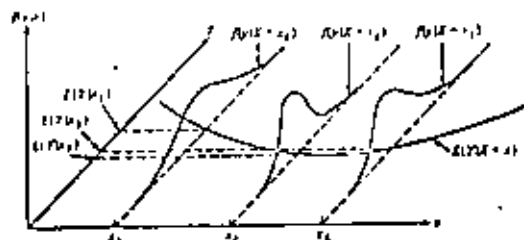


Figure 16.5.1 A Regression Curve

REGRESION LINEAL

Si x y y son bi-normales, la curva de regresión es lineal:

$$E(x|y = Y_0) = \beta_1 + \beta_2 Y_0$$

y de hecho:

$$\beta_1 = \mu_x - \rho_{xy} \frac{\sigma_x}{\sigma_y} \mu_y$$

$$\beta_2 = \rho_{xy} \frac{\sigma_x}{\sigma_y}$$

y coeficiente de determinación $\rho_{xy}^2 = \frac{\sigma_{xy}^2}{\sigma_x^2 \sigma_y^2}$

la varianza no explicada por la regresión es σ_{xy}^2

ANÁLISIS BAYESIANO

- Se cree que cualquier cantidad cuyo valor se desconoce, es una variable aleatoria
- Se puede conocer por su fcn. de probabilidad
- A medida que se posee más información, se actualiza el conocimiento de la cantidad -a través de la fcn de prob-
- Se logra esto último con el teorema de Bayes.

$$P_{Q|X}(\cdot) = \frac{P_{QX}(\cdot)}{P_X(\cdot)}$$

$$= \frac{P_{X|Q}(\cdot) P_Q(\cdot)}{\int_Q P_{X|Q}(\cdot) P_Q(\cdot) d\pi}$$



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

TEORIA DE DECISIONES

M. en I. Arturo Fuentes Zenón*

* Coordinador de la Maestría en Planeación División de
Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, UNAM.

1. PRESENTACION

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

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

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

Certeza o incertidumbre

Atributo Único o múltiples atributos

Decisor Único o múltiples decisores

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

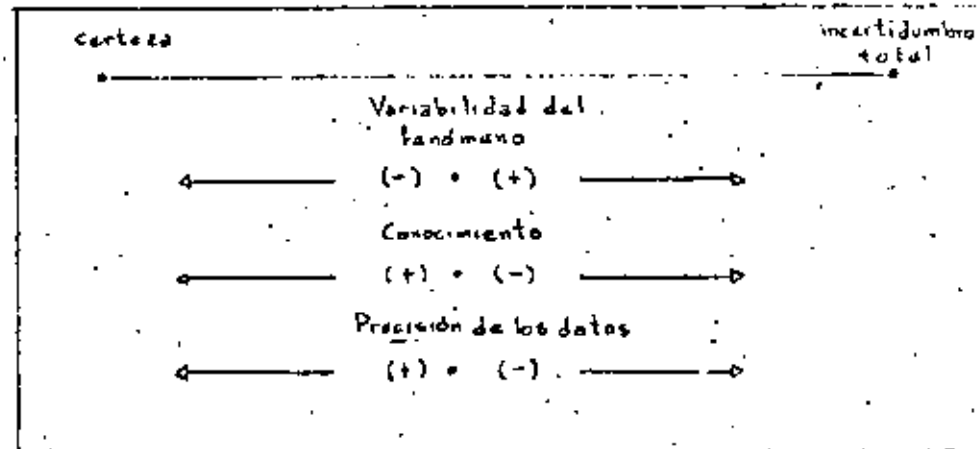
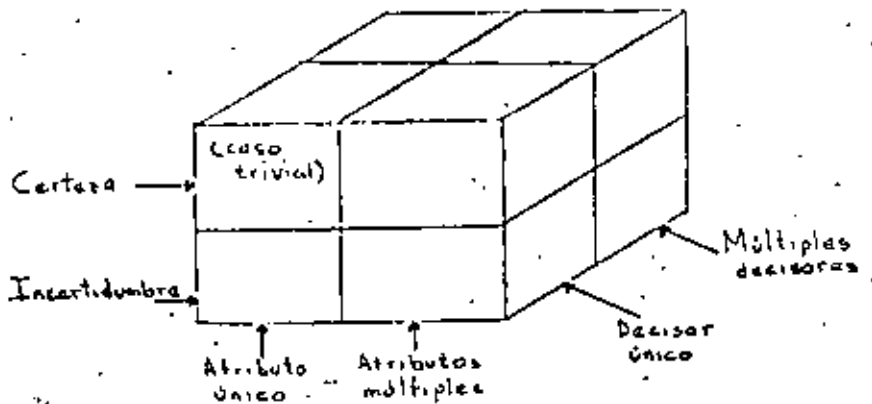
Comentaremos a continuación las tres dicotomías que se indican.

CERTEZA E INCERTIDUMBRE.

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

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

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

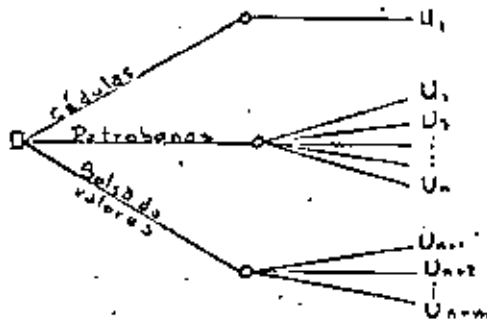


ATRIBUTO ÚNICO O ATRIBUTOS MÚLTIPLES.

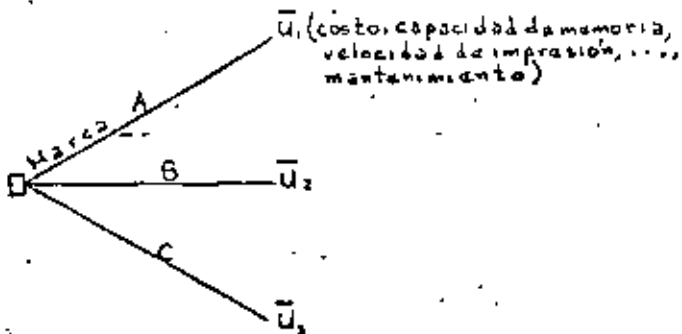
Se refiere a si es posible describir completamente las consecuencias en términos de un solo atributo (por ejemplo, utilidad o número de visitas) o por el contrario las consecuencias se establecen en términos de atributos múltiples.

Ejemplo 1.

Un problema de inversión donde el atributo será la utilidad.



Ejemplo 2. Adquirir una minicomputadora.



DECISOR ÚNICO O MÚLTIPLES DECISORES.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

FORMULACION DEL PROBLEMA DE DECISION

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

Esta descripción incluye necesariamente lo siguiente:

- Fecha de evaluación. Más allá de la cual no vale la pena tomar en consideración ningún acto o evento.

- Objetivo u objetivos

- Medidas de actuación. Es un indicador que permite medir el logro de un objetivo.

- Un diagrama de decisión

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

El árbol de decisión se construye considerando lo siguiente:

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

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

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

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

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

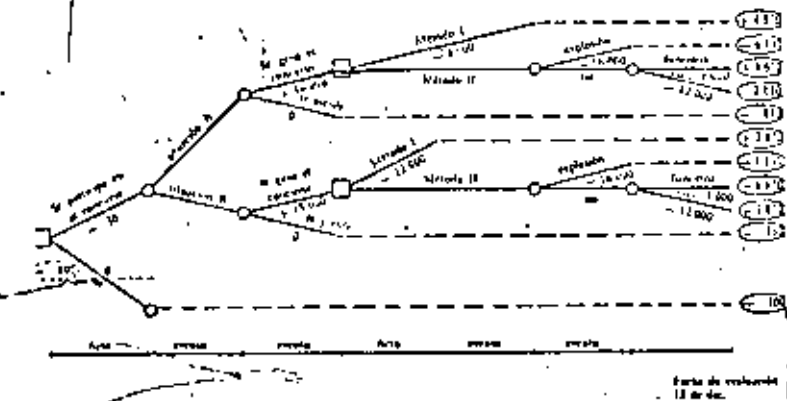
EJEMPLOS:

Problema de participación en un concurso

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

seleccionar el método de manufactura que pueda ser el I o el II. El método I tiene la seguridad que funciona y su costo es de 8 millones si se tiene la situación A y de 12 si es la B. El método II no depende de cuál sea la situación que se tenga, y si funciona bien costará 6 millones. El problema es que puede ocurrir una explosión, en cuyo caso el costo se elevará a 16 millones, aun cuando no haya explosión puede ser que no funcione, debiéndose subcontratar con un costo total de 17 millones.

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



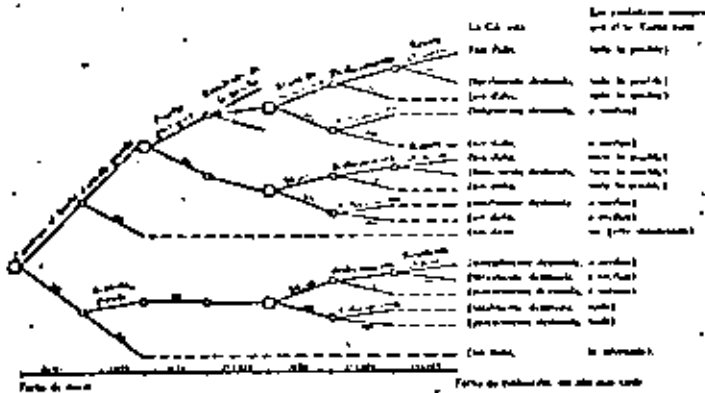
Problema de inundación y deslizamiento de tierra

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

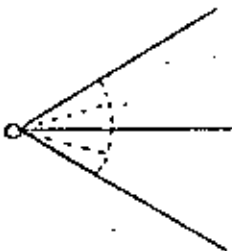
El Sr. Garza, presidente municipal de Villa H., puede mandar construir un bordo que protegerá la Cd. pero que aumentará la posibilidad de un deslizamiento si desvía el agua. Si hay inundación, él ha decidido llamar expertos para conocer su opinión. Esta opinión puede ser más acertada si se efectúa una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

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

Comprobación de la certeza



En el diagrama anterior la figura

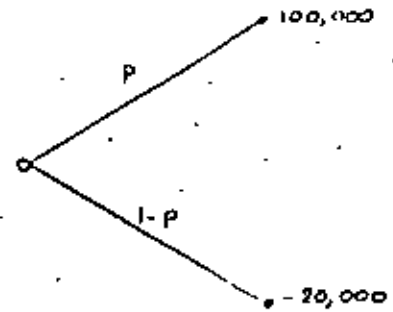


representa que son muchos los posibles resultados de la prueba geológica.

1. EQUIVALENTE BAJO CERTEZA. CURVA DE PREFERENCIAS

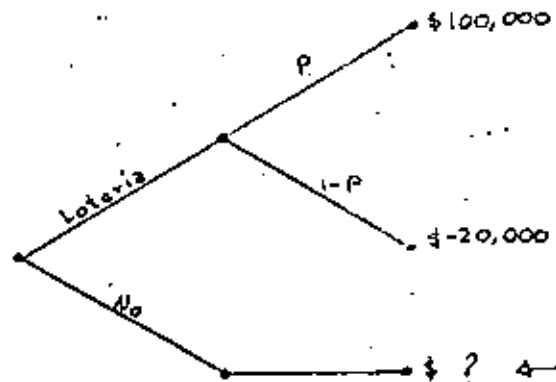
1.1 Obtención del equivalente bajo certeza (EBC).

Considere que tiene el siguiente problema.



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

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



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

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

Auxiliemos al decisor mediante el siguiente procedimiento.

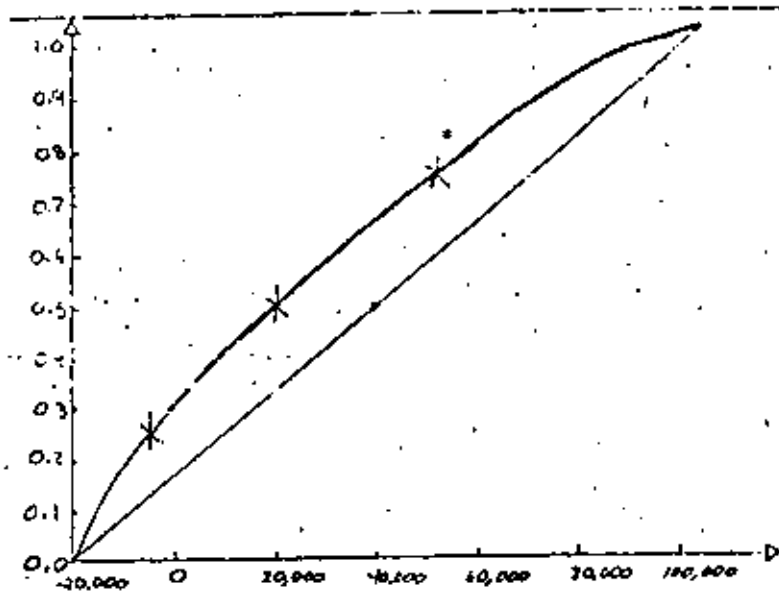
LOTERIA	Le ofrecen bajo criteria	El decisor prefiere.
	100,000	La cantidad
	80,000	La cantidad
	20,000	Le da lo mismo
	-15,000	La lotería
	-20,000	La lotería

Planteemos ahora el caso $p = 0.25$ y consideramos que se obtiene $EBC = -7,500$.

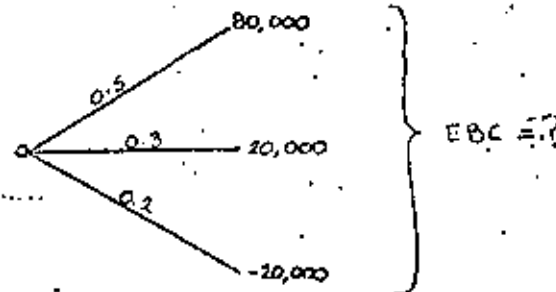
De igual manera para $p=0.75$, $EBC = 50,000$.

3.2 Curva de preferencias.

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

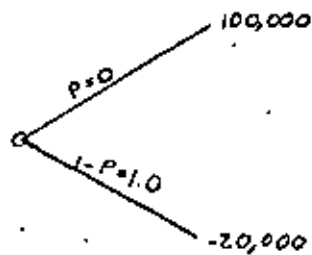


Con esta curva podemos determinar el EBC de la siguiente lotería:

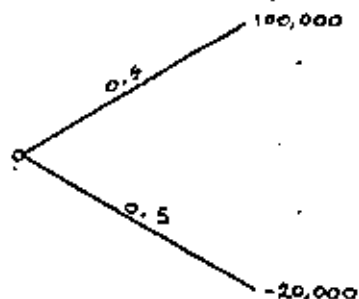


Hagámoslo de la siguiente manera:

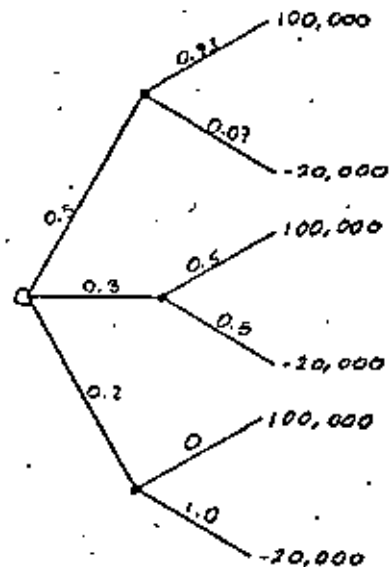
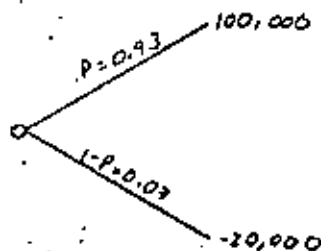
De acuerdo con nuestros datos -10,000 es el EBC de la lotería.



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



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



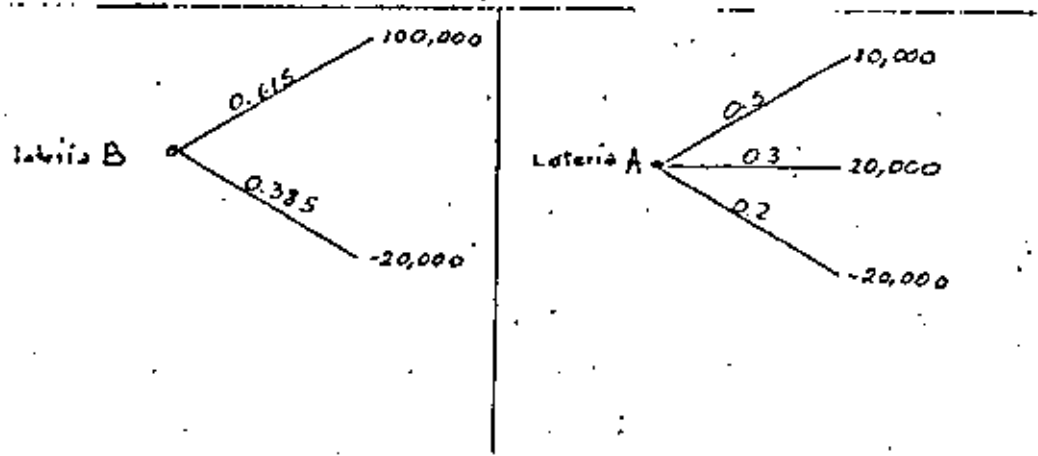
La probabilidad de que el valor terminal sea de 100,000 es

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

y la de obtener -20,000 es

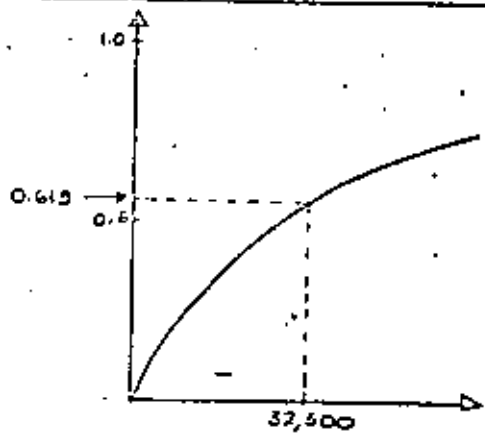
$$\begin{aligned}
 &0.50 \times 0.07 = 0.035 \\
 &+ 0.30 \times 0.50 = 0.150 \\
 &+ 0.20 \times 1.00 = \underline{0.200} \\
 &0.385
 \end{aligned}$$

de acuerdo con lo anterior



Las loterías A y B son equivalentes.

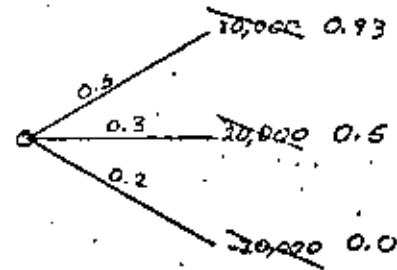
El EBC de la lotería B se obtiene de la siguiente forma:



EBC = 32,500.

Una forma más rápida es la siguiente:

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



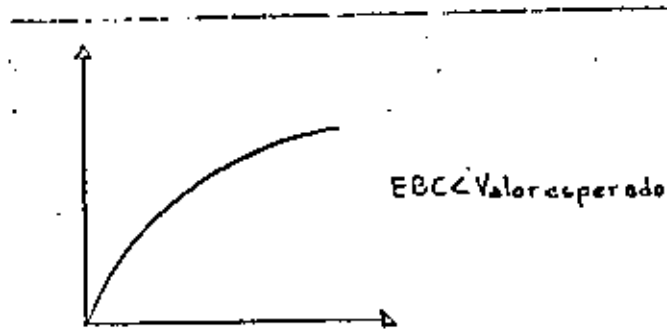
y se calcula el valor esperado correspondiente:

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

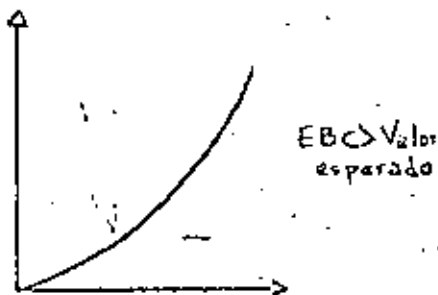
con lo cual se entra a la curva y se obtiene que EBC = 32,500

3.3 Aversión, propensión e indiferencia al riesgo

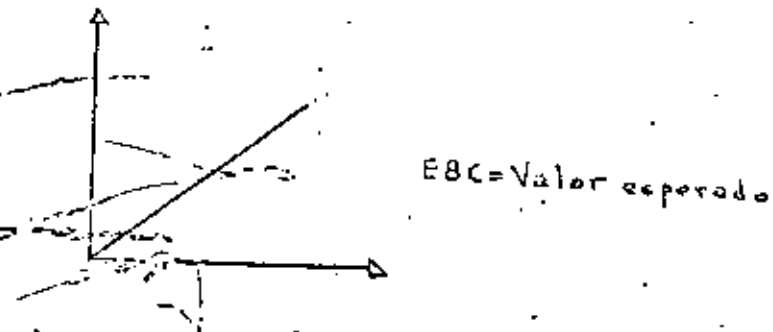
La curva del problema anterior representa a una persona que es adversa al riesgo



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



Para una persona que es indiferente al riesgo resulta



4. ANALISIS DEL PROBLEMA DE DECISION

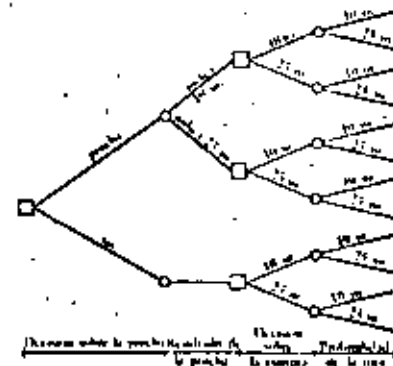
4.1 Problema con un atributo

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

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

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

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



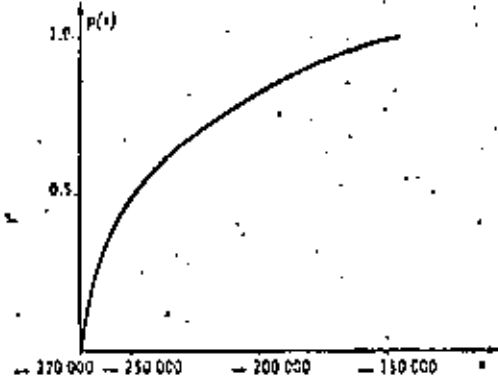
Se ha recopilado la información siguiente:

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

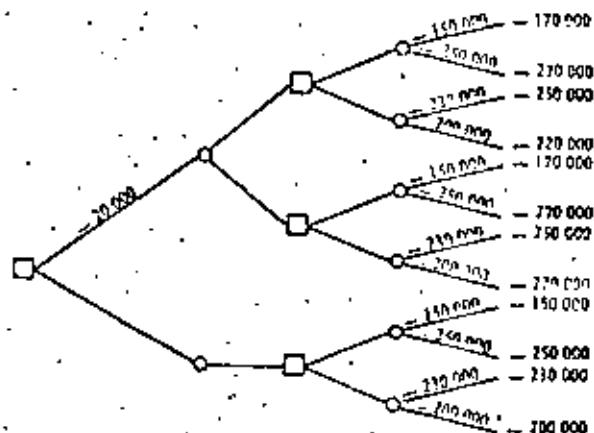
El costo de la prueba es de \$ 20 000.00 y los demás se muestran en la tabla:

	Profundidad de la roca es 25	Profundidad de la roca es 10
Se compran pilotes de 25	\$ 200 000	\$ 210 000
Se compran pilotes de 10	\$ 250 000	\$ 150 000

La función utilidad es:

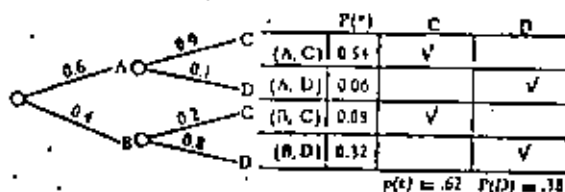


10. En el diagrama indicar los flujos parciales de dinero y evaluar los terminales.



10. Cálculo de las probabilidades para el diagrama.

Se tiene



donde

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

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

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

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

Se necesita calcular

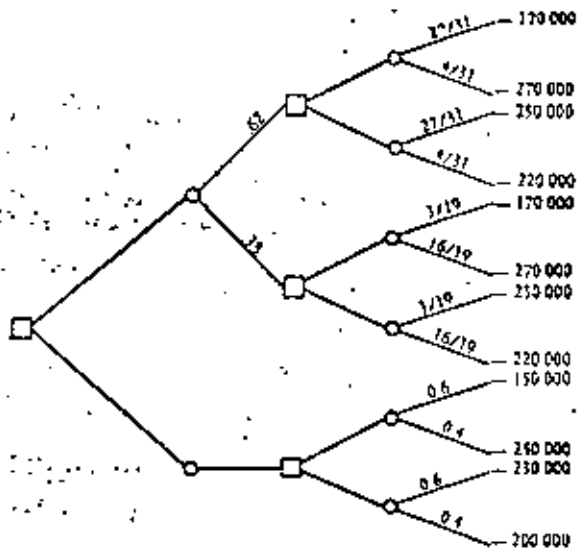
$$p(A/C) = p(A,C)/p(C) = .54/.62 = 27/31$$

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

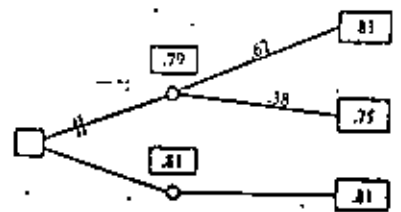
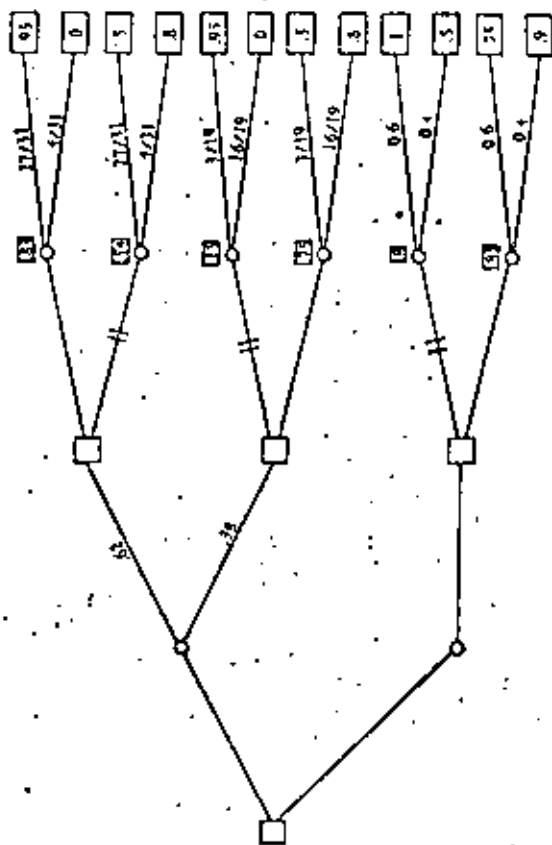
$$p(A/D) = p(A,D)/p(D) = .06/.38 = 3/19$$

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

Luego el diagrama queda:



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



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

BIBLIOGRAFIA

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

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

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

4.2 PROBLEMAS CON ATRIBUTOS MÚLTIPLES

El tiempo de que se dispone en este curso no permite el tratamiento de problemas con atributos múltiples. Considero que es en este tipo de problemas donde la teoría de decisiones tiene un mayor campo de aplicación. Ante lo anterior se recomienda a continuación una serie de libros donde se puede profundizar en el conocimiento de problemas con un atributo y aprender lo relativo a problemas con objetivos múltiples.

en los 10 años anteriores. Presenta una bibliografía de más de 200 artículos.

Drake Alvin W. Fundamentals of Applied Probability Theory.

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

Hood and Graybill. Introduction to the Theory of Statistics.

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

Kyburg and Smokler. Studies in Subjective Probability. Wiley

and Sons, 1954. Ensayos por Borel, de Finetti, Koopman, Ramsey,

Savage y Venn sobre probabilidad subjetiva.

Schlaifer Robert. Analysis of Decisions Under Uncertainty. Mc

Graw Hill, 1967. Un libro que se ha utilizado como libro de texto en

el programa de maestría en Administración de Empresas en Harvard.

Se ha utilizado también como texto en la U.S.A.M. y en la U.A.E.M.

Se recomienda ampliamente, especialmente para aquellas personas en el sector privado.

Raiffa Howard. Decision Analysis. Addison Wesley, 1968. Este

libro analiza los aspectos de controversia que existen en la toma de

decisiones. Tiene capítulos sobre implantación, decisiones de grupo

o compartido, el riesgo. También presenta una introducción a objeti-

vos múltiples.

Raiffa Howard. Decision Analysis: a Self Instructional Course.

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

Pratt, Raiffa and Schlaifer. Introduction to Statistical Decision

Theory. Mc Graw Hill, 1965. Una introducción bayesiana al análisis

de problemas con incertidumbre. El libro discute ampliamente el muestreo

normal y binomial, tanto uni como multivariado. Trata distribución

normal multivariada, muestreo estratificado, análisis de cartera

y teoría de regresión.

Fishburn Peter C. Utility Theory for Decision Making Wiley and

Sons., 1970. Este libro se recomienda para una base axiomática de

preferencias. Se hace la presentación mediante teoremas y sus demus-

traciones. En el libro se expone toda la herramienta matemática que

utiliza. Texto matemáticamente avanzado.

Keeney Ralph and Raiffa Howard. Decisions with Multiple

Objectives: Preferences and Value Tradeoffs. Wiley and Sons, 1976.

Un libro cuya lectura es necesaria para la toma de decisiones con ob-

jetivos múltiples. Presenta funciones de valor para el caso de certeza

y de utilidad para incertidumbre. Incluye aplicaciones tanto en el

sector público como en el privado; preferencias en el tiempo y de

grupos.

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

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



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

TEORIA DE INVENTARIOS

M. en I. Gustavo Rocha Beltrán*

*Coordinador de la maestría en Investigación de Operaciones: División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería.

"TEORIA DE INVENTARIOS"

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

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

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

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

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

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

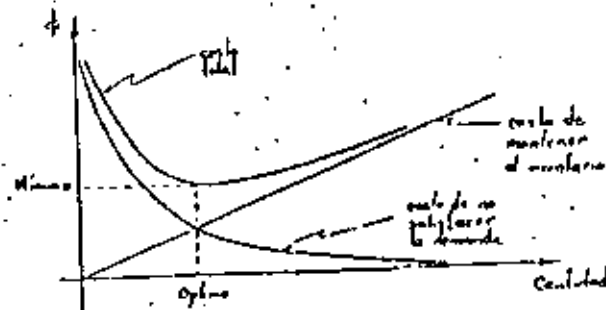
En cambio hay costos que disminuyen cuando el inventario aumenta:

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

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

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

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



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

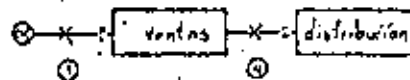
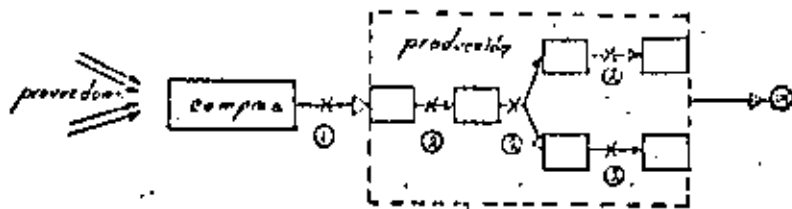
Para la empresa lo que importa es determinar el inventario óptimo de cada artículo, aquel que equilibra los intereses conflictivos de las partes.

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

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

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

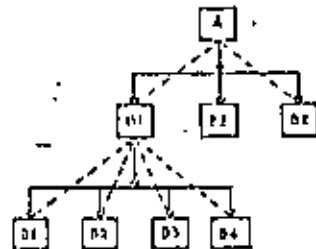
En una empresa industrial más o menos compleja se tienen sistemas de aprovisionamiento a varios niveles. Este es el llamado problema de inventario multinivel que supone la minimización del costo total a todos los niveles.



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

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

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



Sistemas de inventarios multiescalonados

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

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

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

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

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

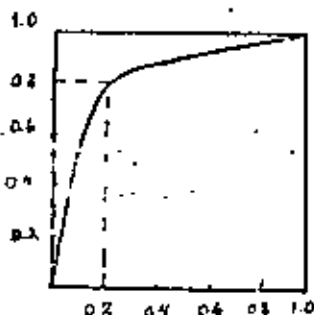
En función del tipo de demanda, los modelos de inventarios se clasifican como sigue:

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

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

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

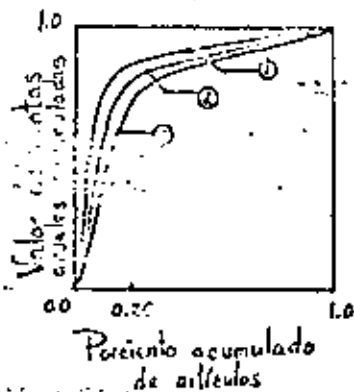
como técnica ABC, y que se fundamenta en la ley de Pareto o ley del 80-20: "el 20% de los agricultores contribuyen con el 80% de la producción agrícola"



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

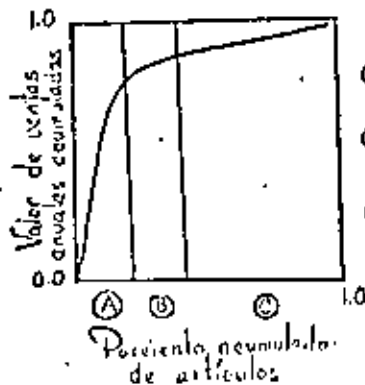
Ley de Pareto

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



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

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



- Ⓐ Modelos sofisticados
- Ⓑ Modelos simples
- Ⓒ Reglas estadísticas.

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

I 375,000.00 1.00

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

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

Supongamos para nuestro ejemplo:

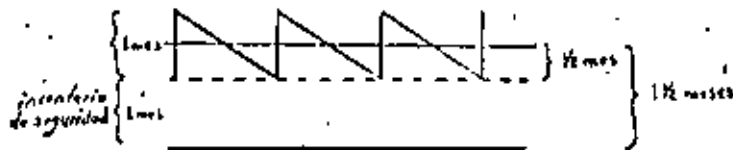
Clase	% artículos	valor de utilización (%)	periodicidad de pedidos (meses)	inventario de seguridad (meses)
A	20	87	1	1
B	20	9	1	2
C	60	4	12	18

Clase	Inventario promedio (meses)	Valor total del inventario (meses)	Inversión en inventarios (meses)
A	* 1.5	$0.07 \times 1.5 = 1.31$	0.51
B	1.5	$0.09 \times 1.5 = 0.32$	0.12
C	24	$0.04 \times 24 = 0.96$	0.37

$$I = 2.58 \quad 1.00$$

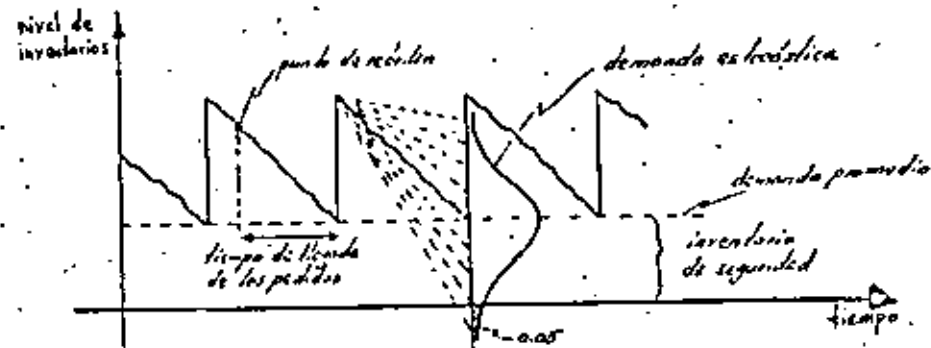
La inversión en inventarios de artículos clave C es del 37%, porcentaje nada despreciable.

El inventario promedio se obtiene como sigue:

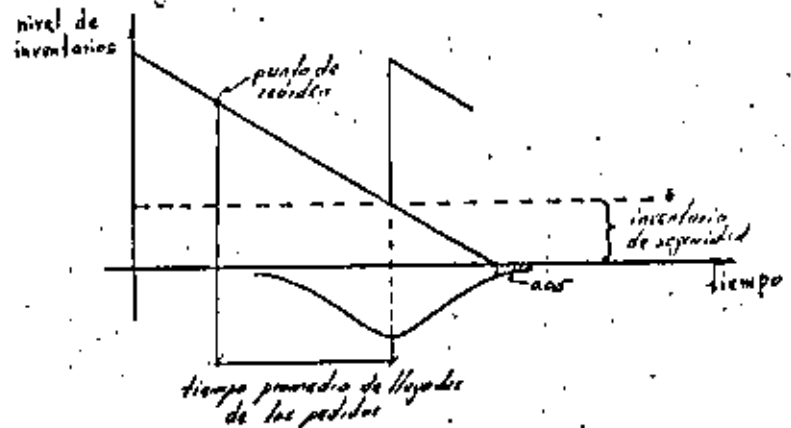


El inventario de seguridad se obtiene sumando los dos colchones de seguridad: el derivado de la demanda y el debido al tiempo de llegada de los pedidos.

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

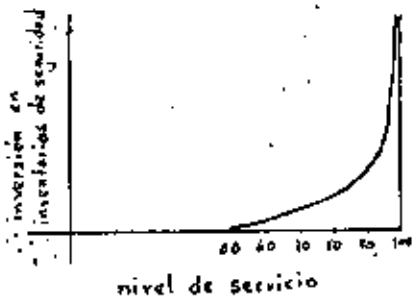


Inventario de seguridad por incertidumbre en el tiempo de entrega: Cuando el tiempo de llegada de los pedidos es estocástico, debe construirse un colchón de seguridad que tiene por objetivo absorber esta incertidumbre.



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

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

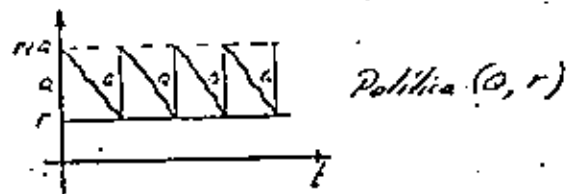


Las doctrinas de operación en inventarios son de dos tipos:

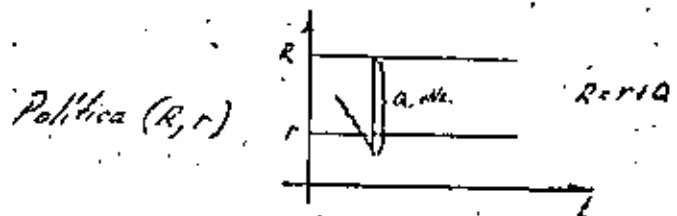
- a) Revisión continua: se registra cada pedido y cada venta, se toman decisiones en el momento, y los pedidos se colocan cuando se ha alcanzado un nivel de existencias predeterminado.
- b) Revisión periódica: cada cierto período predeterminado se revisa el nivel de existencias, resultado de las ventas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

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

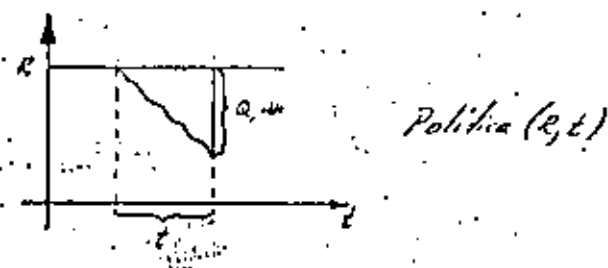
Política (Q,r): Cuando la demanda es estocástica con parámetros estacionarios, se coloca un pedido de tamaño Q, una vez que se ha alcanzado un nivel de existencias r.



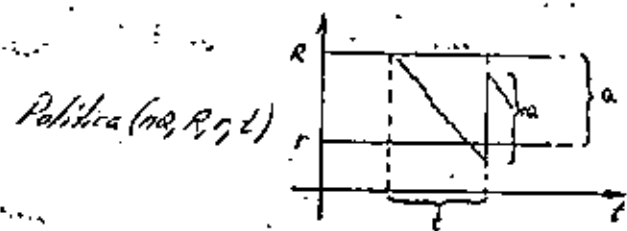
Política (R,r): Una vez que se ha alcanzado un nivel de existencias r, se coloca un pedido de tamaño variable de manera que se alcance un nivel máximo R.



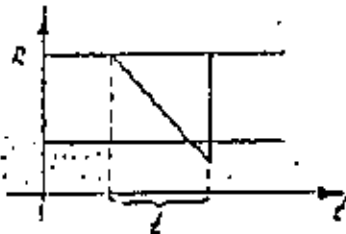
Política (s,t): Se revisa cada determinado período t, y se coloca un pedido de tamaño tal, que se alcance un nivel máximo R.



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



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



Política (R, r, t)

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

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

Suposiciones del modelo:

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

Nos interesa contestar dos preguntas:

-¿cuándo pedir? Política de reorden

-¿cuánto pedir? Cantidad de reorden (siempre la misma).

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

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

Los costos que se ajustan al modelo son:

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

(constante y no hay descuento por cantidad)

A = Costo de ordenar (\$/orden)

(fijo, independiente de la cantidad ordenada)

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

(donde I es la tasa de inventarios, actualmente

del 30%, lo que significa que la corporación es

taría dispuesta a gastar \$1.50 extra en opera-

ción para eliminar \$5.00 de inversión en inven-

tarios)

Las variables que intervienen en el modelo son:

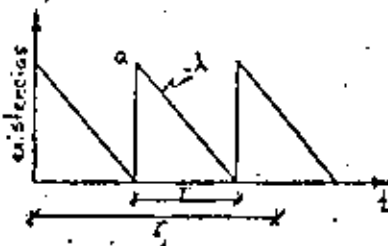
T = tiempo del ciclo del inventario, tiempo entre

pedidos o tiempo de llegada de pedidos.

Q = cantidad a ordenar

λ = número de artículos demandados por año.

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



Número de pedidos:

$v = \lfloor \frac{t}{T} \rfloor$, aproximando al entero inferior donde:

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

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

$$\frac{t}{T} + v \text{ pedidos, } \frac{t}{T} \leq 1 \quad + \frac{\lambda A}{Q} + v \text{ pedidos}$$

Costos en el tiempo t

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

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

Costo de inventarios por ciclo:

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

En t existen los siguientes ciclos completos:

$$v = \frac{t}{T} - \epsilon \quad 0 \leq \epsilon \leq 1$$

Costo del inventario en t : $IC \frac{QT}{2} (\frac{t}{T} - \epsilon) + N$

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

Costo variable total en el tiempo t :

$$Z(t) = \left[\frac{\lambda t}{Q} + \epsilon \right] Q \cdot C + \left[\frac{\lambda t}{Q} + \epsilon \right] A + IC \frac{QT}{2} \left(\frac{t}{T} - \epsilon \right) + N$$

Costo anual promedio en t :

$$K(t) = \frac{Z(t)}{t} = \lambda C + \frac{\epsilon QC}{t} + \frac{\lambda A}{Q} + \frac{\epsilon A}{t} + IC \frac{Q}{2} - \frac{\epsilon}{t} IC T \frac{Q}{2} + \frac{N}{t}$$

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

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

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

$$K = \underbrace{\frac{\lambda A}{Q}}_{\text{Costo de ordenar}} + \underbrace{IC \frac{Q}{2}}_{\text{Costo de inventario}}$$

Costo de ordenar
Costo de inventario

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

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

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

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

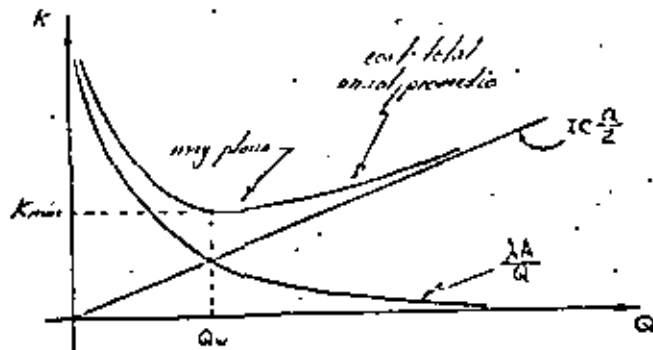
fórmula que da el tamaño de lote económico.

Observaciones:

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

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

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



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

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

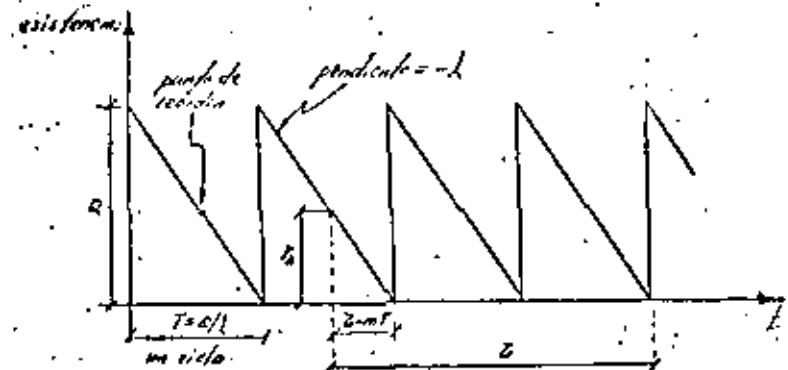
La pregunta de cuánto pedir ha quedado contestada, nos avocaremos a dar respuesta a la segunda.

Sua $m = \lceil C/T \rceil$, aproximando el entero inferior, donde m = número de pedidos pendientes de surtir.

Nivel de reórden:

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

donde μ = demanda durante el tiempo de aprovisionamiento.



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

Una de las propiedades más importantes del modelo de

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

Suponga que uno de los artículos que maneja la tienda de autoservicio es el 78129, el cual fue manejado durante 1980 en la siguiente forma

No. artículo	Demanda A (pzas/año)	Cantidad ordenada Q (pzas/lote)	Costo unitario C (\$/pza)	Costo de ordenar A (\$/lote)	Tiempo entre pedidos T (semanas)
78129	1560	97	48.20	25.00	3

Las alternativas de adquisición propuestas son:

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

Alternativa 1. $Q = 97$ pzas/lote

$$K = \frac{1560}{97} \times 25 + \frac{0.20 \times 48.20 \times 97}{2} = 5869.60/\text{año.}$$

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

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

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

$$K = \frac{1560}{390} \times 25 + \frac{0.20 \times 48.20 \times 390}{2} = 51979.80/\text{año.}$$

Alternativa 3:

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

$$K^* = \frac{1560}{90} \times 25 + \frac{0.20 \times 48.20 \times 90}{2} = 5867.13/\text{año}$$

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

BIBLIOGRAFIA:

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



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

· APLICACION DE LOS MODELOS DE
TRANSPORTE
A LA
CIUDAD DE MEXICO.

NOVIEMBRE DE 1981

M EN C. ANTONIO ALVARADO D.

1. ESTUDIO DEL MEDIO Y TENDENCIAS GENERALES

1.1. POLITICAS DE DESARROLLO URBANO.

1.1.1. INTRODUCCION.

La población estimada para 1979 en el área metropolitana de la ciudad de México, se estima en 13.5 millones de habitantes. Para el año 2000, la meta considerada por el Plan Nacional de Desarrollo Urbano, es de 20 millones, lo que implica que la zona se convierta en un futuro muy próximo en área de rechazo poblacional.

El Consejo Nacional de Población considera como meta para el año 2000, 28 millones de habitantes en el área metropolitana, lo que significa la creación de fuentes de trabajo y lugar de asentamiento para 14.5 millones.

De no llevarse a cabo las políticas de desarrollo urbano establecidas y siguiendo la tendencia histórica, se plantea una hipótesis de 35 millones de habitantes para el año 2000 en el área metropolitana, implicando la creación de fuentes de trabajo y lugar de asentamiento para 21.5 millones de habitantes adicionales.

La incertidumbre asociada al desarrollo urbano del área de estudio, tiene implicaciones importantes en cuanto a la planeación del transporte, ya que este sistema es sólo una variable en el contexto urbano y está supeditada a las políticas de desarrollo.

Dada esta característica, el estudio analiza tres alternativas de desarrollo urbano, en las que se sugerirá un sistema de transporte intermodal para comunicar a la ciudad de México con los municipios conurbados y el tiempo aproximado de su implementación.

En este estudio se analiza la configuración de la mancha urbana para diferentes hipótesis de crecimiento poblacional y para las alternativas de desarrollo urbano de Redensificación, Radialización y Satelización.

Para tal efecto se establece un modelo de desarrollo urbano que describe y pronostica los fenómenos de desarrollo (físico-espacial) de las localidades urbanas que conforman la zona de estudio, con el propósito de obtener respuestas satisfactorias sobre la distribución espacial de la población futura.

Este modelo considera el explosivo crecimiento natural y social de las localidades y sus consecuencias en el sistema de transporte actual.

analizando las características de zonificación y uso del suelo, a través del proceso de urbanización y los problemas que se han generado en su evolución histórica y tiene como objetivo el pronosticar:

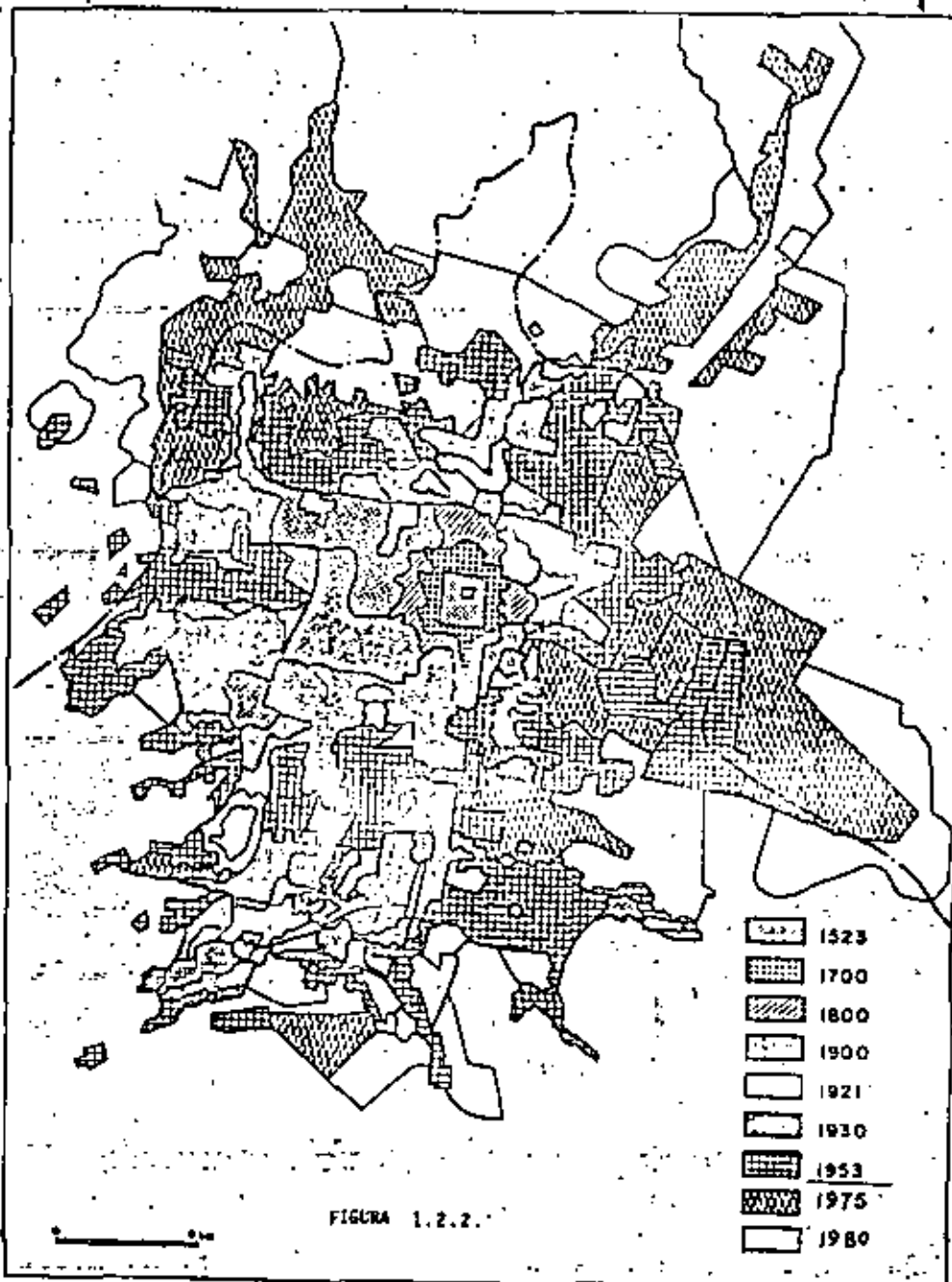
- a. Los escenarios urbanos del área metropolitana de la ciudad de México, a los años 1982, 1988, 1994 y 2000, estimando la configuración urbana más deseable en el horizonte de planeación.
- b. La estimación por delegación y municipio de la población total, número de empleos totales y niveles de ingresos, que sirven para generar la tabla de viajes en el modelo de transporte.

1.1.2. ANTECEDENTES.

A partir de la fundación de la ciudad de México, la mancha urbana ha sufrido cambios en su configuración, como se observa en la figura 1.1.2.

1523 Trazo colonial inicial de la ciudad de México.

1523-1700 La mancha urbana inicial se incrementa en forma concéntrica y se empiezan a desarrollar: Tacuba, Azcapotzalco y La Villa por el norte; Balbuena por el oriente, Ixtacalco.



Ixtapalapa, Xochimilco, Coyoacán, Tlalpan y San Ángel por el sur y Mixcoac por el oriente, apareciendo algunos asentamientos sobre las vías de comunicación que la interconectaban con los diferentes puntos.

1700-1800 La mancha urbana rebasa sus límites y empiezan a aparecer asentamientos considerables sobre las vías de comunicación.

1800-1900 Se observa un ensanchamiento del área urbana, apreciándose para estas fechas, un proceso de conurbación, principalmente de pequeños asentamientos intermedios sobre la vía de comunicación de la ciudad con el pueblo de Tlacuba, ocurriendo en forma similar con los pueblos a Tlalpan y Coyoacán.

1900-1921 A partir de esta fecha se observa claramente un desarrollo de tipo radial, sobre las vías de comunicación, conurbándose los asentamientos intermedios y un ensanchamiento considerable de la mancha urbana.

1921-1930 Durante este período quedan totalmente conurbadas las poblaciones mencionadas, apreciándose un desarrollo acelerado sobre las vías de comunicación y un continuo ensanchamiento de la zona urbana central en forma concéntrica.

1930-1953 En este lapso se observa claramente un proceso de densificación concéntrica, saturándose las áreas libres intermedias y el inicio de un desarrollo radial sobre las nuevas vías de comunicación que interconectan la ciudad de México con los estados colindantes, Querétaro, México, Puebla, Hidalgo y Morelos.

1953-1975 Se observa un proceso de conurbación de los municipios aledaños al Distrito Federal, ensanchando la mancha urbana, saturando las áreas libres intermedias y creando grandes desarrollos sobre las vías de acceso a la ciudad.

La tendencia de crecimiento observada en la ciudad de México ha sido principalmente sobre las vías de comunicación que la interconectan con los estados colindantes. Los desarrollos más importantes se localizan al norte y al oriente de la ciudad en donde las condiciones topográficas lo permiten, y en forma limitada al poniente y al sur condicionados por los umbrales físicos y las políticas de desarrollo urbano establecidas.

Dadas las condiciones del proceso histórico, la tendencia futura presenta las características siguientes:

a. Un proceso constante de redensificación en la zona urbana actual.

b. Un desarrollo continuo sobre las vías de comunicación interurbanas.

c. Una baja densidad en los nuevos asentamientos.

1.1.3. DELIMITACION DEL AREA DE ESTUDIO.

Para los efectos del presente estudio se consideraron las 16 delegaciones políticas pertenecientes al Distrito Federal y 18 municipios localizados dentro del Valle de México, de acuerdo a los lineamientos establecidos por la Comisión de Conurbación del Centro del País.

DELEGACIONES:

- | | |
|------------------------|-------------------------|
| 1. Alvaro Obregón | 9. Ixtacalco |
| 2. Azcapotzalco | 10. Iztapalapa |
| 3. Benito Juárez | 11. Miguel Hidalgo |
| 4. Magdalena Contreras | 12. Milpa Alta |
| 5. Coyoacán | 13. Tlalhuac |
| 6. Cuajimalpa | 14. Tlalpan |
| 7. Cuauhtémoc | 15. Venustiano Carranza |
| 8. Gustavo A. Madero | 16. Xochimilco |

MUNICIPIOS:

- | | |
|-------------------|------------------------------|
| 1. Atlixpán | 10. Tizayuca |
| 2. Coacalco | 11. Atenco |
| 3. Cuautitlán | 12. Teacoco |
| 4. Ecatepec | 13. Chimalhuacán |
| 5. Tultitlán | 14. Chalco |
| 6. Naucalpan | 15. Tecamac |
| 7. Nezahualcoyotl | 16. San Martín Las Pirámides |
| 8. La Paz | 17. Zumpango |
| 9. Tlanepantla | 18. Huehuetoca |

1.1.4. HIPOTESIS DE CRECIMIENTO

Como se menciona anteriormente, el modelo de desarrollo urbano analiza tres hipótesis de crecimiento.

A. Para 20 millones de habitantes de acuerdo al Plan Nacional de Desarrollo Urbano (implicando lo siguiente):

1. Una disminución de la tasa actual de crecimiento del 6% a una tasa negativa para el año 2000 del -2.25%.
2. Una tasa media de crecimiento del 1.8%, que resulta menor a la tasa de crecimiento natural del país.
3. Que el área metropolitana de la ciudad de México se convierta en una zona de rechazo, a través de las políticas

de desarrollo urbano.

B. Para 28 millones de habitantes de acuerdo al Consejo Nacional de Población con las implicaciones siguientes:

1. Una disminución de la tasa de crecimiento del 0.5 al 0.6% anual.
2. Una tasa media de crecimiento (3.37%) igual a la de crecimiento natural observado en la última década, considerando que las inmigraciones al área metropolitana, serán compensadas por las emigraciones de los residentes en esta área.
3. La creación de fuentes de trabajo para siete millones de habitantes cuyo asentamiento se tendrá que desviar a nuevas zonas de desarrollo localizadas posiblemente en las ciudades de corona.

C. La tercera hipótesis de crecimiento, está basada en un estudio realizado en 1975 por el Departamento del Distrito Federal, el que pronostica 35 millones de habitantes para el año 2000 con las implicaciones que se observan a través de la tendencia actual de crecimiento poblacional.

Este pronóstico se basó en la tendencia de crecimiento histórico sin considerar las políticas ni los programas de desconcentración a partir de 1976.

1.1.5 ALTERNATIVAS DE DESARROLLO URBANO.

El planteamiento de las alternativas de desarrollo urbano, redensificación, radialización y satelización, se establecieron en base al análisis de las características de crecimiento, observadas en el proceso evolutivo del área metropolitana.

A. Redensificación.

La alternativa de redensificación se basa en el incremento de la densidad en el área urbana actual, teniendo como característica principal la ocupación de lotes baldíos, limitando la expansión horizontal de la ciudad.

B. Radialización.

El desarrollo urbano de tipo radial es representativo del crecimiento actual del área metropolitana. La principal característica de esta alternativa es el incremento poblacional de las localidades desarrolladas a lo largo de los ejes carreteros, combinado con una disminución en el proceso de redensificación de la ciudad de México, con objeto de conservar densidades menores a 300 hab/ha en el Distrito Federal.

C. Satelización.

Esta alternativa está enfocada a la creación de un sistema de ciudades

satélite autosuficientes, cuyo objetivo es el de albergar dentro del Valle de México a la población futura sin agravar el congestionamiento de la área urbana actual.

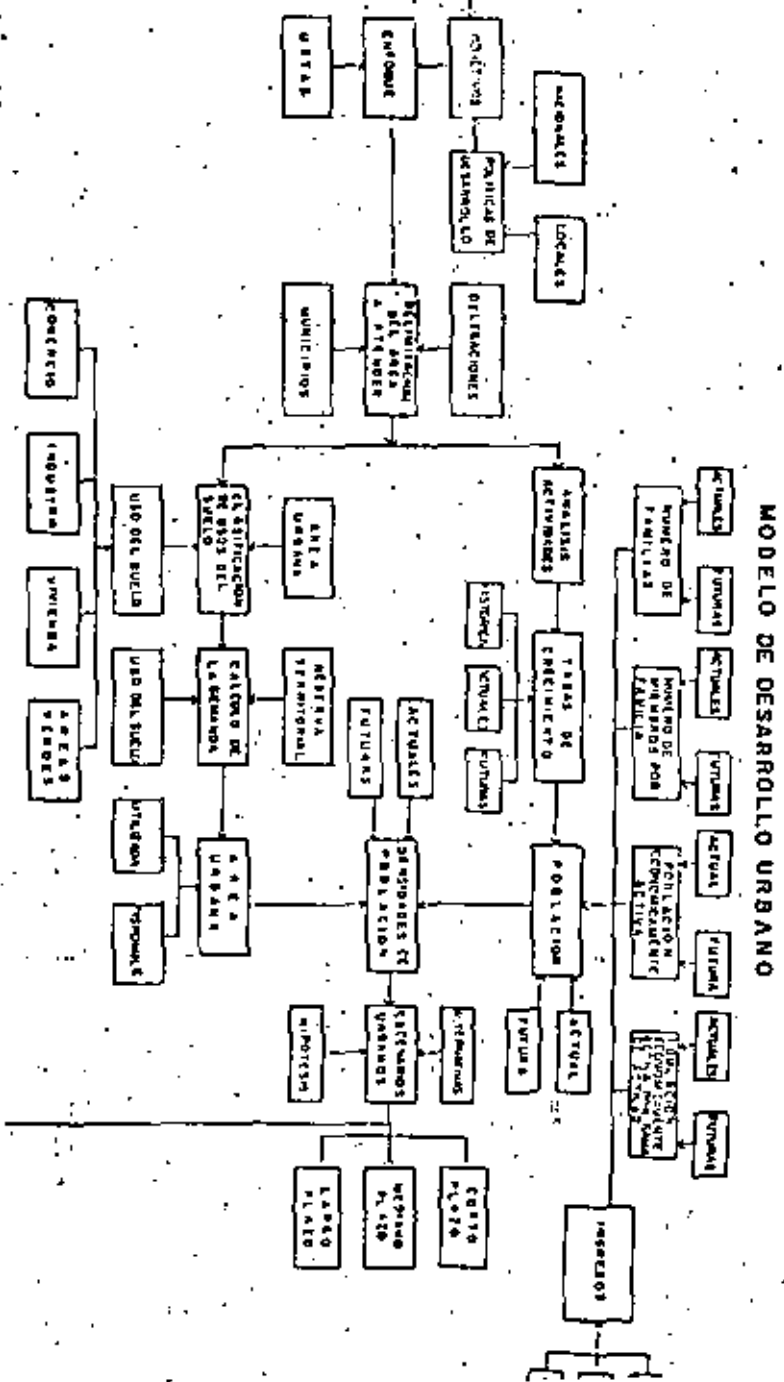
1.2. MODELO DE DESARROLLO URBANO.

El modelo de desarrollo urbano forma parte de los estudios encaminados a determinar los requerimientos de transporte masivo en la zona metropolitana de la ciudad de México, se orienta al análisis de las alternativas de desarrollo, aplicadas a las hipótesis de crecimiento de población. (Figura 1.2).

Para las alternativas de desarrollo, se han considerado diferentes hipótesis de habitantes esperados en el área, para el año 2000.

- a). Hipótesis del P.N.D.U. 20 millones de habitantes
- b). Hipótesis de C.D.N.A.P.O. 28 millones de habitantes
- c). Hipótesis del crecimiento tendencial 35 millones de habitantes

Igualmente para distribuir las poblaciones esperadas, se consideran en el modelo tres alternativas:



I. Redensificación.

II. Radialización.

III. Saturización.

El análisis de las hipótesis de crecimiento, en combinación con las alternativas de desarrollo, describe las condiciones urbanas futuras esperadas de ocurrir cualquiera de las condiciones propuestas.

Como instrumento de trabajo, el modelo permite analizar cualesquiera otras opciones y combinaciones correspondientes, generando así la posibilidad de estimar las consecuencias de aplicar determinadas políticas dadas ciertas condiciones de crecimiento.

A partir de la definición de variables relevantes para describir el sistema urbano de la zona metropolitana, se plantean los siguientes objetivos:

1. Describir y pronosticar las condiciones demográficas y sociales de la población, en el período 1979-2000, por cada delegación y municipio conurbado con el Distrito Federal, según las distintas hipótesis de crecimiento.
2. Describir y pronosticar las demandas de suelo y sus usos correspondientes, en el período 1979-2000 para cada delegación y municipio conurbado con el Distrito Federal, según las distintas políticas de desarrollo urbano.

3. Describir y pronosticar las condiciones demográficas y sociales de la población, en el período 1979-2000, para cada zona en que se dividen las delegaciones y municipios conurbados con el Distrito Federal, según hipótesis de crecimiento.

4. Describir y pronosticar demandas de suelo y sus usos correspondientes, en el período 1979-2000 para cada zona en que se dividen las delegaciones y municipios conurbados con el Distrito Federal, según las distintas políticas de desarrollo urbano.

El modelo de desarrollo urbano, para cumplir con los objetivos descritos, parte de la información histórica acerca de la dinámica de crecimiento urbano en el área de estudio; se incorpora la hipótesis de crecimiento poblacional que establecen los niveles superiores de planeación: CONAPO y PROU. Asimismo, con base en la situación actual, define y postula distintas alternativas de desarrollo urbano, según se trate de redensificar la mancha actual, reforzar el crecimiento a lo largo de las vías radiales que confluyen al Distrito Federal o crear satélites autosuficientes que formen una estructura de ciudades dentro de la zona metropolitana.

Igualmente, en el modelo se postulan y definen coeficientes que permiten estimar las características de la población y del uso del suelo a lo largo del horizonte de planeación. Estos coeficientes constituyen hipótesis de trabajo que se derivan de las tasas demográficas y de las

políticas de desarrollo. Mediante procesamiento electrónico, el modelo genera información relativa a las consecuencias que pueden esperarse y con las que es posible describir escenarios al año 2000 y períodos intermedios.

Constituye, asimismo, un instrumento que postula y define, mediante una estructura lógica, variables representativas y sus relaciones, representando los componentes de interés del sistema urbano así como su evolución que determine estados futuros del sistema.

Finalmente, es necesario indicar que el modelo de desarrollo no aspira a sustituir estudios más profundos y detallados que es necesario llevar a cabo en el área metropolitana, mismos que permitirán refinar y ajustar las hipótesis iniciales propuestas.

2. ANALISIS DE LOS DIVERSOS MODOS DE TRANSPORTE

2.1. INTRODUCCION.

El presente capítulo tiene como objetivo la descripción de la metodología empleada en el desarrollo del modelo de transporte aplicado para el área metropolitana de la Ciudad de México.

Este modelo sigue los lineamientos generales de los modelos clásicos empleados para la planeación del transporte los que a continuación se describirán brevemente:

a) Modelo de Generación de Viajes.

Este tipo de modelos representan la fase inicial de una planeación del transporte. En ellos se presentan 2 tipos de componentes; uno, los conocidos modelos de producción de viajes, que son los que a partir de la información de las condiciones socio-económicas de la población del área bajo estudio (Ingreso, Población, No. de vehículos, etc.) son quienes determinan la producción potencial de viajes de cada una de las zonas, y cuya ecuación general puede ser:

tan simple como la que a continuación se muestra:

$$V_k = a + b(P) + c(I) + d(A) + \dots$$

en donde: V_k = número de viajes producidos en k

P = población

I = ingreso promedio

A = números de automóviles por familia

a, b, c, d = coeficientes de calibración

En forma semejante, la segunda componente, representada ésta por los modelos de atracción de viajes, los cuales, en función de variables como son el número de empleos, actividad industrial, comercial, agrícola, turística, cultural, etc., son quienes nos determinan la atracción potencial que cada una de las zonas posee. La expresión general puede ser como la que a continuación se muestra:

$$V_l = a + b(E) + c(I_n) + d(C) + e(A) + f(T) + \dots$$

en donde: V_l = número de viajes atraídos A_l

E = número de empleos

I_n = actividad industrial

C = actividad comercial

A = actividad agrícola

T = actividad turística

a, b, c, d, e, f = coeficiente de calibración

b) Modelo de Distribución de Viajes.

El siguiente paso a seguir dentro de la planeación del transporte urbano, lo representa el modelo de distribución de viajes, el cual tiene como función fundamental el de distribuir los viajes entre cada una de las zonas, en función al potencial que cada zona posea en cuanto a su producción y atracción de viajes, interviniendo además como factores negativos o de impedancia en la realización de viajes interzonales a factores tales como el tiempo y la distancia.

La expresión general del modelo es como se muestra a continuación:

$$V_{kl} = \frac{P_k (A_l / d_{kl}^b)}{\sum_i (A_i / d_{ki}^b)}$$

en donde: V_{kl} = número de viajes que van de k a l

P_k = viajes producidos en k

A_l = viajes atraídos en l

d_{kl} = factor de impedancia (tiempo y distancia)

b = factor de calibración

c) Modelo de Distribución Modal

A continuación, interviene el conocido modelo de distribución modal, el cual hace intervenir las características propias de nivel de servicio de cada uno de los modos de transporte en competencia. Su expresión general es como a continuación se muestra:

$$P_T = \frac{1}{1 + \frac{u}{e^u}}$$

en donde: P_T = probabilidad de usar el transporte público

u = término que refleja la competencia entre los diferentes modos de transporte.

Finalmente, una vez que son determinados los volúmenes entre cada una de las zonas y hecha su distribución modal, interviene el modelo de asignación de viajes, el cual, será quién asigne las rutas por donde cargará los volúmenes en función de las trayectorias de tiempo mínimo. La expresión general del modelo es como a continuación se muestra:

$$T = T_0 + [0.15](T_0)(V/C)^b$$

en donde: T = tiempo estimado sobre los tramos de la red, en función

al volumen V

T_0 = tiempo sobre el tramo en condiciones de flujo libre

V = volumen sobre el tramo

C = capacidad sobre el tramo

Tal secuencia de los modelos clásicos descrita anteriormente, es llevada a cabo en forma simultánea a través del sistema de planeación del transporte urbano conocido más ampliamente con el nombre de sistema UTPS, el cual ha tenido muy amplias y diversas aplicaciones en diferentes partes del mundo y principalmente en los Estados Unidos de Norteamérica, como una poderosa herramienta para la planeación del Transporte Urbano. Este conjunto de modelos fueron inicialmente concebidos y perfeccionados posteriormente por la Agencia de Administración del Transporte Público Masivo (LMTA) con sede en Washington D.C. (EUA).

MODELO DE DEMANDA

ESTABLECIMIENTO DEL SISTEMA DE ZONAS

DEFINICIÓN DE SUBZONAS Y SUS NIVELES DE INGRESOS

AGREGACION DE ZONAS A DISTRITOS

FACTORES DE CRECIMIENTO POR DISTRITO

DEFINICION DE TIPOS DE VIAJES REPRESENTATIVOS

MATRIZ DE VIAJES REPRESENTATIVOS ENTRE PARES DISTRITALES

DETERMINACION DE PARES DISTRITALES REPRESENTATIVOS

MODELO DE DISTRIBUCION MODAL

COSTO DE TRANSPORTE PUBLICO PARA CADA TIPO DE VIAJE REPRESENTATIVO

TABLA DE VIAJES

MODELO DE EQUILIBRIO

- PREDICCIÓN DE VIAJE PARA CADA TRAMO DE LA RED
- TRAYECTORIAS DE TIEMPO MINIMO ENTRE CADA UNA DE LAS ZONAS
- IMPACTOS AMBIENTALES

- ESCENARIOS URBANOS
- 1982
 - 1988
 - 1994
 - 2000
- PREDICCIÓN DE POBLACION
 - NUMERO DE EMPLEOS
 - USO DEL SUELO

- NIVELES DE SERVICIO
- RED DE TRANSPORTE
- SISTEMA DE ZONAS
- TIPO DE AREA
- TIPOS DE TRANSPORTE
- CENTROIDES
- NODOS
- ESTRUCTURA DE LA CODIFICACION

AFOROS DE CAMPO

MODELO DE OFERTA

FIG. 3.1.1



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

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

M. EN I. FRANCISCO J. JAUFFRED MERCADO

NOVIEMBRE, 1981

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

por F. J. Jauffred*

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- d) Las componentes del sistema son los tramos de carretera que no sólo cumplen con misiones de índole particular en la entidad federativa en que se localizan, sino que muchas de ellas son verdaderas arterias para llevar a buen fin el quehacer nacional, sobra decir más sobre la característica teleológica de estas componentes.
- e) El ámbito en el que opera el sistema carretero es el país, México Todo. Distinguiendo las usuales divisiones del ámbito: a las que anteriormente se hizo referencia, es decir, político-social, administrativo-económica y físico-técnica. Por lo que hace a la primera, tenemos nuestro pacto federal que nos ha permitido existir y desarrollarnos como país

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



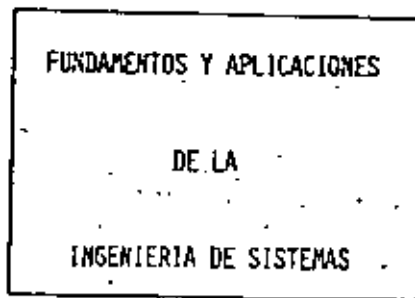
**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

LA COMPUTADORA

Ing. Antonio Olivera

Noviembre 1981.



MARCO GENERAL DE SISTEMAS

HERRAMIENTAS

(LA COMPUTADORA)

APLICACIONES



1. ANTECEDENTES.

EN EL EJERCICIO PROFESIONAL DE LOS GRADUADOS EN EL AREA DE INGENIERIA DE SISTEMAS, ES COMUN ENFRENTARSE A PROBLEMAS DE GRAN TAMARO EN LOS QUE, POR EJEMPLO, SE REQUIERA:

- OPTIMIZAR UN SISTEMA EN EL QUE CONCURRE UN GRAN NUMERO DE VARIABLES
- LLEVAR EL CONTROL DE UNA CONSIDERABLE CANTIDAD DE ACTIVIDADES
- SIMULAR SISTEMAS EN LOS QUE INTERVIENEN MULTITUD DE VARIABLES

.....
.....

2. PROCEDIMIENTO

TALES PROBLEMAS REQUIEREN, PARA SER RESUELTOS, DE HERRAMIENTAS EFICIENTES QUE AUXILIEN PARA:

- MANEJAR LA INFORMACION INVOLUCRADA
- APLICAR LOS ALGORITMOS
- INTERACTUAR PARA INVESTIGAR DIFERENTES POSIBILIDADES
- ORGANIZAR LOS RESULTADOS EN LA FORMA MAS ADECUADA

3. EJEMPLO

SI EN EL ANALISIS DE UN SISTEMA SE REQUIERE RESOLVER EL PROBLEMA DE PROGRAMACION LINEAL:

$$\text{MIN } M = 4A + 7B + 8C + 6D$$

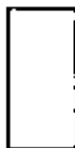
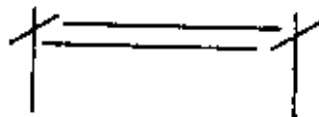
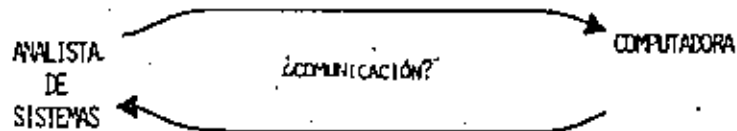
SUJETA A LAS RESTRICCIONES

$$150A + 140B + 170C + 160D = 150 \quad (1)$$

$$0.1A + 0.1B + 0.3C + 0.3D \leq 0.2 \quad (2)$$

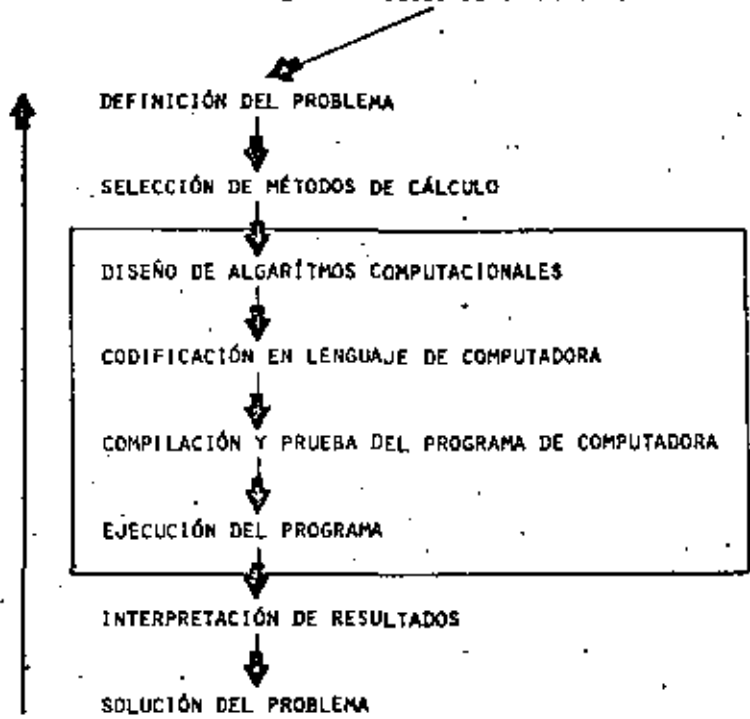
$$2A + 4B + 5C + 3D \geq 3 \quad (3)$$

EN DONDE LAS VARIABLES A,B,C,D, SON NO NEGATIVAS. SU SOLUCION PUEDE OBTENERSE MANUALMENTE; PERO SI LA FUNCION OBJETIVO DEPENDE DE 56 VARIABLES, LAS QUE DEBEN VERIFICAR 86 RESTRICCIONES, ALGUNAS DE ELLAS NO LINEALES, ADEMAS DE QUE CIERTAS VARIABLES DEBEN TOMAR SOLO VALORES ENTEROS, ENTONCES ...



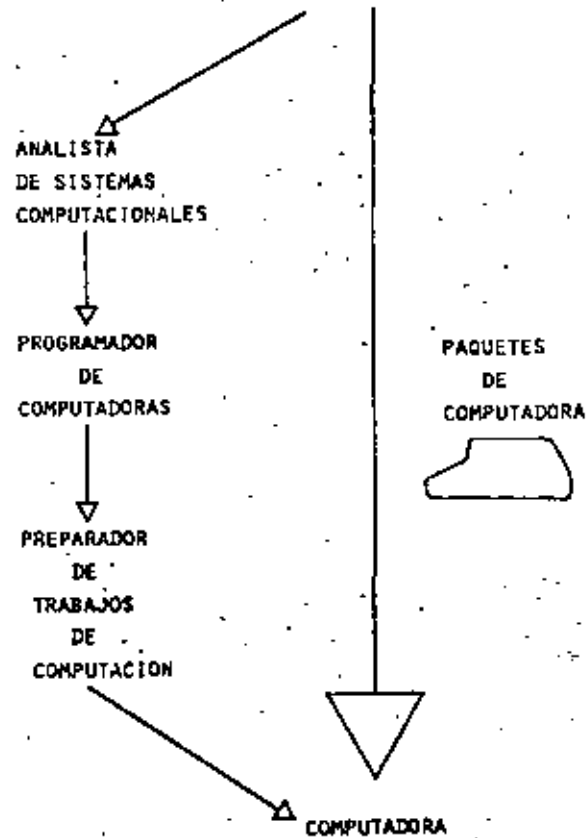
4-1

ANALISTA DE SISTEMAS
(USUARIO DE LOS SERVICIOS DE CÓMPUTO ELECTRÓNICO)

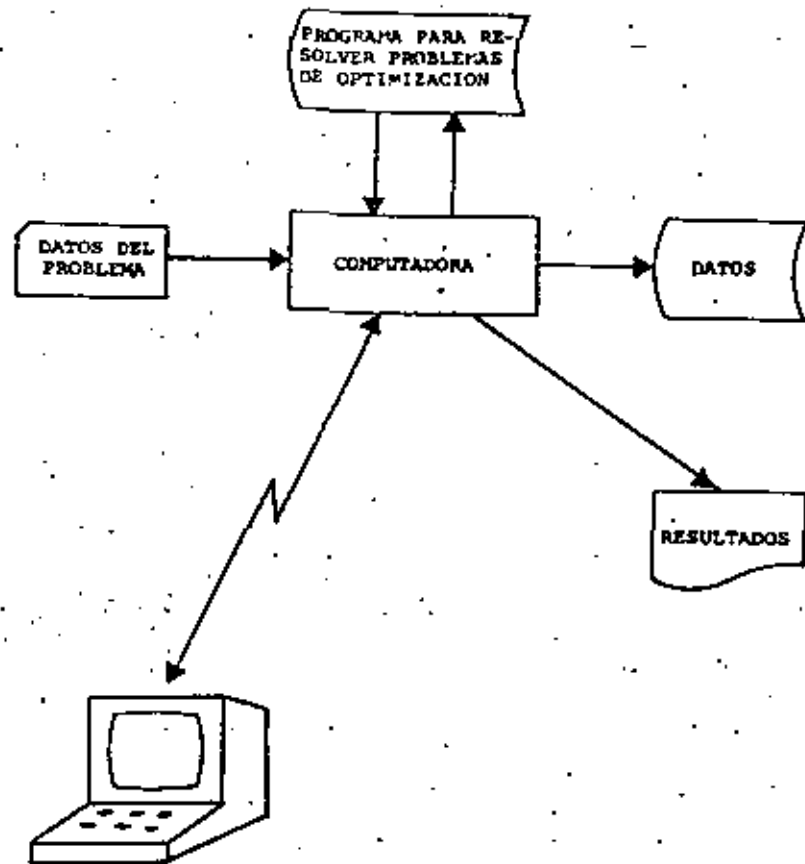


ANALISTA DE SISTEMAS

(USUARIO DE LOS SERVICIOS DE CÓMPUTO ELECTRÓNICO)



4. USO DE PAQUETES DE COMPUTADORA



5. PAQUETES DE COMPUTADORA

- PROCEDIMIENTOS DE CALCULO PARA RESOLVER UNA CLASE COMPLETA DE PROBLEMAS

OPTIMIZACION:

- PROGRAMACION LINEAL
- PROGRAMACION NO LINEAL
- PROGRAMACION ENTERA
- ...

- LENGUAJE ORIENTADO AL TIPO DE PROBLEMAS POR RESOLVER (EN PROGRAMACION LINEAL:

- FUNCION OBJETIVO
- VARIABLES DE HOLGURA
- BASE FACTIBLE
- ...

- TODO CON EL FIN DE QUE LAS PERSONAS INTERACTUEN CON LA COMPUTADORA EN FORMA SIMILAR A COMO SE COMUNICARIA CON OTRAS QUE CONOCEN EL TOPICO

6. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE PROGRAMACION LINEAL

```
DPTECH
LP ROW 4 COL 4 SLACK 2
SINGLE
FREQUR CUTOFF 100
TOLERA PJ 1.0E-04
ROW 1 M1
PRINT RHS
RHS 'RHS'
      1 150.
      2  7.
      3  7.
      4  3.0
END RHS
PRINT MATRIX
MATRIX 'AMAT'
      A  M  4.
      A  1 150.
      A  2  7.
      A  3  7.
      A  4  3.0
      B  1 140.
      B  2  0.1
      B  3  0.0
      C  M  8.0
      C  1 170.0
      C  2  0.1
      C  3  0.0
      D  M  8.0
      D  1 140.0
      D  2  0.1
      D  3  0.0
END MATRIX
DO
FINISH
```

7. SOLUCION DEL PROBLEMA DE PROGRAMACION LINEAL

```

OPTCON
LP ROW 4 COL 4 SLACK 2
SINGLE
FREQUE CUTOFF 100
TOLERA RJ 1.0E-04
ROW 1 M1
PRINT RMS
RMS 'BVEC'

```

```

      1 150.
L      2 42
C      3 3.7
PRINT MATRIX
MATRIX 'AMAT'
  A M 4.
  A 1 150.
  A 2 42
  A 3 3.7
  B M 7.
  B 1 140.
  B 2 0.1
  B 3 4.0
  C M 8.0
  C 1 170.0
  C 2 0.3
  C 3 5.0
  D M 6.0
  D 1 160.0
  D 2 43
  D 3 3.0

```

PROBLEM HAS 4 ROWS, 6 COLUMNS, AND 18 MATRIX ENTRIES, 1 MATRIX STACK,
INSTALLED 1 SLACKS, 0 NON-SLACKS.

GO

FEASIBLE ON ITERATION 2, 3 STEPS
OPTIMAL SOLUTION

BASIC VARIABLES FOR THE PROBLEM (AMAT, BVEC) AT ITERATION 4 ARE AS FOLLOWS:

A SLO1 C

END

ARTONS WITH NO PIVOTS ARE AS FOLLOWS---

END

```

3 MATRIX R.H.S. ITER STEPS PIVS OBJECTIVE M. 0 INFEAS DETERMINANT
  AMAT  BVEC      4      4      4      3.26829  0.0 4.09995E 2

```

```

MIN. R/COST NEW COL OLD COL PIV ROW
0.560783 SLO1 0 2

```

ROW DEPENDENT OUTPUT

VARIABLE NAME	VALUE	ROW	RHS	PRICE	SLO2
A	-3.268291	M	0.0	1.000000	1.268291
A	0.585366	1	150.000000	-0.009756	0.414634
SLO1	0.031707	2	0.200000	-0.000002	0.060293
C	0.165854	3	3.000000	-1.268291	-0.365854

COLUMN DEPENDENT OUTPUT

VARIABLE NAME	VALUE	TRUE COST	REDUCED COST	ROW
SLO1	0.031707	0.0	-0.000002	2
SLO2	0.0	0.0	1.268291	
A	0.585366	4.000000	0.000003	1
B	0.0	7.000000	0.560983	
C	0.165854	8.000000	0.000009	3
D	0.0	6.000000	0.634151	

FINISH

10. SPSS

8. ALGUNOS PAQUETES EXISTENTES (CSC)

PAQUETE ESTADÍSTICO PARA CALCULAR ESTADÍSTICOS DE MUESTRAS, HACER -
 PRUEBAS DE HIPÓTESIS, ANÁLISIS DE VARIANCI, ANÁLISIS FACTORIAL, --
 AJUSTE DE CURVAS, ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN PARCIAL MÚLTI
 PLE, ETC.

OPTIMIZACION: TEMPO (*)
 ALPS 1
 IMSL

EJEMPLO:

ESTADÍSTICOS: BASIS
 SPSS (*)
 IMSL 7

DETERMINACIÓN DE LA TARIFA QUE DEBE PAGARSE PARA CRUZAR
 LA BAHÍA DE SAN ANTONIO EN UN TRANSBORDADOR

REDES: TEMPO NETWORK

SIMULACION: GPSS (**)
 DYNAMO

TIEMPO HORAS DE RECORRIDO	GASOLINA COMBUSTIBLE UTILIZADO	PASAJERO PASAJEROS TRANSLADADOS	
9	26.7	220	→ COSTO ₁
8.5	23.4	210	→ COSTO ₂
...	...	...	↓ COSTO MEDIO

```

RUN NAME      INFORMACION PARA ACTUALIZAR TARIFAS
FILE NAME     LELNARD0 TIEMPO+COMBUSTIBLE+PASAJEROS
VARIABLE LIST TIEMPO,GASOLINA,PASAJEROS
VAR LABEL     TIEMPO HORAS DE RECORRIDO/
              GASOLINA COMBUSTIBLE EMPLEADO/
              PASAJEROS PASAJEROS TRANSLADADOS
VALUE LABELS  TIEMPO(0),00TIEMPO DE RECORRIDO MINIMO
              (0.00)TIEMPO DE RECORRIDO MAXIMO
INPUT MEDIA   DISK
# OF CASES    50
INPUT FORMAT  FREEFIELD
PRINT FORMAT  TIEMPO(0),GASOLINA(0)
COMPUTE       COSTOVI=(GASOLINA*1.00+TIEMPO*1.00)/PASAJEROS
CONDESCRIP/AVE ALL
STATISTICS    ALL
READ INPUT DATA
FINISH

```

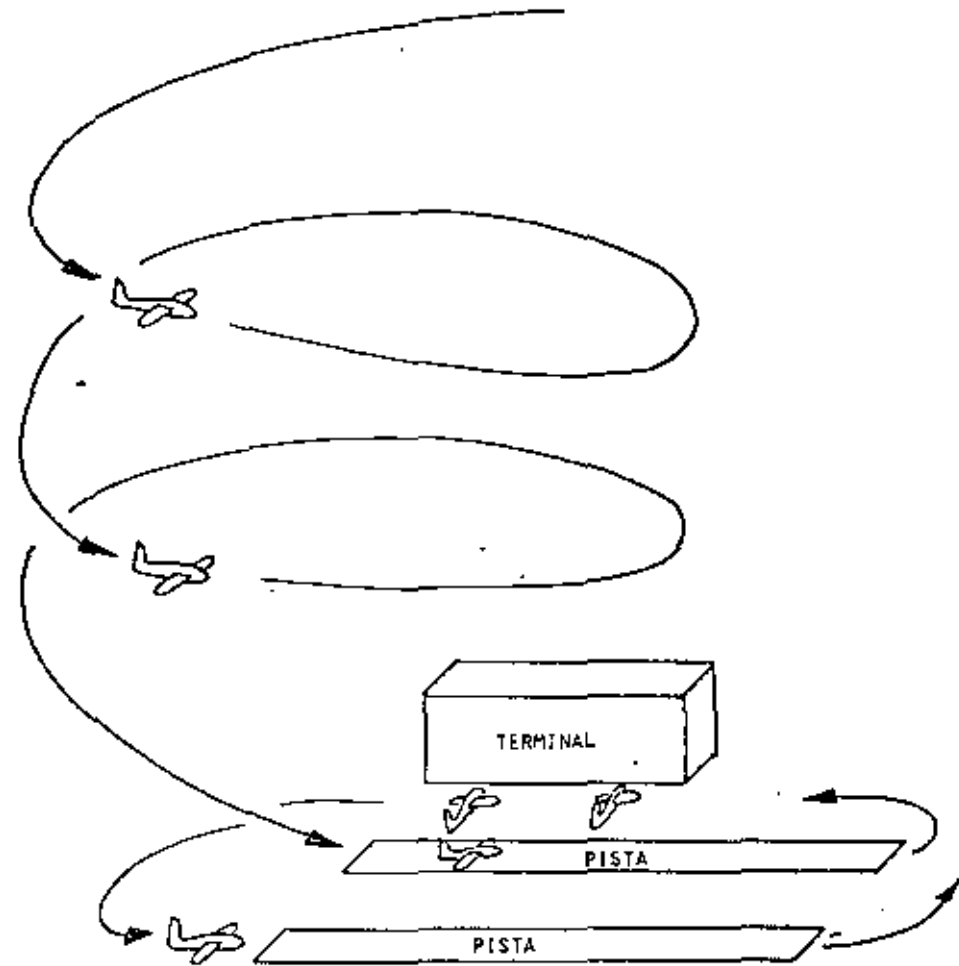
INFORMACION PARA ACTUALIZAR TARIFAS				COSTOVI	PAGE
FILE LELNARD0 TIEMPO+COMBUSTIBLE+PASAJEROS					
VARIABLE TIEMPO HORAS DE RECORRIDO -					
CONTINUA	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
PARTE	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
VARIABLE		50	PUNTO OBSERVACIONES		0
CONTINUA GASOLINA COMBUSTIBLE EMPLEADO					
CONTINUA	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
PARTE	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
VARIABLE		50	PUNTO OBSERVACIONES		0
CONTINUA PASAJEROS PASAJEROS TRANSLADADOS					
CONTINUA	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
PARTE	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
VARIABLE		50	PUNTO OBSERVACIONES		0
CONTINUA COSTOVI					
CONTINUA	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
PARTE	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
VARIABLE		50	PUNTO OBSERVACIONES		0

10

11. GPSS

PAQUETE PARA RESOLVER PROBLEMAS DE SIMULACION DE EVENTOS DISCRETOS.

EJEMPLO: EN UN AEROPUERTO CON DOS PISTAS PARALELAS, EL TIEMPO QUE TRANSCURRE ENTRE DOS LLEGADAS SUCESIVAS TIENE DISTRIBUCIÓN EXPONENCIAL DE MEDIA 1,5 MINUTOS. SI EL NÚMERO DE AVIONES QUE ESPERAN EN EL AIRE ATERRIZAR LLEGA A SER DE 5, LOS SIGUIENTES SE DESVÍAN A ALGÚN AEROPUERTO ALTERNO PARA ASÍ RECONGESTIONAR EL ESPACIO AÉREO DEL QUE SE ESTUDIA. AL AEROPUERTO LLEGAN DOS TIPOS DE AVIONES: EL 75% SON GRANDES Y OCUPAN EN PROMEDIO 30 SEGUNDOS EN ATERRIZAR O DESPEGAR, CON DISTRIBUCIÓN EXPONENCIAL; EL 25% SON MEDIANOS Y OCUPAN 20 SEGUNDOS LA PISTA CON DISTRIBUCIÓN EXPONENCIAL. LOS ATERRIZAJES TIENEN PRIORIDAD SOBRE LOS DESPEGUES. EL TIEMPO DE PERMANENCIA DE LOS AVIONES EN LA TERMINAL TIENE DISTRIBUCIÓN NORMAL DE MEDIA 3 HORAS Y DESVIACIÓN ESTANDAR 0,5 HORAS. LA TERMINAL TIENE ESPACIO PARA 30 APARATOS Y EN LAS PISTAS DE CARRETEO PUEDEN HABER OTROS 20 CUANDO MÁS ESPERANDO SE LES ASIGNE LUGAR.



	SIMULATE		
1	FUNCTION	RN1, C24	DISTRIBUCIÓN EXPONENCIAL
			0.0.0.0/D.1.0.105/O.2.0.223/O.3.0.357/O.4.0.511/O.5.0.693
			0.6.0.916/O.7.1.204/O.75.1.336/O.8.1.609/O.42.1.833/O.86.2.120
			0.9.2.303/O.92.2.526/O.94.2314/O.95.2.995/O.96.3.219/O.97.3.507
			0.98.3.912/O.99.4.605/O.995.5.298/O.998.6.215/O.997.6908/O.9997.8.112
2	VARIABLE	RN1-RN1-RN1-RN1-RN1-RN1-RN1-RN1-RN1-RN1-RN1-RN1-6	
1	VARIABLE	1800-300-V2	DISTRIBUCIÓN NORMAL
1	STORAGE	2	
2	STORAGE	30	
LLEGA	GENERATE	15.FN1...1	GENERA LLEGADAS CON PRIORIDAD 1
	TEST LE	X1.5.FUERA	INVESTIGA COLA EN EL AIRE
	GATE LR	1.FUERA	INVESTIGA SI AEROPUERTO CERRADO
	TRANSFER	0.75.AVP.AVG	DEFINE TAMAÑO DEL AVION
AVP	ASSIGN	1.200	DEFINE MEDIA AVION PEQUEÑO
	TRANSFER	.SIGUE	
AVG	ASSIGN	1.300	DEFINE MEDIA AVION GRANDE
SIGUE	ASSIGN	2.1	DEFINE QUE ES AVION DE LLEGADA
	SAVEVALUE	1+.1	INCREMENTA TAMAÑO COLA AIRE

PISTA	QUEUE	1	SE FORMA AVION COLA PARA PISTA
	ENTER	1.1	LE ASIGNAN PISTA
	DEPART	1	SALE DE LA COLA
	ADVANCE	P1.FN1	TIEMPO DE USO DE PISTA
	LEAVE	1.1	SALE DE LA PISTA
	TEST E	P2.1.FUERA	PRUEBA SI ES DESPEGUE
	TEST GE	Q2.20.TERM	PRUEBA COLA TERMINAL
	LOGIC S	1	CIERRA AEROPUERTO
TERM	SAVEVALUE	1-.1	REDUCE TAMAÑO COLA
	QUEUE	2	FORMA AVION COLA TERMINAL
	ENTER	2.1	LE ASIGNAN TERMINAL
	DEPART	2	SALE DE LA COLA
	ADVANCE	V1	TIEMPO EN TERMINAL
	LEAVE	2.1	SALE DE LA TERMINAL
	PRIORITY	0	SE BAJA LA PRIORIDAD
	ASSIGN	2.2	DEFINE QUE ES AVION DE SALIDA
	TRANSFER	.PISTA	A FORMAR COLA
FUERA	TEST GE	Q2.20.OTRO	PRUEBA COLA TERMINAL
	LOGIC R	1	ABRE AEROPUERTO
OTRO	TERMINATE	1	ELIMINA 1 AVION
	START	200	SIMULA 200 LLEGADAS
	END		



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

LA INVESTIGACION DE OPERACIONES COMO HERRAMIENTA
DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

Dr. José Miguel Cobián

NOVIEMBRE, 1981

LA INVESTIGACION DE OPERACIONES COMO HERRAMIENTA DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

Dr. José Miguel Cobián
División de Estudios de Posgrado
Facultad de Ingeniería
UNAM
Octubre de 1981.

1. Introducción - El Concepto y Función de la Ingeniería de Sistemas.

La mayoría de los inventos y creaciones tecnológicas modernas, aunque siempre originados por individuos, tienden a ser producidos crecientemente en un ambiente corporativo (Sistema Bell, IBM, empresas japonesas, etc.). Creadores individuales, trabajando aisladamente, como Edison, Diesel y otros, se vuelven hoy en día cada vez más improbables, al aumentar la complejidad tecnológica de los productos y al adquirir éstos cada vez más el aspecto de verdaderos sistemas (automóviles, computadoras, etc.). Es prácticamente imposible que un solo individuo conjugué los conocimientos y recursos necesarios para conceptualizar, diseñar, producir y comercializar exitosamente los complejos productos y sistemas de la sociedad moderna.

Es necesario que el desarrollo de estos productos se haga en un ambiente que M. J. Kelly de The Bell Telephone Laboratories ha denominado de "tecnología creativa organizada" (3). Para entender el papel que juega la función de ingeniería de sistemas en este ambiente de tecnología creativa organizada es necesario analizar las diferentes fases o procesos de que esta última está compuesta:

(a) Investigación Básica: Es la aplicación del método científico al desarrollo de nuevos conocimientos, principios y materiales, teniendo como objetivo principal el desarrollo de conocimientos por el valor que tienen en sí mismos, sin visualizar una

aplicación concreta particular para ellos. (Ejemplo: estudios sobre la física de plasmas).

(b) Investigación Aplicada (Desarrollo Fundamental o Laboratorio): El énfasis es ahora en el desarrollo de conocimientos, principios y materiales para resolver problemas específicos relacionados con el desarrollo de una aplicación particular, como nuevos productos, sistemas o servicios. (Ejemplo: estudios sobre el confinamiento magnético de plasmas para la producción de energía por termofusión nuclear).

(c) Ingeniería de Sistemas: Con el acervo de conocimientos adquiridos en las dos fases anteriores, la función de ingeniería de sistemas es la de planear y participar en la acción de proyectos y programas de proyectos orientados a aplicaciones específicas. La ingeniería de sistemas considera las necesidades de los usuarios últimos de los productos o sistemas a desarrollar y determina cual es la mejor forma de satisfacerlas en vista de los conocimientos acumulados existentes. La ingeniería de sistemas opera por lo tanto en el espacio entre la investigación y la industria y tiene que conjugar las actitudes e intereses de ambas. (Figura 1). Finalmente, la ingeniería de sistemas selecciona los objetivos operativos, de efectividad y económicos para aquellos proyectos que selecciona como los más adecuados para emprender.

(e) Manufactura y Comercialización: Incluye el diseño, operación y coordinación de los procesos y recursos materiales y humanos para la más adecuada producción y distribución de los productos hasta sus últimos usuarios. La función de ingeniería de sistemas no tiene en estas fases otro papel que el de recabar información tendiente a mejorar los diseños planteados que puedan facilitar su producción y aumentar su funcionalidad y aceptación entre sus usuarios. Con la retroalimentación a la fase de investigación aplicada de sugerencias de cambios en los productos o sistemas en base a la experiencia obtenida de su realización y aplicación, la función de ingeniería de sistemas cierra así el

ciclo continuado de vida evolutiva que se manifiesta en la mayoría de los productos y sistemas modernos.

2. Características Estructurales de la Función de Ingeniería de Sistemas - El Proceso Operativo de Ingeniería de Sistemas(2).

De todas las formas posibles de definir y explicar la función de ingeniería de sistemas, quizás la más apropiada y explícita, y la que está sujeta a una menor controversia, es la de expresar su proceso operativo, el cual describe las diferentes fases de trabajo, desde la formulación de un programa de proyectos hasta la terminación de un proyecto específico:

Fase I - Análisis de Sistemas (Estudios Generales de Sistemas o Planeación de Programas)

En esta fase se investiga un amplio rango de factores ambientales relevantes, teniendo en consideración todos los posibles proyectos, tanto presentes como futuros. Se persiguen básicamente dos objetivos:

Ayudar a la dirección en la definición del programa total de trabajo a realizarse para el cumplimiento de los objetivos planteados. Que proyectos comprenderán los programas y como se asignarán recursos entre ellos. Definición de las especificaciones y objetivos de cada uno de los proyectos que componen los programas. La asignación de recursos deberá hacerse en forma dinámica, con la posibilidad de poder cambiar el esfuerzo asignado a un proyecto específico en un momento dado en vista de sus resultados.

Desarrollar una infraestructura suficiente de información relevante que permita la planeación de proyectos específicos (tecnología a usar, restricciones ambientales, etc.) de tal forma que éstos se puedan emprender posteriormente con el ámbito y profundidad apropiados.

Fase II - Planeación Preliminar (Planeación de Proyectos I)

Esta fase se distingue de la anterior en que ahora el interés se

centra en un proyecto específico, o problema o área de necesidad. Los proyectos en esta fase pueden ser una consecuencia de los estudios de sistemas de la fase anterior o pueden iniciarse aquí, si las necesidades y requerimientos ya se conocen claramente. Existen seis funciones interrelacionadas en esta fase, sin una secuencia obligada de tiempo y que corresponden al proceso generalizado de solución de problemas en cualquier área:

- Definición de problemas
- Selección de objetivos (definición y análisis de alternativas, criterios de optimización)
- Síntesis de sistemas (diseño de sistemas alternos que satisfagan los objetivos)
- Análisis de sistemas (costo, calidad, operatividad, etc.)
- Selección de sistemas (consideración del menor número posible que amerite estudios adicionales)
- Comunicación de resultados

Fase III - Planeación de Desarrollo (Planeación de Proyectos II)

Esta fase es básicamente una reiteración de la anterior, excepto que esta vez es sobre las alternativas seleccionadas y con un mayor grado de detalle. La fase se inicia una vez que se toma la decisión de llevar a cabo un proyecto de desarrollo.

Fase IV - Estudios de Soporte a Desarrollo (Fase de Acción I)

La función de ingeniería de sistemas es aquí la de proporcionar requerimientos más detallados, evaluar y apoyar las actividades de desarrollo. En esta fase normalmente interviene una gran cantidad de personas, por lo que es esencial el contar con una coordinación adecuada. Se deberán desarrollar procedimientos dependientes de cada proyecto para asegurar un flujo adecuado de información entre los diferentes grupos de ingeniería de sistemas, los grupos de ingeniería de desarrollo, el fabricante y el usuario o sus representantes técnicos.

Fase V - Ingeniería Continuada (Fase de Acción II)

Para esta fase se inicia cuando se terminan los trabajos de desarrollo y continúa durante toda la vida del producto o sistema. Las funciones de ingeniería de sistemas en esta última fase son las de seguimiento y retroalimentación para planear y desarrollar mejores sistemas en el futuro.

El proceso operativo completo de la ingeniería de sistemas involucra un rango considerable de actividades, esfuerzos y tiempo, que puede ir desde algunos meses, en el caso de sistemas de información o productos relativamente sencillos, hasta varias decenas de años, como en el desarrollo del avión de transporte supersónico de pasajeros anglofrancés Concorde (1956-1976), el Space Shuttle de la NASA (11 años), o como en el caso del desarrollo de reactores de termofusión nuclear, con más de 20 años de trabajos y aún en la Fase II esencialmente.

3. Objetivos de la Ingeniería de Sistemas [2].

- (a) Proporcionar información para guiar y controlar el desarrollo.
- (b) Formulación de objetivos y planes a largo plazo como marco de referencia para los distintos proyectos.
- (c) Coordinación y optimización de los recursos disponibles.
- (d) Desarrollo de objetivos y planes para los proyectos individuales, congruentes con los globales y de largo plazo.
- (e) Conocimiento de las necesidades presentes y futuras de los usuarios.
- (f) Estar al día en lo último en ideas, principios, métodos y tecnología.
- (g) Llevar a cabo el proceso de ingeniería de sistemas en la forma más eficiente y efectiva posible.

4. Comparación de la Ingeniería de Sistemas con la Investigación de Operaciones.

La investigación de operaciones (IO) es la aplicación del método científico a la solución de problemas, generalmente de tipo operativo y corporativo, aunque últimamente esta definición se ha expandido hasta incorporar posiblemente el diseño de la empresa y de sus sistemas componentes (1). Normalmente, la IO considera sistemas ya existentes, su operación y problemas inherentes. El objetivo usual de la IO es la optimización de estas operaciones.

En contraste, la ingeniería de sistemas (IS) enfatiza la planeación y el control del diseño de nuevos sistemas, para mejor realizar operaciones existentes o desarrollar nuevas funciones, operaciones o servicios nunca antes realizados.

La IO nació dentro de organizaciones operativas (fuerzas armadas inglesas y americanas durante la Segunda Guerra Mundial). En contraste, la IS se desarrolló en los grupos de investigación y desarrollo de algunas grandes corporaciones europeas y americanas (principalmente en las industrias telefónica, aérea y electrónica).

Las similitudes entre la IO y la IS saltan a la vista, ya que ambas utilizan prácticamente la misma metodología y herramientas (matemáticas, probabilidad y estadística, economía, psicología, etc.). Las diferencias están más bien no en lo que cada una hace, sino en para qué lo hacen.

En el curso de su desarrollo, la IO y la IS han intercambiado herramientas, como es el caso de la teoría de tráfico y líneas de espera (IS a la IO), originalmente desarrollada para los sistemas de comunicaciones europeos y americanos. Similarmente, la IO ha aportado a la IS herramientas como PERT, teoría de gráficas, programación matemática y teoría de decisiones.

Posiblemente en un futuro no muy lejano, la IS, IO, informática, cibernética y diseño de ingeniería sean englobadas por una "ciencia general de sistemas".

5. Características Esenciales de la Investigación de Operaciones.

Según Churchman y Ackoff [1], la IO trata de obtener un entendimiento global sobre políticas óptimas en problemas de tipo "ejecutivo" en organizaciones (problemas donde intervienen objetivos conflictivos de diferentes componentes de las mismas). La IO se puede caracterizar como la aplicación de métodos y técnicas científicas a problemas relativos a operaciones de sistemas, proporcionando a aquellos en control de estas operaciones con soluciones óptimas a estos problemas.

El método de enfoque a problemas de la IO es el siguiente:

- (a) Formulación o definición del problema.
- (b) Construcción de un modelo o idealización del mismo.
- (c) Solución del modelo.
- (d) Verificación de la solución contra la realidad.
- (e) Implantación de la solución.

Es interesante comparar el proceso de ingeniería de sistemas como se describe en el punto 2 con la metodología anterior. El enfoque de la IO es general y se aplica a cualquier tipo de problemas y en particular a los que se presentan en las distintas fases del proceso operativo de la IS. Pero antes de estudiar la forma en que la IO puede auxiliar a la IS, conviene enumerar brevemente las áreas disciplinarias internas de la IO que se han desarrollado como cuerpos teóricos a partir de los esfuerzos realizados por investigadores de operaciones en el transcurso de los años al estudiar problemas y procesos con características comunes.

HERRAMIENTAS PRINCIPALES DE PROBLEMAS O PROCESOS ESTUDIADOS POR LA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES:

PROBLEMA	HERRAMIENTA
inventarios (acumulación de recursos escasos en situaciones de incertidumbre)	Teoría de Inventarios
Espera (diseño de servicios, balanceo de líneas de ensamble, secuenciación de tareas o máquinas, etc.)	Teoría de Líneas de Espera
Asignación de Recursos (programación de inversiones, expansión de capacidad productiva, organización, etc.)	Teoría de Optimización
Mantenimiento y Reemplazo (de tercio paulatino, falla total, obsolescencia)	Teoría de Confiabilidad
Competencia (estrategias discretas o continuas, licitación)	Teoría de Juegos
Decisión, Evaluación o Búsqueda de acción bajo incertidumbre y criterios conflictivos, evaluación de proyectos, almacenamiento y recuperación de información, auditorías, prospección, etc.)	Teoría de Valor (Utilidad) y Decisiones

Habría que añadir a las herramientas anteriores de la IO la simulación digital, que sería un complemento de ellas para el análisis de situaciones complejas en forma de experimentación estadística cuando no existen herramientas analíticas adecuadas para resolverlas.

6. Participación de la Investigación de Operaciones en la Función de Ingeniería de Sistemas.

Las posibilidades de aportación de la IO a la función de IS

son múltiples y se pueden ver mejor en el contexto del proceso operativo de la IS descrito arriba:

Fase I -

En esta fase inicial de la función de IS se pueden distinguir las siguientes tres actividades principales, conjuntamente con la participación que la IO podría tener en cada una de ellas:

- (i) Definición del programa total de investigación a realizar y desglose del mismo en sus proyectos específicos componentes. Definición de las especificaciones y objetivos de estos últimos.

La IO ayudaría concretamente a la IS en las siguientes áreas de esta actividad: Análisis costo-beneficio y evaluación de los proyectos componentes (teoría de valor y decisiones). Estructuración y secuenciación de los proyectos en sus actividades principales: PERT, ruta crítica, programación dinámica, etc. (teoría de redes y optimización).

- (ii) Asignación dinámica en el tiempo de los recursos disponibles entre los diferentes proyectos definidos.

Programación matemática y programación dinámica (teoría de optimización).

- (iii) Desarrollo de la infraestructura necesaria y suficiente de información relevante.

Búsqueda y almacenamiento de información (teorías de búsqueda y decisiones).

Fases II y III -

En estas dos fases se utilizarían esencialmente las mismas herramientas de la IO que en la fase anterior, sólo que ahora a nivel de los proyectos específicos, en lugar de su conjunto.

(Fase II: evaluación preliminar de los proyectos; Fase III: diseño detallado de los proyectos seleccionados para su desarrollo).

Fase IV -

El papel que tendría la IO en esta fase de IS de soporte a desarrollo y manufactura sería principalmente en la estructuración y solución de problemas específicos en áreas tales como: diseño óptimo de ingeniería (programación geométrica, por ejemplo); diseño y selección de procesos de manufactura (teorías de líneas de espera, decisiones e inventarios); secuenciación de procesos de manufactura (teorías de líneas de espera y optimización); asignación de recursos: p. ej., personal y equipos a tareas específicas (teoría de optimización); programación de inversiones y expansión de capacidad de planta (teoría de optimización), etc. La IS con su visión de conjunto de los programas y proyectos componentes definiría los problemas específicos en esta etapa y coordinaría la utilización de los recursos disponibles para su solución adecuada.

Fase V -

En esta última fase del proceso operativo de la IS, la IO participaría fundamentalmente en las siguientes actividades:

1. Optimización del diseño original del producto o sistema en base a la experiencia obtenida en su operación.

Evaluación de sus características de funcionalidad y confiabilidad operativas (teoría de confiabilidad, mantenimiento y reemplazo); modificación de los objetivos originales para los que fue diseñado el producto o sistema (teorías de decisiones y optimización), etc.

2. Optimización correspondiente de los procesos de manufactura y distribución desarrollados inicialmente.

Aquí entrarían fundamentalmente todas las herramientas de la IO, ya que ésta es su área tradicional de aplicación.

Finalmente, la simulación digital serviría como un complemento y soporte para el análisis y solución de aquellos problemas específicos en las cinco fases de la IS que sean especialmente difíciles de formular y de resolver analíticamente con las herramientas y técnicas existentes.

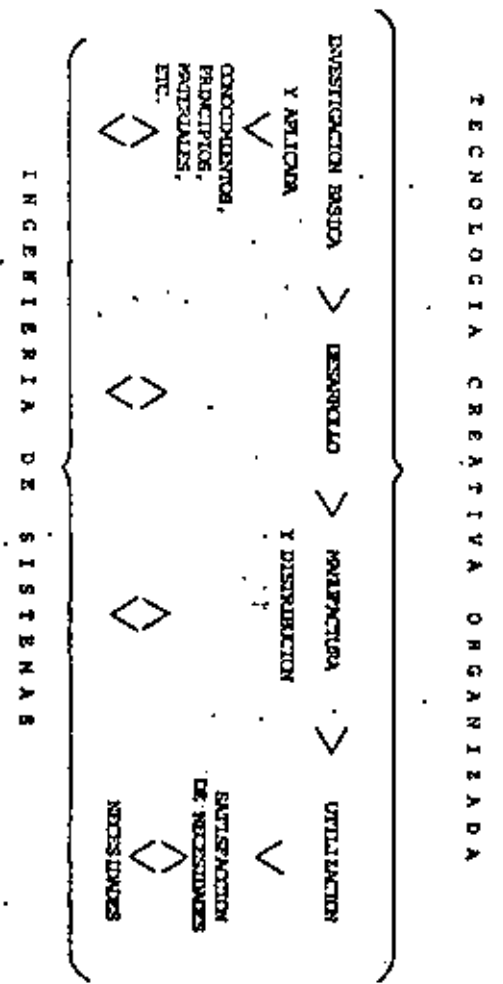


FIGURA 1

REFERENCIAS

- (1) C.W. Churchman, R.L. Ackoff, E.L. Arnoff, Introduction to Operations Research, Wiley, 1957.
- (2) A.D. Hall, A Methodology for Systems Engineering, Van Nostrand, 1962.
- (3) M.J. Kelly, "The Bell Telephone Laboratories - An Example of an Institute of Creative Technology", Proc. Roy. Soc. Lond., A203, 1950, pp. 287-301.
- (4) E. de Neufville, J.H. Stafford, Systems Analysis for Engineers and Managers, McGraw-Hill, 1971.

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE INGENIERIA DE
SISTEMAS

PROGRAMACION LINEAL

DR. J. JESUS ACOSTA FLORES.

12 noviembre, 1981.



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

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

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

INTRODUCCION A PROGRAMACION MATEMATICA

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

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

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

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

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



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

FORMULACION DE PROGRAMACION LINEAL

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

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

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

separable cuando los rendimientos de escala son decrecientes.

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

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

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

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

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

-vehículos en una cuadrilla de transporte, terminales o alba



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

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

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

Maximizar

$$Z = 11 X_1 + 4 X_2$$

sujeto a las restricciones

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

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

con las restricciones de no negatividad.

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

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

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

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

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

Un vector de capacidades de avión:

$$C = (11, 4)$$

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

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

Una matriz de restricciones de utilización:

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

El problema de maximización se establece entonces como.

Maximizar $Z = CX$.

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

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

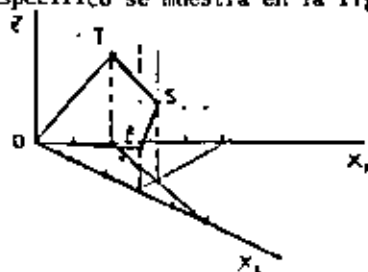
Representación gráfica. A fin de indicar cómo la programación lineal opera como un procedimiento de búsqueda de escalar una montaña, el ejemplo se dibujará en tres dimensiones. Esto tiene la ventaja de permitir una comprensión directa del



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

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

El ejemplo específico se muestra en la figura siguiente:



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

Las restricciones sobre el uso de los aviones están indicadas por las líneas $3 X_1 + 5 X_2 = 15$
 $5 X_1 + 2 X_2 = 10$

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

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

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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVANZA

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

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

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

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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AGRARIA

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

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

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

BIBLIOGRAFIA:

- De Neufville and Stafford. "Systems Analysis for Managers and Engineers". Mc. Graw Hill, 1971.
- Jauffred, Moreno y Acosta "Técnicas de Optimización: Programación Lineal, Gráficas" Rep. y Serv. de Ingeniería, 1971.



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

ASIGNACION SISTEMATICA DE RECURSOS HUMANOS
CON AYUDA DE COMPUTADORA DIGITAL

Ing. Marco A. Murray Lasso

NOVIEMBRE, 1981

MÉTODOS Y TÉCNICAS INTUITIVOS PARA LA ESTIMULACION DE LA CREATIVIDAD

Margarita Morales
Facultad de Filosofía
y Letras
UNAM, México

I ASPECTOS GENERALES

Los métodos y técnicas intuitivos han surgido de la idea de que el hombre posee la capacidad de ser creativo y que dicho aspecto puede ser desarrollado.

En EUA, aproximadamente en 1930, fueron empleados con propósitos inmediatos, pues a partir de la generación de ideas se podía llegar a un producto novedoso, aspecto importante para las grandes empresas industriales como la General Electric.

Posteriormente, por el interés que ha producido el estudio de la creatividad y cómo desarrollarla, han emanado, con diversos enfoques, una serie de métodos y técnicas que, a través de la generación de ideas, pretenden llegar a este fin. Entre los estudiosos que han elaborado métodos y técnicas de estimulación de creatividad encontramos a Osborn, Gordon, E. de Bono, Kaufmann, Fustier y Drevet, Zuicky, y otros.

Como se puede ver por lo dicho hasta ahora, no podemos clasificar la creatividad, ni sabemos cómo el hombre genera sus ideas, pero es factible enunciar los métodos y técnicas que se han propuesto como estimulantes para generárlas de manera intencional (1). Especialmente nos dirigiremos a los métodos y técnicas que pretenden definir problemas o resolverlos.

En este aspecto, se ha realizado una clasificación general, propuesta por Kaufmann, Fustier y Drevet, quienes los dividen en intuitivos y analíticos.

En el presente trabajo nos abocamos únicamente a los primeros, que se fundamentan básicamente en la generación de ideas a través de la intuición, esto es, por la comprensión del problema, que se produce inicialmente de una forma totalmente ajena a los rigorismos lógicos (2), y que puede proporcionar ideas creativas como posibles soluciones al problema.

II DIFERENCIACION ENTRE MÉTODOS Y TÉCNICAS INTUITIVOS

Como hemos mencionado ya, las técnicas y métodos intuitivos proceden de muy variados enfoques, y por tanto aún existe gran confusión en relación a su uso práctico; en algunos casos las llamadas técnicas, podrían ubicarse mejor como métodos; en otros ocurre exactamente lo contrario. Por tal motivo, se hace necesaria una diferenciación en este aspecto, para que en un momento dado se facilite su empleo, principalmente dentro de la pedagogía, enfoque específico que es de nuestro interés.

Es importante tomar en consideración que los métodos y técnicas, en muchos de los casos no han sido concluidos, es decir, que aún se continúa investigando, tanto como la intuición, mecanismo a través del cual funcionan. En otros casos la información sobre ellos es escasa. También reconocemos nuestras propias limitaciones para realizar una clasificación como la pretendida.

Para abordar el tema nos ubicaremos específicamente dentro de la didáctica, donde sabemos que aún existe polémica sobre lo que es un método o una técnica. Por considerarlo esclarecedor, en este aspecto tomaremos los elementos tratados por Ibarra (3). En tal sentido, plantea que un método "...es el camino para llegar a un fin". Es "...la manera de decir o hacer con orden una cosa" (4).

Las técnicas se refieren "...al conjunto de orientaciones, procedimientos y formas de que se sirve una ciencia o un arte, y la habilidad para usarlos". Son el "...modo característico de lograr un fin determinado mediante una actividad manual, corporal o de otra índole; son medios especiales de conseguir datos, o de trabajar en algún problema..." (5).

Sabemos que existen diferentes tipos de métodos y técnicas. Los que describiremos posteriormente son de tipo heurístico, pues es el descubrimiento, el aspecto central de la atención del individuo en la búsqueda del conocimiento. Aquí su actividad se emplea como medio para obtener la información (6).

Con este método, la heurística moderna trata de comprender los procesos que conducen a resolver problemas, en particular las operaciones mentales típicamente útiles para tal fin, sin descuidar los aspectos lógicos ni los psicológicos (7).

La caracterización que realizaremos para métodos y técnicas que pretenden llegar a generar ideas creativas, a través de la intuición y de un proceso heurístico, obedece a las ideas hasta aquí expresadas.

Consideraremos como método, el camino, o sea las operaciones mentales, en cuanto aspecto psicológico y lógico, para llegar a un fin. En este caso la definición y la solución creativa de problemas, tema que trataremos posteriormente enfocado hacia la educación.

Como técnica, consideraremos la serie de operaciones y procedimientos prácticos que se emplean para llegar a ese fin.

Finalmente, es importante señalar que los elementos con que contamos para dicha caracterización son frecuentemente incompletos y, por lo tanto, nuestras pretensiones son modestas.

III DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS INTUITIVOS

1. SUPERPOSICIONES

Este método se basa en la suposición de que el descubrimiento es una "bisociación", esto es, que un fenómeno, una idea, un concepto, o una técnica, se superponen a otra, de tal manera, que de su combinación surge una idea, concepto, o técnica nueva.

Al respecto es posible hacer mención a la idea de Köhler sobre que "los momentos más felices de la historia de los conocimientos se producen cuando hechos que no habían sido hasta entonces más que datos particulares, se ponen en relación con otros hechos aparentemente alejados y aparecen de este modo con una nueva perspectiva" (8).

En relación a la bisociación, se podría realizar una analogía con el fenómeno de la reproducción bisexual, donde la superposición de dos seres con caracteres hereditarios diferentes, da origen a individuos nuevos y con caracteres originales.

Para Poincaré, el descubrimiento por bisociación, revela tres características paradójicas: el desorden, el azar y

la abundancia. "pues es necesario tener abundancia de ideas alojadas en el espíritu", que sean diversas y desordenadas para que de esta manera haya mayor posibilidad de realizar combinaciones originales. Es de tomarse en cuenta que el surgimiento de una combinación de este tipo, conlleva, desperdicio de ideas.

2. TRITURACIÓN

Este método plantea que para llevar a productos o soluciones creativas es necesaria la "destrucción o trituración" de los objetos o conceptos dados, o mejor dicho, es necesario destruir las ideas que se tienen de ellos y de sus funciones para analizarlas, pues retomando la teoría de la Gestalt, observamos existe una tendencia de la mente a percibir, organizar e integrar situaciones como estructuras totales en las que se presenta una "fijación" sobre lo que es el objeto y para qué sirve, y por ser tan cotidianamente visto no se cuestiona cuál sería su utilidad o aplicación de otra forma. Sin embargo, a partir de modificaciones mentales que se realizan sobre las ideas de los objetos, o sea una trituración, surge, por intuición inmediata, otra idea que se podrá considerar como mejor o nueva.

En el aspecto práctico, se ha visto, que la trituración de ideas es de gran fecundidad para perfeccionar o adaptar un objeto dado.

3. MARCHA ASOCIATIVA

Este método consiste en la asociación de ideas. Es ampliamente debatido y encontramos diversos planteamientos como por ejemplo el de Freud, quien propone que ninguna relación entre las ideas que se asocian es casual y que obedece a elaboraciones del inconsciente del individuo. Por tanto dicha relación no siempre es clara.

Por otra parte encontramos a Abraham Moles, estudioso de la creatividad, quien propone que las asociaciones de ideas obedecen a una verdadera lógica con que operan los mecanismos

mentales. Los que menciona son: el contraste, la similitud, la dependencia, la clasificación, la asonancia y la predicación.

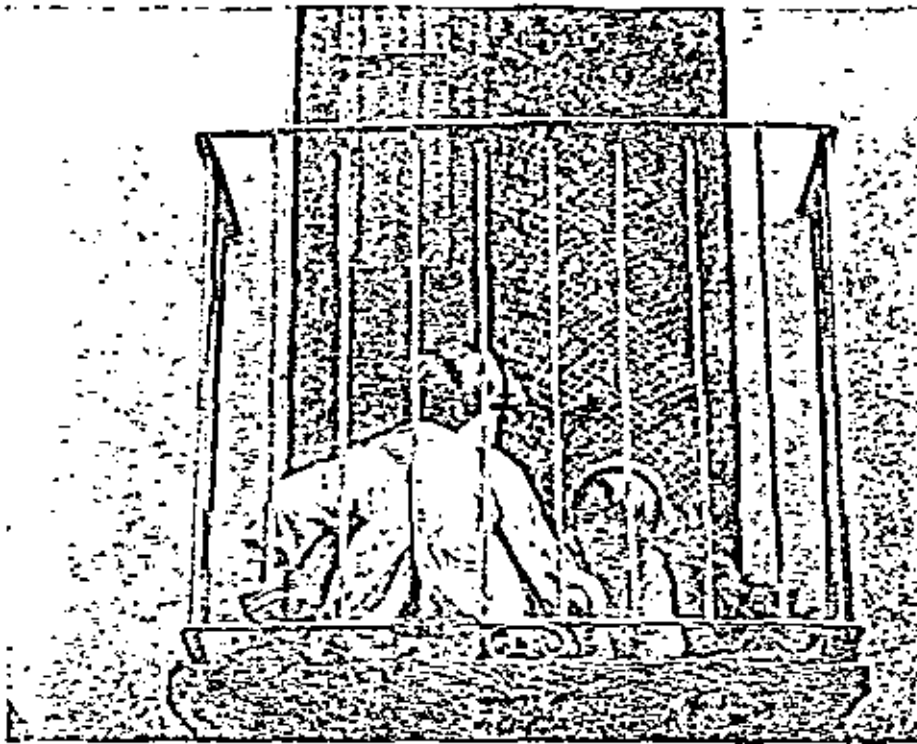
En relación a este punto, se plantea la cuestión de por qué, si aparentemente asociar es tan fácil, como en la práctica la fluidez de asociaciones en el aspecto de creatividad es tan baja. La respuesta que propone Jaoui, es que ello se debe a la educación, pues generalmente se enseña a realizar una actividad de juicio convergente en tanto que la producción libre requiere de una producción divergente.

4. ANALÓGICO

Este método propone que mediante la realización de analogías, se puede llegar a la producción creativa, esto es, que a partir de la evocación de objetos sugeridos por el propio objeto de estudio, se realicen analogías para observar, de qué manera los objetos auxiliares pueden contribuir a perfeccionar al primero.

De acuerdo con lo anterior la analogía es una semejanza, una relación entre dos o más cosas que presentan cierta comunidad de caracteres. En relación a la lógica, el razonamiento analógico consiste en extraer una conclusión particular de hechos particulares, y existen aún grandes controversias entre racionalistas lógicos y psicólogos. Aquí Kaufmann considera a la lógica y la analogía como dos tiempos del descubrimiento, pues por una parte, la lógica organiza lo conocido, lo lleva a no salir de lo idéntico; por otra, para llegar a lo diferente, es necesario realizar otro camino, el del trabajo analógico, e irracional. Podemos ver que para el trabajo del descubrimiento son complementarios, pues de las imágenes originadas por la analogía se pasa a un aspecto concreto y de definición.

En el aspecto práctico, Kaufmann, sostiene que este método es especialmente útil para la creación de objetos, físicamente nuevos, para la comprensión de los fenómenos de la naturaleza,



y para el estudio de los objetos morales o sociales.

5. IDENTIFICACIÓN CON EL OBJETO.

Este método, plantea que el descubrimiento estriba no solo en el efectuar un razonamiento lógico, sino que también es necesario el identificarse con el objeto mismo, pero no en relación a aspectos morales o psicológicos, se refiere a otro tipo de identificación de aspectos e instrumentos más concretos, realizados a través de una analogía vivida física y muscularmente para experimentar las relaciones que tendría el objeto del que se trata. Así el cuerpo mismo sería el instrumento.

Lo anterior, lo justifica Kaufmann mediante la problemática de la Caja Negra, pues plantea que es difícil llegar a la solución de un problema al no conocer su proceso interno. Es por esta razón que mediante la identificación con el objeto, lo que se pretende es adentrarse en él para observar las transformaciones que se producirían y así llegar a la solución.

6. MARCHA DEL SUEÑO

En la actualidad, se le ha comenzado importancia al dominio del inconsciente y preconsciente del indivi-

duo dentro de los procesos de invención. Debido al psicoanálisis se propone que existen pulsiones depositadas en la instancia inconsciente, que son censuradas y no pueden emerger al exterior como tales, sino que surgen indirectamente a través de transformaciones denominadas sublimación de pulsiones que son aceptadas socialmente como por ejemplo la expresión artística.

Como se ha mencionado anteriormente, otro mecanismo que entra en juego y que es de gran importancia es "el sueño" o proceso onírico, ya que a través de él, surge lo que sería una heurística inconsciente que anticipa las soluciones o las ideas a la conciencia.

IV DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS INTUITIVAS

1. BRAINSTORMING (Tormenta Cerebral) CREADA POR OSBORN

Es quizá la más conocida de las técnicas para la generación de ideas. Se emplea para producir ideas de una manera intencional.

Frecuentemente es usada por grupos, pero también puede ser empleada individualmente. Su objetivo es generar gran número de ideas, como posibles alternativas de respuesta a un problema.

REALIZACIÓN:

Durante los primeros cinco minutos de una sesión de aproximadamente una hora, se deben dar la mayor cantidad de ideas que sea posible. Estas ideas no deben ser criticadas, analizadas o evaluadas, únicamente es necesario anotarlas para que en un segundo momento puedan ser sometidas a un análisis crítico, y obtener la solución más adecuada al problema planteado.

Se aconseja, que para el mejor desarrollo de la sesión, primero se debe definir y delimitar el problema, para que los integrantes del grupo se familiaricen con él.

También es importante tomar en cuenta que el grupo, para llegar al objetivo requiera un tiempo de maduración.

2. TORMENTA CEREBRAL INVERSA

Esta técnica puede emplearse como una fase preparatoria para una sesión de tormenta cerebral, o en conjunción con otras técnicas. Consiste en sesiones de grupo con una inicial de crítica. Esta técnica en ocasiones es necesaria para llevar al individuo a una situación de generación de ideas "gancho" y entonces obtener nuevos puntos de vista que aparentemente se encontraban alejados de la situación actual.

REALIZACIÓN:

Esta técnica se efectúa mediante la elaboración de una lista de "objetos" en relación con la operación, proceso, sistema o producto tratado, para posteriormente tomar cada uno de ellos y sugerir caminos para llevarlo a cabo, implementarlo o corregirlo.

3. SYNECTICA

Es una técnica que ha sido desarrollada y modificada por Gordon, Price y otros. En este caso las soluciones creativas a problemas específicos son elaboradas a través de un proceso de dos estadios. En el primero de ellos los participantes, conscientemente, invierten el orden de las cosas, en el sentido de hacer a lo extraño, familiar a través de análisis y generalización.

En el segundo estadio, lo familiar

se vuelve extraño a través de analogías personales, analogías directas, analogías simbólicas y analogías fantasiosas.

La sesión de *synéctica* es una dinámica en donde lo racional u obvio es abandonado y se le concede mayor importancia a lo irrelevante o bizarro.

Esta técnica, consta de tres fases:

Primera.- Purga. Se plantea el problema y los integrantes proporcionan todas las ideas que les vienen a la cabeza en relación a él.

—Determinación de propósitos. Se hace una lista de las cuestiones que surjan en relación al problema, desembocando en una serie de sub-problemas.

—Selección de uno de los fines determinados. El grupo enfoca toda su atención a uno de los subproblemas, tratando de olvidar el problema inicial.

Segunda.- Excursión dentro del campo de lo imaginario. El sub-problema es estudiado, ubicándolo dentro de diferentes áreas, biología, mitología, etc. El coordinador puede pedir a algunos miembros del grupo que realicen una analogía personal.

—Título del libro.- A partir de los elementos reunidos del paso anterior, se trata de buscar un título que condense el problema.

Tercera.- Asociación forzada. Este es un paso muy difícil y consiste en emplear las analogías producidas para transformarlas en ideas que funcionen como soluciones. Se trata de ajustar lo imaginario a la realidad.

—Evaluación. Un experto en el tema evalúa las ideas obtenidas, desde diferentes aspectos (técnicos, económicos, etc.), establecidos de antemano.

Esta técnica, es una de las más acabadas en relación a generación de ideas creativas, sin embargo, presenta cierta rigidez que puede ocasionar desventajas.

4. METODO DE GORDON

Esta técnica es propia para generar nuevos puntos de vista en relación a un problema. Es usada para un grupo pequeño, cuyos integrantes desconocen

la naturaleza exacta del problema, esto es con el objeto de evitar préjuicios o soluciones precipitadas.

REALIZACION:

La sesión consiste en ofrecer al grupo un problema tangencial, y el coordinador de la sesión que es el único que sabe cuál es el problema, dirige la discusión hacia él, según su criterio, hasta localizar una buena solución o idea.

Se sugiere que para mejores resultados el grupo esté integrado por personas de diversas disciplinas y que no sean expertos.

Una limitación de esta técnica es en relación al coordinador, pues se requiere que posea habilidad para reconocer la posible solución durante la discusión.

5. METODO DE LA LISTA DE PREGUNTAS

REALIZACION:

Consiste en pedir al grupo que conteste una serie de preguntas preestablecidas, que sirven para analizar el problema y a la vez para poder llegar a su solución.

Algunos ejemplos de lista de preguntas serían:

—Osborn: ¿Cómo se puede modificar, maximizar, minimizar, substituir, reorganizar, invertir, combinar?

—Reise: ¿Cómo se puede hacer parecer a otro, animarlo, tomarlo literalmente, convertirlo en una parodia o imitación?

—Flesh: ¿Qué estoy tratando de conseguir?, ¿he hecho esto antes?, ¿cómo podría hacerlo de otra manera?, ¿qué tal si lo hago al revés?

Esta técnica, parece que funciona mejor para la aplicación a objetos y problemas familiares.

6. EL METODO DE LA LISTA DE ATRIBUTOS

Esta técnica es semejante a la lista de preguntas, solo que aquí, lo que se enlista son una serie de atributos, cualidades básicas, o propiedades de un objeto tangible. Entonces, cada elemento de esta lista es revisado con la idea de mejorarlo.

Esta técnica es valiosa porque permite dirigirse inmediatamente hacia el problema principal.

7. METODO DE BUFFALO

Esta técnica surgió en la Universidad de Buffalo, creada por S.J. Parnes y otros.

REALIZACION:

En esta técnica se realiza un acercamiento total al problema mediante cuatro fases: el hallazgo de los hechos, localización del problema, encontrar ideas como posibles soluciones, y hallar la solución.

La limitación de la técnica es su dependencia hacia el coordinador del grupo en relación a su habilidad de dirección.

8. ASOCIACION LIBRE

Consiste en estimular la imaginación con algún propósito constructivo. Su objetivo es producir nuevas combinaciones, ideas intangibles, diseños, nombres, etc.

REALIZACION:

El primer acercamiento es un indicio, un símbolo relativo a otro aspecto importante del problema que se considera. Entonces el primer indicio da origen a otro, esto es, que emergen, ideas como posibles soluciones a partir de su contrastación.

Esta técnica puede ser usada tanto individualmente como en grupos, con unas ideas como alimento de otras. Frecuentemente resultan ideas novedosas.

9. LIBRO COLECTIVO DE NOTAS

En esta técnica cada elemento del grupo, escribe diariamente en un cuaderno, sus pensamientos e ideas en relación al problema inicialmente planteado y especificado. Esta acción es realizada durante un período de un mes aproximadamente.

Cada miembro, resume entonces, las ideas que piensa sean las mejores para solucionar el problema.

Posteriormente, los cuadernos son

entregados al coordinador (que debe ser creativo y hábil en organizar y sintetizar el material), quien prepara el sumario. Este es discutido por todos los participantes, en una sesión final, en que otras técnicas como brainstorming, sinéctica, etc. pueden ser utilizadas.

Esta técnica también puede ser empleada de otra manera, revisando periódicamente el cuaderno de notas.

10. RELACIONES FORZADAS

Esta técnica, tiene esencialmente el mismo propósito que la "asociación libre", pero aquí las relaciones son logradas a través de cinco pasos: 1) aislar los elementos y formas posibles del problema, 2) encontrar las relaciones entre estos elementos y formas, 3) anotar las relaciones de una manera organizada, 4) analizar las anotaciones, encontrar nuevas ideas como solución al problema, 5) desarrollar las ideas.

Por la combinación de propiedades, ideas, o formas gramaticales, en ocasiones puede producirse el elemento creativo e inesperado de Koestler (Bisociación).

11. EL GRAN SUEÑO O EL ACERCAMIENTO INSPIRADO

Consiste en pedir al grupo que "piense en grande", es decir, pensar el sueño más grande en relación al problema, sin importar el aspecto de los recursos para efectuarlo. Posteriormente, hay una fase de sobriedad en donde son analizadas todas las posibilidades y aspectos relativos a la "gran idea" y se procede a tratar de "ingenierar el sueño en la realidad".

Su objetivo es hacer posible la mayor hazaña.

12. MÉTODO DE LAS MODIFICACIONES A UNA MATRIZ DE ATRIBUTOS DE SECUENCIA

Consiste en ordenar secuencialmente en relación a su aparición, a una serie de eventos, para formar una matriz en la que la otra dimensión sean verbos infinitivos, surgidos durante la discu-

sión. Los contenidos de la matriz son las modificaciones de los pasos secuenciales.

El grupo puede terminar con una matriz estable de atributos secuenciales infinitivos, con lo cual se resuelve el problema.

13. "MÉTODO" DE KEPNER TREGOE

Esta técnica es propia para encontrar y aislar problemas y después decidir qué hacer con ellos.

REALIZACIÓN:

En ella, se trata de dar respuesta a una serie de preguntas para definir el problema y distinguir sus causas de las que no lo son. Las preguntas son: qué, dónde, cuándo y extensión del problema.

14. ANÁLISIS DE VALORES

En esta técnica se trata de determinar qué valor o utilidad tiene "algo". Generalmente ha sido empleado en fun-

dificar algo, otros usos por modificación?

—Adaptar. ¿qué se parece a esto? ¿qué otras ideas sugiere? ¿nos ofrece analogías el pasado? ¿qué se podría copiar?.

—Modificar. ¿darle una nueva forma? ¿cambiar su utilización, su color, su movimiento, su sonido, su olor, su forma, su aspecto?.

—Agrandar. ¿qué se puede añadir?.

—Disminuir. ¿qué se le puede quitar?.

—Sustituir. ¿qué otros materiales, ingredientes, procedimientos, lugares, etc.?

—Arreglar. Intercambiar componentes, secuencias, aspecto, efecto, etc.

15. JUEGO CON LAS PALABRAS

Se trata esencialmente de triturar la palabra que designa al objeto. Se realiza una evocación de lo que significa la palabra. Con las respuestas dadas es posible obtener modificaciones innovadoras al objeto tratado. Por ejemplo, tenemos lo que según un estudio evoca la palabra "venta".

SIRVIENTA	VENTERO	PAVIMENTA	AVENTADO
ASPAVIENTO	LA VENDI POR QUE ERA MIA	ABUNDA	VIENTRE
DESVENTURADO	VENTAJISTA	ESTOY VENDIDO	VENTA DE BAÑOS
VENDAVAL	LAMENTA	AVENTAJAR	NOVENTA
SE VENDE PISO	ARRENDADO	INVENTARIO	VENDEDOR

ción de satisfactores. La determinación del valor del objeto o idea puede realizarse mediante algunas preguntas como: ¿qué es?, ¿qué puede hacer?, ¿cuánto cuesta?, ¿qué otras cosas podría hacer?. Estas preguntas tienden a hacer más lógico el problema.

15. TRITURACION

Esta técnica pretende quebrar o triturar el objeto o problema sobre el que versa nuestra búsqueda, aplicándole un conjunto de verbos que expresen un cambio.

Por ejemplo.

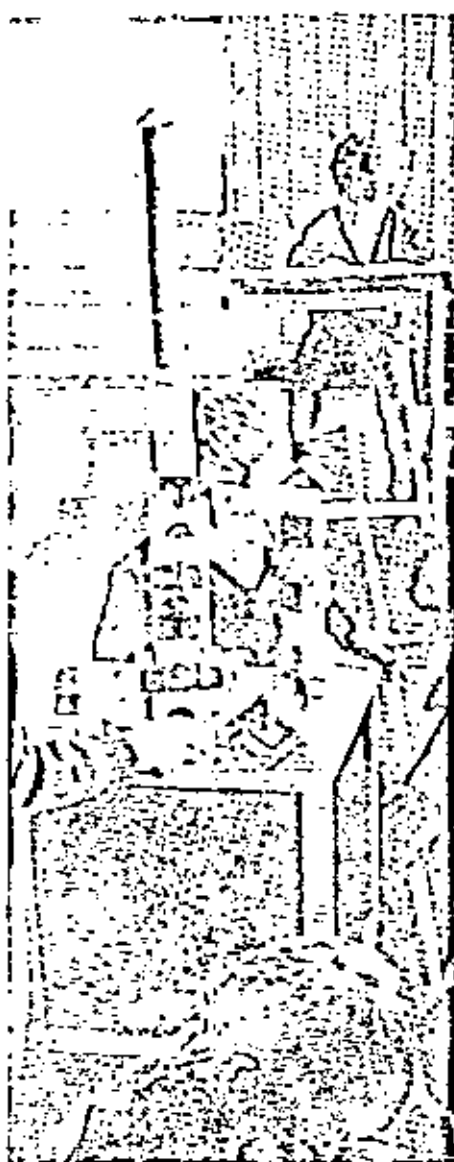
—¿qué otros usos, nuevos usos para mo-

17. SUPERPOSICIONES

Esta técnica está especialmente indicada para cuando se trata de perfeccionar un objeto determinado.

Habiendo sido fijado el objeto como punto de partida, se enumeran al azar toda una serie de objetos que no tienen relación directa con el objeto en cuestión. Una vez realizado esto, se trata de comparar al objeto principal con los de la lista para ver qué características de las segundas pueden ser incorporadas al objeto estudiado.

Algunos objetos no aportarán nada o algunas ideas no serán utilizables, pero esto es parte del juego.



En esta técnica se pueden observar tres fases: 1) elección de objetos que se puedan superponer, 2) operación de superposición, 3) búsqueda de la solución.

V. CONSIDERACIONES SOBRE EL EMPLEO DE LOS MÉTODOS Y TÉCNICAS INTUITIVOS

Generalmente son empleados en unión con otros métodos y técnicas de carácter más riguroso (como los analíticos). En casi todas ellas encontramos que existe una primera etapa de generación de ideas, y una segunda etapa crítica, donde se analizan las ideas generadas, para observar la posibilidad de que sean llevadas a cabo.

Otro aspecto que es importante mencionar, es el relativo al grupo, pues la mayoría de las técnicas se efectúan

de manera grupal. Se señala aquí, la preferencia de que el grupo sea pluridisciplinario, ya que así el fenómeno o problema se observa desde diversos panoramas y existe mayor variedad de ideas. Por otra parte se hace la observación de que el grupo requiere de un proceso de maduración para poder llegar a generar ideas eficaces y productivas, entre tanto, puede existir desperdicio de ellas.

Se dice que por encima de todo, lo que debe contar es la armonía psicológica de los grupos así constituidos, pues en un momento dado, vale más la pena un grupo formado por elementos sin conocimiento alguno del tema tratado, que por individuos especialistas, pero con yuxtaposición de caracteres, y que probablemente obstaculicen el trabajo.

El coordinador debe ser una persona hábil en el manejo del grupo, en contribuir a su maduración, y en la detección de las ideas creativas, cuando éstas se presentan, así como en conocer cuando el grupo ha llegado a su máxima capacidad de producción.

EDUCACION Y CREATIVIDAD

I PANORAMA DE LA CREATIVIDAD DENTRO DE LA EDUCACION

Una disciplina de las que más han aportado a la pedagogía es la psicología. En el caso de la creatividad, es la que hace posible la vinculación entre ésta y la pedagogía, pues es en ella donde surgió primero el interés por el estudio de la creatividad y la forma de generarla, desarrollarla, estimularla. En este afán se encontró que mediante la educación podrían lograrse estos objetivos. Es así como los estudiosos de la creatividad han incursionado dentro de la psicopedagogía.

En relación a esta última encontramos que existen algunas corrientes psicopedagógicas que dentro de sus fundamentos teóricos abordan el tema de la creatividad. Los estudios en específico en relación a la creatividad, dentro de

ellas son escasos, en su mayoría versan sobre implicaciones teóricas, y generalmente se trata de trabajos efectuados por estudiosos de la creatividad, y no por seguidores de las corrientes.

Las corrientes psicopedagógicas en las que encontramos desarrolladas ideas importantes sobre la creatividad, y algún tipo de estudio, son principalmente la "conductista", la del "tanteo experimental" de Freinet, y la "cognoscitivista" con Jerome Bruner y Jean Piaget.

En relación a la corriente conductista, encontramos que la creatividad es una conducta aprendida, lo cual se concluye de un estudio realizado en la Universidad de California, en donde Irving Maltzman y colaboradores, corroboran la hipótesis de que "...la originalidad es una forma de comportamiento aprendida que, en principio no difiere de otras formas de comportamiento operante" (2). Fundamentándose en esto, se han multiplicado en la Universidad de Buffalo, cursos de solución creativa de problemas, dedicados a estudiantes de diversas disciplinas.

Dentro de la corriente cognoscitivista, Richard Suchman, estudioso de la creatividad, realizó en 1962 un trabajo teórico sobre el pensamiento creativo y el desarrollo conceptual, en donde dice que los estudios de Bruner muestran que existen gran variedad de estrategias cognoscitivas empleadas en la solución de problemas, para la formación de un concepto nuevo, y que las personas adaptan constantemente sus estrategias de asimilación de datos, incluso en pleno proceso de la solución de un problema. Esta adaptación constituye una forma de pensamiento creativo, es decir que existe una flexibilidad adaptativa, en la cual el individuo acomoda sus pautas de formación en función de sus necesidades cognoscitivas cambiantes.

Suchman, en relación a las investigaciones sobre estrategias de formación de conceptos y sobre los tipos de cambios que se efectúan en ellas a través de

que el niño crece, dice que Piaget introduce el término "operación" que viene a significar una unidad de pensamiento o acción, un movimiento tentativo "irreversible". El pensamiento creativo desempeña un papel central "en el pensamiento operacional", según Piaget. Además, dice que introduce otros dos conceptos, que son los de asimilación y acomodación. "La asimilación" consiste en el ensamblaje de un conjunto de estímulos estructurados dentro de un sistema del que el individuo anteriormente disponía. "La acomodación" ocurre cuando los estímulos son "acomodados", creando una nueva estructura conceptual. "El desarrollo conceptual" puede lograrse solo a través de una serie sucesiva de acomodaciones. Es en este proceso, dice Suchman, es donde encontramos el pensamiento creativo.

Tanto en Piaget, como en Bruner, Suchman remarca la importancia que en sus teorías tiene la experimentación, al operar con autonomía, en un medio en el cual el individuo pueda realizar operaciones y obtener una realimentación inmediata de los datos sobre la situación creada.

En el caso del estudio realizado por Suchman, observamos como los estudiosos de la creatividad, tratan de ubicar sus ideas dentro de la teoría psicológica, sin embargo, podemos darnos cuenta de que la teoría no fue comprendida, y aún cuando las intenciones son buenas, el estudio tiene errores de interpretación que deben ser aclarados.

Otra investigación importante sobre Piaget y Bruner, es la realizada en 1978 por Judith A. Chapman (10), en donde plantea la importancia del jugueteo, el juego y la educación física, en relación al desarrollo psicomotor de los niños pequeños y el desarrollo de las habilidades del pensamiento divergente. En esta investigación se plantea la importancia que tiene para el educador, tomar en cuenta la relación existente entre el juego y el desarrollo intelectual.

Dentro de los fundamentos de la teoría de Piaget, encontramos también muy presente la idea de invención, reinventón, creación, recreación, descubrimiento. Por ejemplo, dice que "...las funciones esenciales de la inteligencia consisten en comprender e inventar. Dicho de otra manera, en construir estructuras, estructurando lo real" (11). "Comprender es inventar, o reconstruir por la reinventón" (12). Piaget también menciona que "...los métodos del futuro deberán dar cada vez más importancia a la actividad y a los tanteos de los alumnos como a la espontaneidad de las investigaciones en la manipulación de los dispositivos destinados a proveer o a afirmar las hipótesis que ellos habrán podido hacer por sí mismos para hallar la explicación de tal o cual fenómeno elemental" (13).

Otra corriente que nos parece importante mencionar es la del "tanteo experimental" desarrollada por Celestin Freinet. De ella no encontramos ningún estudio ni teórico, ni experimental, realizado en relación a la creatividad, sin embargo, en sus fundamentos teóricos hay bastantes elementos de creatividad.

El "tanteo experimental", como dice Freinet, es mucho más que una práctica de ensayo y error, pues a esta práctica se le agrega un elemento nuevo que es la "permeabilidad de la experiencia", esto es, que en un principio el acto se debe al azar, pero pronto traza una "huella" por donde tendrá tendencia a repetirse. Esto implica un proceso donde primero, el individuo repite el acto hasta que se ha impreso la huella de una forma indeleble y se ha convertido en mecánica y técnica de vida. El tiempo de este ejercicio varía con la permeabilidad a la experiencia, es decir, con la inteligencia. Una vez que se ha adquirido el dominio mecánico del acto, un nuevo tanteo experimental conduce a un segundo acto logrado, el cual a su vez va a repetirse hasta el automatismo, para dejar luego lugar a otros ensayos. Este proceso se da por necesi-

dad en el individuo, es decir, el individuo tiene necesidad de buscar, de conocer, porque no está satisfecho con su situación, no tiene suficiente seguridad. De esta manera, cuando actúa, logra descubrir algo que quizás ha sido realizado por otros, pero no por ello deja de ser para él un descubrimiento, una innovación. Todo en la novedad se establece por ensayo experimental sobre la base de útiles quizás perfeccionados, pero que no son más que trampolines para nuevas investigaciones.

En el proceso del tanteo experimental, Freinet distingue dos tiempos: una especie de pulsación en la que una fase desencadena la acción y la otra la organiza.

En este proceso, que se origina por necesidad, el criterio de éxito estará dado por el subconsciente, la intuición, todas las relaciones fisiológicas, el medio.

Para Freinet, la educación consistirá en hacer variar los elementos del ensayo y del éxito para establecer técnicas de vida favorables. A través de la vida y de la experiencia se plantean al niño problemas integrados en el proceso de vida, que resuelve por sus propios medios, con la ayuda del maestro, lo importante es que lo logre, sabiendo que este éxito no es más que una plataforma que le permitirá ir más lejos, cuando la técnica aprendida haya pasado al automatismo.

Existen otra serie de estudios, realizados principalmente dentro del terreno experimental y desarrollados por los estudiosos de la creatividad. Los estudios se fundamentan generalmente en las corrientes psicológicas de la gestalt, asociacionismo, la teoría de Guilford, mencionadas anteriormente. De ellos podemos extraer ideas importantes, por ejemplo, dice Sidney Parnes "...existe evidencia suficiente de que la eficacia creativa se ha podido desarrollar por medio de la educación y que las mejoras logradas se mantienen a lo largo del tiempo" (14).

Torrance dice que el desarrollo

de las aptitudes propias del pensamiento creativo se encuentran en el corazón del logro de los objetivos más elementales de la educación incluidos los de aprender a leer, escribir y contar. No se trata en absoluto de una cuestión de especialización.

Torrance, Curtis y Demos, dicen que el brote de la creatividad existe en todos los alumnos, pero en la mayoría de ellos ha quedado bloqueado. Al igual que un torrente, la creatividad es, al mismo tiempo destructiva, por lo tanto se deben lograr los beneficios de la creatividad, evitando sus efectos destructivos.

Sidney Parnes dice: "...las investigaciones sugieren que los niños altamente creativos son con frecuencia mal vistos por sus profesores, hecho éste de importantes implicaciones educativas, tanto teóricas como prácticas" (15).

En todos estos estudios se vislumbra que la creatividad existe en todos los individuos y que por lo tanto puede ser desarrollada. Lo anterior lo podemos reafirmar con la siguiente idea de Torrance: "El campo tal vez más prometededor, si es que estamos seriamente interesados en hacer lo posible para desarrollar el talento creativo, es el de la experimentación de procedimientos didácticos que estimulen al pensamiento independiente de los estudiantes, la verificación de sus ideas y su comunicación a los demás" (16).

Los estudiosos e investigadores de creatividad, en su preocupación por desarrollarla, son los que principalmente han empleado las técnicas y métodos de estimulación de creatividad, a través de cursos de solución creativa de problemas. Por ejemplo, en la Universidad de Buffalo, se realizó un estudio experimental, y se observó que los estudiantes que participaron en él, aumentaron su nivel de creatividad, tanto en aspecto cualitativo como cuantitativo (17).

En relación al desarrollo de la creatividad de los estudiantes, otro aspecto que los estudiosos de creatividad han to-



mado en cuenta, es el papel que desempeñan los profesores y los directores de instituciones educativas. Generalmente las investigaciones realizadas en este sentido concluyen con una serie de recomendaciones o puntos que deben ser tomados en consideración por los profesores y directores para desarrollar o al menos no coartar la creatividad de los estudiantes. Por ejemplo, Torrance sugiere a los directores lo siguiente:

- dejar que los profesores conozcan sobre creatividad y enseñanza creativa
- tolerar discordancias con sus propias ideas
- alentar la experimentación
- informar a los profesores sobre el trabajo creativo de otros profesores.

Para el profesor, Torrance recomienda:

- ser respetuoso de las ideas imaginativas, creativas de los alumnos
- mostrar a los alumnos que sus ideas son valiosas
- dar la oportunidad a los alumnos de aprender por iniciativa propia y reconocer su mérito
- dar oportunidad a los alumnos de realizar trabajos sin evaluarlos

II POSIBILIDADES DE APLICACION DE LOS METODOS Y TECNICAS INTUITIVOS EN EL PROCESO EDUCATIVO

En el punto tratado anteriormente, se observa tanto dentro de las corrientes psicopedagógicas, como dentro de los estudios experimentales sobre creatividad, la importancia que se da a la experimentación para desarrollar o estimular la creatividad de los estudiantes.

En la escuela, como propone Carrillo (18), existen dos caminos para llegar a este fin:

1) Consiste en generar un espíritu creativo: adoptar un enfoque experimental y abierto del aprendizaje en cada uno de los campos del plan de estudios, donde se desarrollen habilidades para plantear y resolver problemas, para hacer descubrimientos y ejercer la imaginación.

2) Consiste en introducir experiencias especiales para entrenar intencionalmente al pensamiento creativo mediante técnicas como la Lluvia de Ideas (técnicas de estimulación de creatividad).

Estos dos caminos, los podemos ubicar dentro del método heurístico, lo que supone el aprendizaje por descubrimiento, donde el estudiante participa activamente en su proceso educativo.

Dentro del método heurístico encontramos que la búsqueda y la solución de problemas son importantes aspectos para el desarrollo de la creatividad de los estudiantes. En cuanto a esto, Carrillo dice: "el profesor debe promover en sus alumnos la búsqueda de nuevos problemas, suscitar cambios diversos y novedosos en ideas tradicionales e improvisar situaciones que requieran soluciones". "Después de fomentar la sensibilidad hacia los problemas, se debe dar a los alumnos experiencia suficiente en la solución de los mismos". (19)

En la definición y solución de problemas se desarrollan las fases del proceso creativo. Como hemos visto ya, existen diversas concepciones sobre cómo se efectúa pero en general se concibe la existencia de una fase intuitiva, que como dice Simon "Son pocos los casos de personas que han aportado algún descubrimiento importante en cualquier

ámbito del saber humano, sin que los descubridores tengan a sus espaldas una historia de por lo menos diez años de "soñar despiertos" con sus interrogantes o su campo de interrogantes" (20). Esto supone que el desarrollo de la creatividad no es gratuito y requiere de gran esfuerzo.

Es especialmente en la fase intuitiva del proceso creativo, en donde tienen su aplicación los métodos y técnicas que hemos venido manejando, pues intencionalmente favorecen la generación de gran número de ideas de entre las cuales pueden surgir las ideas creativas. En esta fase intuitiva, en un primer momento las ideas generadas fluyen sin censura, en un segundo momento son analizadas para observar su utilidad y la posibilidad de aplicación para la solución del problema.

Dentro del proceso creativo las técnicas y los métodos intuitivos, tienen limitados alcances, no obstante esto, su empleo es muy importante, ya que actúan en la fase intuitiva del proceso creativo, a partir de la cual se van a plantear la serie de estrategias y procedimientos para llegar al objetivo. Estos objetivos pueden ser objetivos educacionales.

Dentro de la educación, por tanto, el empleo de los métodos y técnicas intuitivos de creatividad no solo es valioso sino importante, considerando además de lo dicho, otros dos aspectos:

a) Los estudiosos de creatividad consideran a la educación importante para estimular y desarrollar la creatividad.

b) En las corrientes psicopedagógicas que mencionamos, se considera a la creatividad como muy importante para el desarrollo y el aprendizaje del individuo.

En realidad, esos dos aspectos se encuentran interrelacionados en la educación dentro de lo que sería el aprendizaje creativo.

Los métodos y técnicas intuitivas, por otra parte, pueden ser aplicadas con propósitos educativos, observando los

siguientes puntos que propone Ibarra (21), en relación a los métodos didácticos:

—la naturaleza racional o lógica de la materia

—la naturaleza del alumno: psíquica y física

—la manera fácil y económica con que se consigue enseñar algo (o aprender)

—las condiciones técnicas derivadas de principios científicos, preparación, práctica docente, experiencias, capacidad y pericia profesional del maestro.

En relación a las técnicas didácticas, el mismo autor dice: son las que "...origen de un modo directo la selección y ordenación de ejercicios, actividades y experiencias... que tienen un carácter eminentemente didáctico" (22).

Observamos que los métodos y las técnicas que manejamos cumplen con

los requisitos mencionados y por lo tanto es factible su aplicación dentro de la educación.

Estos métodos y técnicas presentan la ventaja de que son económicos en cuanto a valor material se refiere. Pero es necesario tomar en cuenta que al igual que otros métodos y técnicas en la educación, requieren de una preparación adecuada para manejarlos. Esto significa que el profesor necesita ser preparado tanto para desempeñar sus labores docentes como para el manejo de grupos de creatividad (esto último ya lo hemos tratado en páginas anteriores). Al igual que la creatividad, pueden ser empleados no solo dentro del salón de clases, sino también en otras áreas de la educación, como la organización y la investigación en todas las áreas de la pedagogía.

REFERENCIAS:

- 1) JOSE NEGRETE, *Comentarios en Pedagogía*, UNAM, 1980.
- 2) ARNOLD KAUFMANN et al. *Inventiva*. Tr. por Román Luquin, Bilbao, Deusto, 1973, p. 60.
- 3) OSCAR IBARRA PEREZ, *Didáctica moderna. El aprendizaje y la enseñanza*. 2ed. Madrid, Aguilar, 1968. (psicología y educación) 309 p.
- 4) *Ibidem*, 46.
- 5) *Ibidem*, 117.
- 6) *Ibidem*, 55.
- 7) POLYA, G. *Cómo plantear y resolver problemas*. México, Trillas, 1946, p. 102.
- 8) ARNOLD KAUFMANN, *op. cit.*, 32.
- 9) JOHN CURTIS, *Implicaciones educativas de la creatividad*. Tr. por Miguel Fernández. Madrid, Anaya/2, 1976. (ciencias de la educación) p. 38.
- 10) JUDITH CHAPMAN, "Playfulness and development of divergent thinking abilities". En *Child: care, health and development*. Blackwell, Scientific Publications, 1972, 4, págs. 371-383.
- 11) JEAN PIAGET, *Psicología y pedagogía*. Tr. por F. J. Fernández. Barcelona, 1973, p. 37.
- 12) UNESCO. *El devenir de la educación*. Tr. por Enrique G. León et al. México, SEP, 1974. Tomo II (SepSetentas, 167) p. 91.
- 13) *Ibidem*, 98.
- 14) JOHN CURTIS, *op. cit.*, 43.
- 15) *Ibidem*, 37.
- 16) *Ibidem*.
- 17) *Ibidem*, 42.
- 18) ELBA CARRILLO, "La creatividad". En revista *Perfiles educativos*. México, UNAM, CISE. No. 1, julio, agosto, septiembre de 1978. p. 36.
- 19) *Ibidem*.
- 20) JOHN CURTIS, *op. cit.*, 56.
- 21) OSCAR IBARRA PEREZ, *op. cit.*, 51.
- 22) *Ibidem*, 117.



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

EL PROBLEMA DE ASIGNACION DE AGUA

Dr Sergio Fuentes Maya

Noviembre, 1981

C O N T E N I D O

Página

1. Introducción	1
2. El problema de asignación de agua	4
3. Cadenas de Markov simples	7
4. Cadenas de Markov con políticas múltiples	24
5. Programación dinámica	28
6. Un problema de asignación y su solución	34
a. Método de Howard	
b. Aproximaciones sucesivas	
c. Aproximaciones sucesivas modificado	
d. Programación lineal	

ANEXO

A. Convergencia de los métodos de solución
--

1. Introducción

Un problema importante en el análisis de sistemas de aprovechamientos hidráulicos es el relacionado con la determinación de políticas de asignación de agua, cuya dificultad radica en la combinación de dos factores: Uno determinístico, asociado con los beneficios que reporta asegurar un volumen de agua (ya sea para riego o bien generación de energía) y otro estocástico, relacionado con la forma probabilística en que llegan los escurrimientos al sistema de aprovechamientos. Una política de asignación adecuada es aquella que combina ambos factores y maximiza los beneficios del uso del agua.

En términos generales existen dos tendencias sobre la asignación de agua de un vaso. La primera favorece al uso inmediato de la misma y está basada en el valor presente del agua. La segunda consiste en utilizar sólo pequeños volúmenes de agua con el propósito de asegurar grandes almacenamientos para el futuro.

Como puede esperarse tales tendencias extremas pueden ser contradictorias pues puede suceder que se efectúen grandes extracciones y que en períodos subsiguientes ocurra una sequía y no se pueda proporcionar agua o bien que las extracciones sean pequeñas y que los escurrimientos que se presentan sean grandes y no exista capacidad para almacenarlos, ó aún más, que se presenten daños materiales debido a inundaciones.

2

Conviene establecer que el problema de asignación tiene un carácter repetitivo (cada año, semestre o período de siembra) y que la (buena o mala) decisión de un período afecta a los subsiguientes. Este carácter repetitivo de las decisiones combinado con el aspecto estocástico de los sucesos que entran al vaso hacen difícil el planteamiento y solución de dicho problema. Diversos métodos heurísticos han sido propuestos para resolver el problema de asignación que puede verse como un problema dinámico estocástico. Sin embargo, en años recientes ha sido posible analizar y resolver el problema usando dos técnicas: programación lineal y programación dinámica.

En la presente ponencia se enfoca el interés al uso de la programación dinámica, pues existe una estructura especial del problema que permite el empleo de técnicas especializadas. La estructura markoviana del proceso de decisión del problema de asignación hace posible el uso de la técnica de mejoramiento de políticas propuesta por Howard (1960). Otras técnicas como el método de aproximaciones sucesivas y la programación lineal resultan adecuadas. Como puede esperarse, cada una de estas técnicas es adecuada para cierto tipo de "tamaño y estructura" del proceso markoviano que representa el problema de asignación.

El propósito de la ponencia consiste en familiarizar al lector con los conceptos y bases de procesos markovianos y la técnica de programación dinámica utilizada en el problema de asignación de agua.

3

La ponencia se desarrolló como sigue: En la sección 2 se establecen los principales factores que determinan la política de asignación de agua. Las secciones tres y cuatro analizan las cadenas de Markov y establecen sus principales propiedades asintóticas. En especial, las cadenas de Markov con políticas de operación múltiple y el método de Howard son descritos. La penúltima sección describe la clase de problemas dinámicos (determinísticos y estocásticos) que pueden ser analizados con la programación dinámica y especifican la estructura de las ecuaciones recursivas y condición de frontera que permiten resolverlos. Finalmente, se presenta un ejemplo de aplicación resuelto con tres técnicas: mejoramiento de políticas, aproximaciones sucesivas y programación lineal. Un anexo sobre la convergencia de los métodos es incluido.

2. Problema de asignación de agua

Considere un sistema de aprovechamientos hidráulicos cuyo propósito es proporcionar agua a un distrito o zona de riego (fig. 1). Suponga que se desea determinar la política de asignación de agua que maximice los beneficios netos esperados de la producción agrícola en un horizonte de planeación grande y que tome en cuenta el carácter estocástico de los escurrimientos.

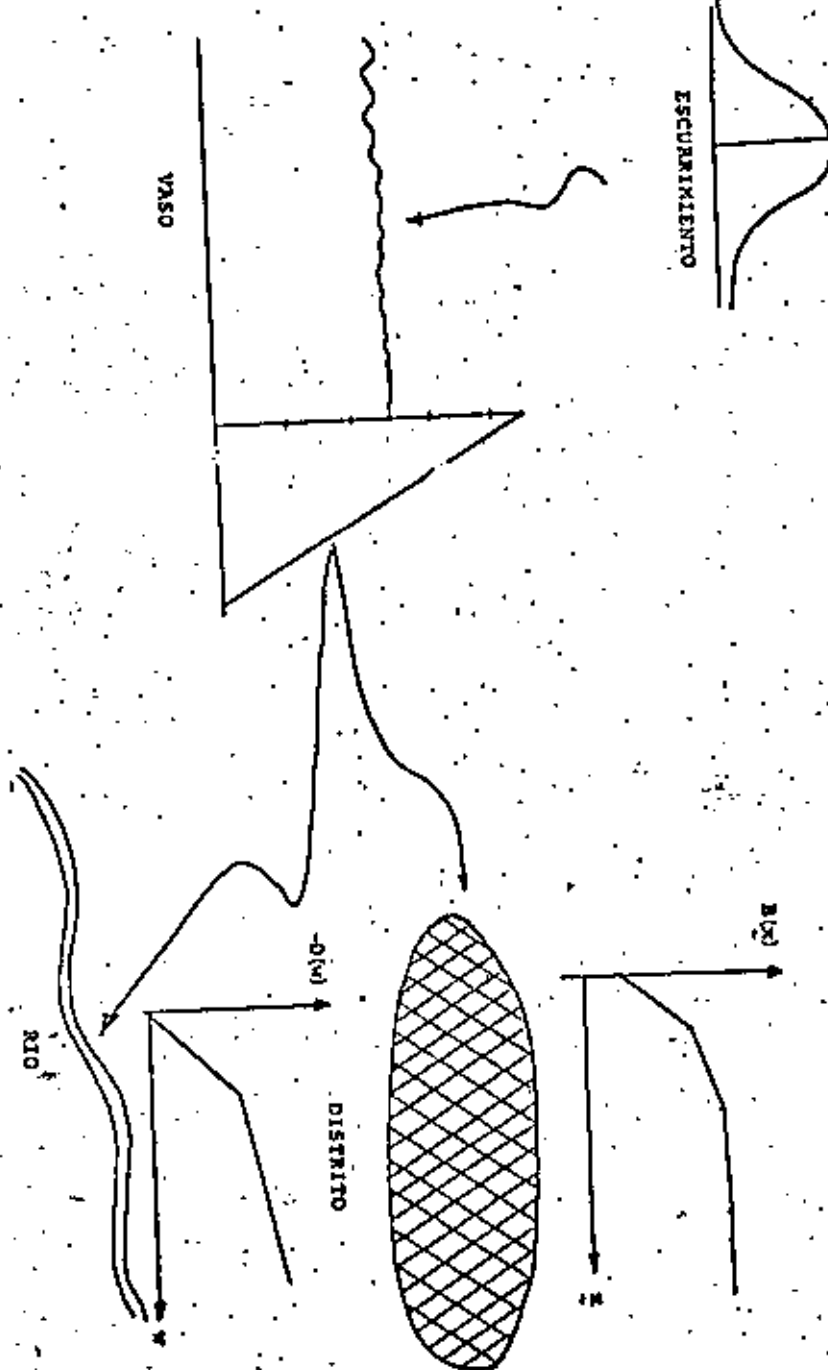
Existe un conjunto de aspectos y factores que determinan la política de asignación de agua y a los cuales conviene referirse:

El primer aspecto está relacionado con el uso del agua, reflejado en el hecho que cada volumen prometido en un ciclo de producción agrícola permite obtener un beneficio económico que es cuantificable y queda resumido en lo que denominaremos la función de beneficios.

El segundo aspecto está relacionado con las características del vaso y la forma probabilística con que llegan los escurrimientos al mismo. Específicamente, la capacidad del vaso y la función de distribución de los escurrimientos al vaso.

Conviene señalar que si existen diferencias considerables en la forma con que llegan los escurrimientos a lo largo del año es común separarlos en periodos o épocas con el propósito de garantizar mayor similitud en los escurrimientos. Este aspecto combinado con el tiempo de crecimiento de los cultivos ha originado, en el caso de riego, considerar dos periodos en el año:

Fig. 1. El sistema de aprovechamientos hidráulicos.



Húmedo y seco, si existen dos periodos (6 más) en el año es entonces necesario tener dos funciones de distribución, una para cada periodo. También puede darse el caso en que los escurrimientos que se presentan en un periodo dependen del tipo de escurrimientos del periodo anterior (i.e., escurrimiento alto, medio ó bajo). En tal caso es necesario especificar las correspondientes funciones de distribución condicionales. (Por ejemplo, la función de distribución de los escurrimientos en el periodo seco dado que el escurrimiento en el periodo anterior fue alto)

Un último aspecto es el relacionado con las penalizaciones que se pueden tener al operar un sistema de aprovechamientos hidráulicos. Una de ellas es la debida al control de avenidas, esto es, cada volumen derramado de agua tiene un costo, pues ese volumen podría ser usado en la producción agrícola o bien causa daños materiales al ser derramado. La otra penalización es la debida al déficit en la entrega de agua, esto es, la diferencia entre el volumen de agua prometido y el volumen real entregado. Es inmediato que tal déficit origina daños en la producción agrícola.

Considerando los aspectos anteriores se llega a la conclusión que para especificar la política de asignación de agua en riego es necesario establecer si el ciclo de decisiones es anual ó periódico y si tal política considera independencia o dependencia de los escurrimientos de un periodo respecto a otro.

3. Cadenas de Markov Simples

Uno de los procesos estocásticos más estudiados y con mayor número de contribuciones es la teoría de los procesos Markovianos. Su importancia radica en sus aplicaciones tanto a la física, y biología como en la ingeniería y ciencias sociales. Algunos de los conceptos y resultados de los procesos Markovianos discretos se discuten en esta sección.

Considere un proceso estocástico $X=(x_n | n \in \mathbb{N})$ donde los valores que puede tomar la variable x_n es un conjunto finito E .

Definición. Un proceso estocástico $X=(x_n | n \in \mathbb{N})$ es una cadena de Markov si cumple que

$$P [x_{n+1}=j | x_0, \dots, x_n] = P [x_{n+1}=j | x_n]$$

para todo $j \in E$ y toda etapa n .

En otras palabras, una cadena de Markov es una sucesión de variables aleatorias tal que en la etapa n , el evento x_{n+1} depende únicamente de x_n (el presente) y no de la historia pasada x_0, x_1, \dots, x_{n-1} . Otro aspecto importante es que

$$P [x_{n+1}=j | x_n=i] = P_{ij} \quad i, j \in E$$

esto es, la probabilidad condicional es independiente de la etapa n . Este tipo de cadenas de Markov se dice que es homogénea, pues no depende del tiempo. Asimismo si $E=\{1, 2, \dots, n\}$, la matriz de probabilidades o transición es

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix}$$

Definición. Una matriz $P = [P_{ij}]$ de orden $n \times n$ se denomina matriz de transición si sus elementos son no-negativos y la suma de los elementos de cada hilera es igual a uno, esto es

- a. $P_{ij} \geq 0 \quad i, j = 1, \dots, n$
 b. $\sum_{j=1}^n P_{ij} = 1 \quad i = 1, \dots, n$

Es común decir que la matriz de transición P tiene n estados y que cada elemento P_{ij} representa la probabilidad de pasar del estado i al j en una transición. Por otra parte, es conveniente puntualizar que si P es una matriz de transición, P^2 es también una matriz de transición (se pide al lector verificar) y cada uno de sus elementos (i, j) representa la probabilidad de pasar de un estado i a uno j en dos etapas. Una interpretación semejante se tiene para la matriz P^m donde m es un entero positivo.

Definición. Una matriz de transición P se dice ergódica si existe el límite de P^m cuando m tiende a infinito.

Una manera de garantizar que $\lim P^m$ exista es que para alguna N la matriz P^N consista de elementos estrictamente positivos. En términos del proceso Markoviano esto equivale a decir que existe una etapa N en donde la probabilidad de pasar de un estado i (cualquiera) a otro j es positiva. Estas matrices tienen una propiedad importante que se resume (sin prueba) a continuación.

Proposición 1. Suponga que P es ergódica. Entonces la matriz límite S dada como $S = \lim P^m$ tiene todas sus hileras iguales. Asimismo, se denotamos por π una hilera (cualquiera) de S se tiene que $\pi = \pi P$.

En las aplicaciones, la manera más usual de determinar π y de aquí S es resolviendo el sistema $\pi = \pi P$. Un aspecto interesante del vector π es su interpretación probabilística: Si $\pi = [\pi_1, \dots, \pi_n]$ se tiene que la probabilidad que el sistema se encuentre en el estado i (independientemente del estado de partida) después de un número grande de transiciones es igual a π_i . Es por ello que el vector π se denomina el vector de probabilidades estacionarias y es usado para dar una idea de la frecuencia con que son visitados los estados del proceso Markoviano.

Ejemplo. Considere una cadena de Markov con tres estados y matriz de transición dada por

$$P = \begin{bmatrix} 0,3 & 0,5 & 0,2 \\ 0,6 & 0,0 & 0,4 \\ 0,0 & 0,4 & 0,6 \end{bmatrix}$$

Considerando que P^2 es tal que todos sus elementos son positivos (se pide verificar al lector) se tiene que P es ergódica y $\lim P^n$ existe. Asimismo, la solución del sistema

$$x = xP$$

dónde $x = [R_1, R_2, R_3]$ es tal que $R = [6/23, 7/23, 10/23]$.

Cadenas de Markov periódicas

Un caso especial e importante de las cadenas de Markov en que se obtienen resultados semejantes a los descritos anteriormente son las cadenas de Markov periódicas. Específicamente cadenas de Markov con matriz de transición periódica, esto es, matriz de transición de la forma (2 períodos),

$$P = \begin{bmatrix} 0 & A_1 \\ A_2 & 0 \end{bmatrix}$$

dónde A_1 y A_2 son matrices de transición. En este tipo de matrices se cumple que P^2 (y en general que P^{δ} donde δ es el número de períodos de la matriz de transición) tiene una forma diagonal en bloques:

$$P^2 = \begin{bmatrix} P_1 & 0 \\ 0 & P_2 \end{bmatrix}$$

dónde $P_1 = A_1 A_2$ y $P_2 = A_2 A_1$, y ambas matrices son de transición. Si se tiene el caso (como ocurre en muchas aplicaciones) que P_1 y P_2 sean ergódicas se cumple que $\lim (P^2)^n$ es

$$\lim (P^2)^n = \begin{bmatrix} \lim P_1^n & 0 \\ 0 & \lim P_2^n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_1 & 0 \\ 0 & S_2 \end{bmatrix}$$

y las matrices $S_1 = \lim P_1^n$ y $S_2 = \lim P_2^n$ tienen cada una de ellas todas sus hileras iguales. Si denotamos por R^1 y R^2 los vectores hilera de S_1 y S_2 , respectivamente, se cumple que $R^1 = R^1 P_1$ y $R^2 = R^2 P_2$ y ésta es, usualmente, la manera de determinar las matrices S_1 y S_2 , respectivamente. Conviene señalar que

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P^{2n+1} = \lim_{n \rightarrow \infty} P^{2n} P = \begin{bmatrix} 0 & S_1 A_1 \\ S_2 A_2 & 0 \end{bmatrix}$$

y de esta manera tenemos contemplados los dos puntos límites de la sucesión $\{P^n\}$. Note que si P tiene δ períodos la sucesión $\{P^n\}$ tiene δ puntos límites que son sencillos de calcular si uno de ellos se conoce,

Ejemplos

1. Considere un jugador con capital inicial x_0 y cuya estrategia de juego es como sigue: Si su capital es 4, 5, 6 y 7 pesos apuesta 2 pesos y obtiene 4, 3 ó cero pesos con probabilidades 0.75, 0.25 y 0.50, respectivamente. Si su capital es 1, 2 ó 3 pesos juega más conservadoramente y apuesta sólo un peso para obtener 2 ó cero pesos con probabilidades 0.40 y 0.60, respectivamente. El juego termina si su capital es cero ó ocho pesos.

Suponga que se denota por x_n el capital del jugador al final de la jugada n . Se desea determinar las probabilidades $p(x_{n+1} = j | x_n = i)$ para todo $i, j = 0, \dots, 8$. Sin embargo, considerando que el proceso anterior tiene la estructura de un proceso de Markov lo que se desea es la matriz de transición $P = [p_{ij}]$ donde $p_{ij} = p(x_{n+1} = j | x_n = i)$ para todo $i, j = 0, 1, \dots, 8$. Una vez determinada P especifique la probabilidad de que el juego haya terminado en 4 jugadas si el capital inicial del jugador es $x_0 = 4$. ¿Cómo es esta probabilidad si $x_0 = 3$?

Solución. La matriz de transición es

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

y la matriz P^4 es como sigue:

$$P^4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.744 & 0.1152 & 0.032 & 0.0768 & 0 & 0.016 & 0.016 & 0 & 0 \\ 0.5328 & 0.048 & 0.2304 & 0.052 & 0.0968 & 0 & 0.01 & 0.02 & 0.01 \\ 0.288 & 0.1728 & 0.199 & 0.1152 & 0.0645 & 0.0615 & 0.0365 & 0.00625 & 0.05625 \\ 0.18 & 0.2265 & 0.080625 & 0.197875 & 0.015625 & 0.049125 & 0.06375 & 0.03125 & 0.15625 \\ 0.108 & 0.0975 & 0.1815 & 0.12125 & 0.12925 & 0.015625 & 0.028125 & 0.05625 & 0.2625 \\ 0.09 & 0 & 0.22625 & 0 & 0.12125 & 0.0625 & 0.015625 & 0.015625 & 0.46875 \\ 0 & 0.09 & 0.08125 & 0.09125 & 0 & 0.05625 & 0.05625 & 0.015625 & 0.609375 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Por lo tanto la probabilidad que el juego termine en cuatro jugadas dado que se tiene un capital inicial $x_0 = 4$ es $P_{40}^4 + P_{49}^4 = 0.33625$. De manera semejante, si $x_0 = 3$ se tiene que $P_{30}^4 + P_{38}^4 = 0.34425$. Como puede observarse, la probabilidad que termine el juego es en ambos casos semejante pero en el primer caso existe mayor probabilidad (0.15625) de ganar que en el segundo (0.05625).

2. Considere un sistema de inventarios de capacidad K y suponga que en cada trimestre del año se revisa el correspondiente nivel de inventario para ordenar más artículos si esto se juzga conveniente. Específicamente, la política para ordenar nuevos artículos al inventario depende de dos números críticos a y b (por lo que comúnmente se dice que la política es (a, b)): si el nivel de inventario al principio del trimestre es mayor que a no se ordena nada; si el nivel es menor o igual a a se ordenan (y entregan inmediatamente) tantos artículos como sean necesarios para que el nivel de inventario sea b donde $a < b$. Suponga por simplicidad que $a=3$ y $b=5$. También suponga que la demanda de artículos en un inventario en cada trimestre se da por la función de densidad:

w	0	1	2	3	4	5
$p(w)$	0.1	0.1	0.3	0.3	0.1	0.1

Suponga que denotamos por x_n el nivel de inventarios al final del trimestre n . Entonces se observa que existe la siguiente relación entre los niveles de inventario de dos trimestres consecutivos.

$$x_{n+1} = \begin{cases} x_n - w & \text{si } a < x_n \text{ y } w \leq x_n \\ b - w & \text{si } x_n \leq a \text{ y } w \leq b \\ 0 & \text{otro caso} \end{cases}$$

Considerando que los posibles estados del inventario son $0, 1, \dots, 7$ se desea determinar las posibilidades $p_{ij} = P\{x_{n+1}=j | x_n=i\}$ para toda $i, j=0, 1, \dots, 7$. Sin embargo, debido a la independencia de las demandas de artículos de un período respecto a otro esto equivale a determinar la matriz de transición del problema de inventarios descrito. Asimismo, determine el vector Π tal que $\Pi = \Pi P$ y verifique que es igual a cada una de las hileras de la matriz $Q = \lim_{n \rightarrow \infty} P^n$.

La matriz de transición P es dada por

$$P = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.1 & 0.1 & 0.3 & 0.3 & 0.1 & 0.1 \\ 0 & 0 & 0.1 & 0.1 & 0.3 & 0.3 & 0.1 & 0.1 \\ 0 & 0 & 0.1 & 0.1 & 0.3 & 0.3 & 0.1 & 0.1 \\ 0 & 0 & 0.1 & 0.1 & 0.3 & 0.3 & 0.1 & 0.1 \\ 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.1 & 0.1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.1 & 0.3 & 0.3 & 0.1 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0.1 & 0.3 & 0.3 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0 & 0.1 & 0.1 & 0.3 & 0.3 & 0.1 & 0.1 \end{bmatrix}$$

y el vector solución $\Pi = [\Pi_0, \Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_7]$ es dado como sigue:

$$\begin{matrix} 0.062352942 & 0.090220589 & 0.180882358 & 0.148970589 & 0.219117646 \\ 0.185294116 & 0.059558823 & 0.053602941 & & \end{matrix}$$

y la siguiente hoja muestra las matrices P^{24} y P^{25} .

0.062352944 0.185294112	0.090220593 0.059558821	0.180882357 0.053602939	0.148970592	0.219117643
0.062352944 0.185294112	0.090220593 0.059558821	0.180882357 0.053602939	0.148970592	0.219117643
0.062352944 0.185294112	0.090220593 0.059558821	0.180882357 0.053602939	0.148970592	0.219117643
0.062352944 0.185294112	0.090220593 0.059558821	0.180882357 0.053602939	0.148970592	0.219117643
0.062352936 0.185294127	0.090220581 0.059558827	0.180882346 0.053602945	0.148970583	0.219117654
0.062352939 0.185294124	0.090220583 0.059558826	0.180882348 0.053602944	0.148970584	0.219117652
0.062352942 0.185294117	0.090220589 0.059558823	0.180882353 0.053602941	0.148970589	0.219117647
0.062352944 0.185294112	0.090220593 0.059558821	0.180882357 0.053602939	0.148970592	0.219117643
0.062352940 0.185294121	0.090220586 0.059558825	0.180882351 0.053602942	0.148970587	0.219117649
0.062352940 0.185294121	0.090220586 0.059558825	0.180882351 0.053602942	0.148970587	0.219117649
0.062352940 0.185294121	0.090220586 0.059558825	0.180882351 0.053602942	0.148970587	0.219117649
0.062352943 0.185294113	0.090220592 0.059558822	0.180882356 0.053602939	0.148970591	0.219117644
0.062352943 0.185294114	0.090220591 0.059558822	0.180882355 0.053602940	0.14897059	0.219117645
0.062352941 0.185294116	0.090220588 0.059558824	0.180882353 0.053602941	0.148970588	0.219117647
0.062352940 0.185294121	0.090220586 0.059558825	0.180882351 0.053602942	0.148970587	0.219117649

3. (Continúa problema 2). Suponga que en el problema de inventario se tiene la siguiente estructura de costos: Si al principio de un trimestre se ordena una cantidad w de artículos para llevar el nivel de inventarios a S el costo de tal acción es $Q + cw$ donde $Q = 10$ es el costo fijo de ordenar y $c = 3$ es el costo de producción de cada artículo. Por otra parte, si durante el trimestre se tiene una demanda y de artículos y se tiene existencia para satisfacerla al beneficio que se obtiene es py donde $p = 6$ es el precio a que se vende cada artículo demandado. Sin embargo, si la demanda no es satisfecha se penaliza al sistema de inventario con un costo unitario igual a 4, esto es, si la demanda no satisfecha es x el costo debido a la pérdida de tal demanda es $4x$.

Determine los beneficios netos esperados durante un trimestre (cualesquiera) dado que al nivel de inventarios es x_n . Equivalentemente se desea determinar

$$E[B(x_{n+1} | x_n = i)] = \sum_{j=0}^{\infty} P_{ij} B_{ij}$$

donde $B_{ij} = B(x_{n+1} = j | x_n = i)$ es el beneficio neto obtenido al pasar a un nivel de inventario $x_{n+1} = j$ dado que al final del periodo n el inventario es $x_n = i$.

Se denotamos por $B = [B_{ij}]$ la matriz de beneficios netos se tiene que dicha matriz es igual a:

$$P = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & -7 & -13 & -19 & -25 & -31 \\ 0 & 0 & 2 & -4 & -10 & -16 & -22 & -28 \\ 0 & 0 & 5 & -1 & -7 & -13 & -18 & -25 \\ 0 & 0 & 8 & 2 & -4 & -10 & -15 & -22 \\ 27 & 18 & 12 & 6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 30 & 24 & 18 & 12 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 30 & 24 & 18 & 12 & 6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 30 & 24 & 18 & 12 & 6 & 0 \end{bmatrix}$$

De donde los beneficios netos esperados en el trimestre son dados por el vector q cuyos valores son

$$q^t = [-16.0, -13.0, -9.9, -6.9, 14, 15, 15, 15]$$

Para finalizar este ejemplo conviene señalar que q sólo representa beneficios netos esperados del primer trimestre, asociados con cada nivel inicial de inventario. Asimismo, puesto que cada vector hilera de P especifica las probabilidades de tener un nivel de inventario final $0, 1, \dots, 7$, podemos observar que cada componente del vector Pq representa el valor esperado de los beneficios netos durante el segundo trimestre. De manera semejante cada componente del vector P^2q representa el valor esperado de los beneficios netos durante el tercer trimestre y en general cada componente de P^nq representa el valor esperado de los beneficios netos durante el trimestre n . Por lo tanto el valor esperado total actual asociado con cada estado es dado por

$$VTP = q + \beta Pq + \beta^2 P^2q + \beta^3 P^3q + \dots$$

$$= \sum_{i=1}^{\infty} (\beta P)^i q$$

donde β es un factor de descuento que nos permite actualizar (esto es, poner en valor presente) cada peso al final del primer semestre y β^n actualiza cada peso al final del trimestre n . Conviene señalar aquí que la serie de matrices

$$R = \sum_{i=0}^{\infty} (\beta P)^i$$

converge y es además igual a la inversa de la matriz $[I - \beta P]$. Por lo que resulta más conveniente calcular $[I - \beta P]$ para el problema y después $[I - \beta P]^{-1}$ para obtener

$$VTP = [I - \beta P]^{-1} q$$

Si tomamos $\beta = 0.9365$ que corresponde a un interés anual de 30 por ciento se concluye que

$$VTP^t = [146.51, 42.51, 32.61, 35.61, 43.83, 48.01, 52.56, 57.51]$$

cuyos valores pueden verificarse usando la matriz $[I - \beta P]^{-1}$ que se describe en la hoja siguiente.

1	0	-0.09365	-0.09365	-0.28095
-0.28095	-0.09365	-0.09365	-0.09365	-0.28095
0	1	-0.09365	-0.09365	-0.28095
-0.28095	-0.09365	-0.09365	-0.09365	-0.28095
0	0	0.90635	-0.09365	-0.28095
-0.28095	-0.09365	-0.09365	0.90635	-0.28095
0	0	-0.09365	-0.09365	0.90635
-0.1873	-0.28095	-0.28095	-0.09365	0.90635
0	0	0	-0.09365	-0.09365
-0.09365	-0.09365	-0.28095	-0.28095	-0.09365
0.90635	0	0	-0.28095	-0.09365
0	-0.09365	-0.09365	-0.28095	-0.28095
-0.09365	0.90635	0	-0.28095	-0.28095
0	0	-0.09365	-0.09365	-0.28095
-0.28095	-0.09365	0.90635	-0.09365	-0.28095

4. Considere un sistema de aprovechamiento hidráulico consistente de un vaso y un distrito de riego (fig. 1). Suponga que los escurrimientos que llegan al vaso en cada período son estocásticamente independientes y tienen función de densidad.

Q	0	1/2	1/4	1
P(Q)	1/6	2/6	2/6	1/6

Considere que la capacidad del vaso es igual a uno y que la siguiente política de asignación de agua ha sido fijada.

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

donde S es el nivel de almacenamiento al principio del período y w el agua prometida para riego.

Especifique las probabilidades $P(S_{n+1} = y | S_n = x)$ donde $x, y = 0, 1/4, 1/2, 3/4$ y 1 que debido a la independencia de los escurrimientos de un período a otro es equivalente a determinar la correspondiente matriz de transición P.

Suponga que la estructura de costos del problema anterior es como sigue: Los beneficios obtenidos de promover (y no necesariamente entregar) un volumen x de agua al distrito son:

1.877884495	1.2701007	2.615540323	2.169909100	3.283672275
2.806755773	0.904434563	0.819734266		
0.877884495	2.2701007	2.615540323	2.169909100	3.283672275
2.806755773	0.904434563	0.819734266		
0.877884495	1.2701007	3.615540323	2.169909100	3.283672275
2.806755773	0.904434563	0.819734266		
0.877884495	1.2701007	2.615540323	3.169909099	3.283672275
2.806755773	0.904434563	0.819734266		
1.023031863	1.491095400	2.742271927	2.121209118	4.156940671
2.210110773	0.841068761	0.762202671		
0.934702429	1.207277029	2.750366664	2.322830177	3.143845901
3.692115790	0.034521392	0.756368464		
0.807342103	-1.056787574	2.909350849	2.328566982	3.089951749
2.640737750	1.917924710	0.737952691		
0.877884495	1.2701007	2.615540323	2.169909100	3.283672275
	0.904434563	1.819734266		

x	0	1/4	1/2	3/4	1
B(x)	0	2	7/2	9/2	5

Asimismo, si x es el volumen de agua prometido y x el entregado, la penalización debida al déficit de agua $x - x \geq 0$ es

$x - x$	0	1/4	1/2	3/4	1
$P(x - x)$	0	-4	-7	-9	-10

y la debida a derramar un volumen z es:

z	0	1/4	1/2	3/4	1
$D(z)$	0	-3/2	-4	-4	-4

Determine para cada nivel de almacenamiento el valor esperado de los beneficios netos de un periodo y donótelos por q donde q es un vector columna de cinco componentes. Asimismo, calcule la expresión

$$VTP = [I - \beta P]^{-1} q$$

donde $\beta = 0.83$. Dicha expresión establece el beneficio esperado total actual asociado con cada nivel de almacenamiento.

Finalmente, determine las probabilidades estacionarias asociadas con esta política.

La matriz de transición asociada a la política es

$$P = \begin{bmatrix} 1/6 & 2/6 & 2/6 & 1/6 & 0 \\ 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \\ 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \\ 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \\ 0 & 1/6 & 0 & 2/6 & 3/6 \end{bmatrix}$$

De manera semejante la matriz de beneficios netos es:

$$B = \begin{bmatrix} -2 & 2 & 2 & 2 & 0 \\ -2 & 0 & 1 & 2 & 2 \\ 7/2 & 0 & 7/2 & 7/2 & 7/2 \\ 9/2 & 0 & 9/2 & 9/2 & 9/2 \\ 0 & 9/2 & 0 & 9/2 & 4 \end{bmatrix}$$

En donde el elemento $B_{11} = -2$ se obtiene como sigue: El beneficio por prometer 1/4 de agua es 2. Sin embargo, en este caso no es posible entregar dicho volumen y la penalización es -4. Por lo tanto $B_{11} = 2 - 4 = -2$. Asimismo, el vector de beneficios inmediatos $q = [q_i]$ donde $q_i = \sum_{j=1}^n P_{ij} B_{ij}$ y el vector de beneficios totales es

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

$$q = [1.33, 2.00, 3.50, 4.5, 4.25]$$

$$v = [I - \beta P]^{-1} q = [18.01, 19.42, 20.91, 22.0, 22.72]$$

$$\text{El vector } \pi = \beta P \text{ es } \pi = (1/138) [18, 11, 36, 43, 30]$$

6. Procesos de Markov con políticas de operación múltiple

Un proceso de Markov discreto simple consiste de un número n de estados cuyo proceso estocástico está caracterizado por una matriz de transición P de orden $n \times n$. Un proceso de Markov discreto se dice que tiene políticas de operación múltiple si para cada estado existe un número finito de decisiones posibles. Específicamente, la probabilidad de transición del estado i a j depende de la política de operación k y se denota P_{ij}^k . Asimismo, si el proceso tiene asociado un mecanismo de costo o beneficios, se asocia con cada transición de un estado i a j y cada política k , un correspondiente beneficio o ganancia que se denota por R_{ij}^k . Las matrices de transición $[P_{ij}^k]$ y beneficios $[R_{ij}^k]$ caracterizan el proceso markoviano con decisiones múltiples.

Finalmente, se dice que el proceso de Markov es con descuento si una unidad monetaria en el presente es más deseable que la misma unidad monetaria en el futuro. El factor de descuento que permite actualizar el dinero se denota por β donde $0 < \beta < 1$.

En el proceso de Markov denota por $v_i(m)$ el valor presente de las ganancias esperadas en las siguientes m transiciones si el estado inicial del sistema es i y se sigue una política de operación óptima. La manera de definir $v_i(m)$, es por medio de la forma recursiva siguiente:

$$v_i(m) = \max_k \left\{ \sum_{j=1}^n P_{ij}^k \cdot R_{ij}^k + \beta v_j(m-1) \right\}$$

$$= \max_k \left\{ q_i^k + \beta \sum_{j=1}^n P_{ij}^k v_j(m-1) \right\}$$

donde $q_i^k = \sum_{j=1}^n P_{ij}^k R_{ij}^k$ representa la ganancia inmediata esperada de una transición dado que estamos en el estado i y se usa la política de operación k .

Si el proceso markoviano opera con una misma política fija k^* para todas las etapas del mismo se observa que

$$v_i(m) = q_i^{k^*} + \beta \sum_{j=1}^n P_{ij}^{k^*} v_j(m-1)$$

donde $i=1, \dots, n$ y $m = 1, 2, \dots$. Equivalentemente

$$v(m) = q^{k^*} + \beta P^{k^*} v(m-1)$$

donde q^{k^*} es el vector de beneficios inmediatos asociados con la política k^* y lo mismo sucede con la matriz de transición P^{k^*} . Usando el hecho que esto es cierto para todo entero m se tiene

$$v(m) = \left[\sum_{i=0}^{m-1} (\beta P^{k^*})^i \right] q^{k^*}$$

De donde si $v = \lim_{m \rightarrow \infty} v(m)$ se concluye que

$$v = \sum_{i=0}^{\infty} (\beta P^{k^*})^i q^{k^*} = [I - \beta P^{k^*}]^{-1} q^{k^*}$$

pues $[I - \beta P^k]^{-1} = \sum_{i=0}^{\infty} (\beta P^k)^i$. De esta manera tenemos re-
 suuelto el problema de Markov con políticas múltiples bajo la su-
 posición que una sola política fija para todas las etapas es ne-
 cesaria (lo que es cierto en general). Por otra parte, para ve-
 rificar que la política k^* fija sea la óptima se procede a maxi-
 mizar la expresión

$$q_i^k + \beta \sum_{j=1}^n P_{ij}^k v_j \quad i=1, \dots, n.$$

para toda política k . Si para todos los estados la política que
 maximiza es la misma k^* que fijamos a priori entonces tal políti-
 ca es óptima. De otra manera se cambia k^* por aquella que maxi-
 miza y se repite el proceso. Este es el principio en que se ba-
 sa el método de mejoramiento de políticas propuesto por Howard
 y el cual se describe a continuación.

Técnica de mejoramiento de políticas (Howard 1960)

1. (Determinación de valores). Fija una política de operación
 k^* . Use la matriz de transición P^{k^*} y la de ganancias R^{k^*}
 para calcular los valores $q_i^{k^*}$, $i=1, \dots, n$. Específicamente re-
 suelva el sistema:

$$v_i = q_i^{k^*} + \beta \sum_{j=1}^n P_{ij}^{k^*} v_j \quad i=1, \dots, n.$$

que equivale, matricialmente, a obtener

$$v = [I - \beta P^{k^*}]^{-1} q^{k^*}$$

2. (Mejoramiento de políticas). Para cada estado i determine la
 política k^i que maximiza la expresión

$$q_i^k + \beta \sum_{j=1}^n P_{ij}^k v_j$$

La nueva política k^i (si difiere de la que se tenía o propu-
 so) es la nueva decisión del estado i . Regrese a 1 actuali-
 zando los valores P , R y q_i , $i=1, \dots, n$. El método termina
 cuando no existe cambio de políticas.

5.1 El problema básico de la programación dinámica

Considere el sistema dinámico de parámetro discreto.

$$x_{i+1} = g_i(x_i, u_i) \quad i=1, \dots, N$$

donde x_i se denomina la variable de estado (i.e., resume toda la información del sistema dinámico) en el tiempo i y se supone que $x_i \in S_i$ (conocido). Asimismo, u_i se denomina la variable de decisión y se supone que $u_i \in C_i$ (conocido). La función g_i se denomina la función de transformación de estados y permite determinar el estado en que se encuentra el sistema en el tiempo $i+1$ dado que se conoce el estado inicial en el tiempo i y que se efectuó la decisión u_i .

Dado un estado inicial x_0 se desea determinar la política de decisiones $\Pi = \{u_1^*, u_2^*, u_3^*, \dots, u_N^*\}$ tal que minimice (o maximice).

$$z = \sum_{i=1}^N f_i(x_i, x_{i+1}, u_i)$$

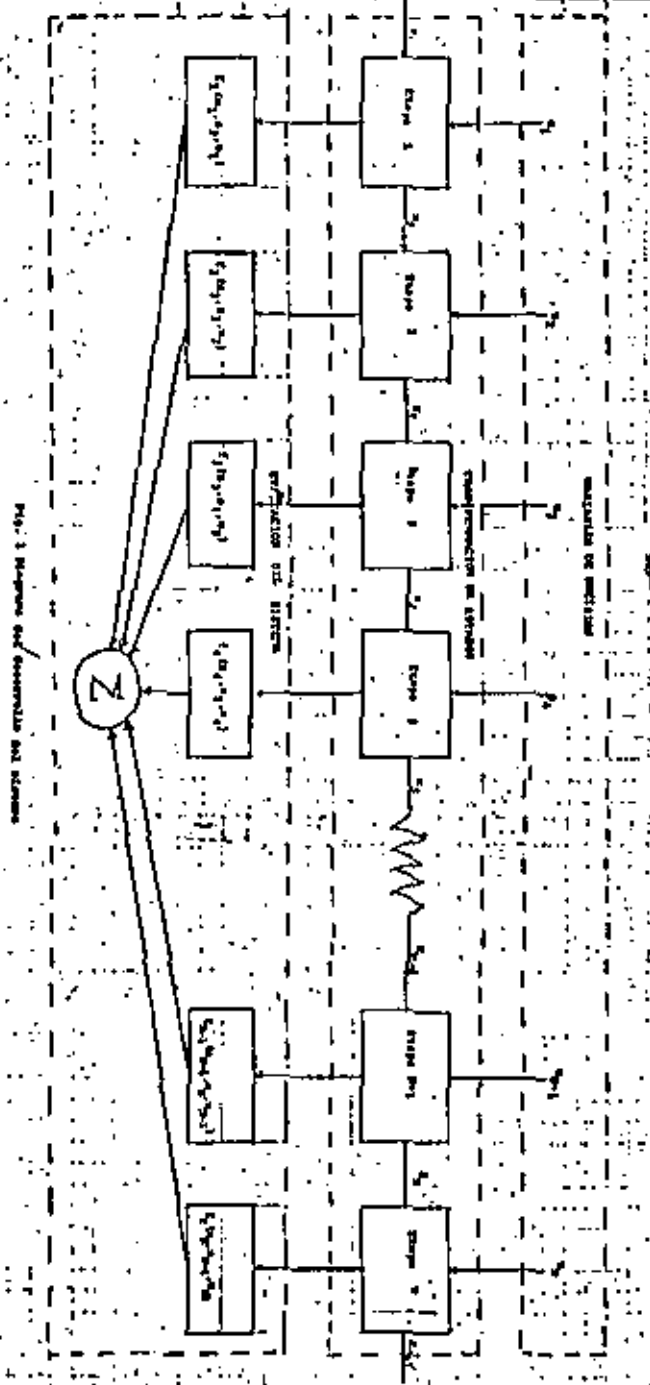
sujeito a

$$x_{i+1} = g_i(x_i, u_i) \quad i=1, \dots, N$$

$$x_i \in S_i, \quad u_i \in C_i \quad i=1, \dots, N$$

donde las funciones g_i y f_i , $i=1, \dots, N$ son conocidas.

Una descripción esquemática del desarrollo del sistema dinámico de parámetro discreto con su correspondiente proceso de evaluación se muestra en la figura 1. Asimismo, una explicación de la



manera en que se toman las decisiones, se transforman los estados y evalúan las decisiones, se tiene a continuación:

Etapas 1. El decisor observa el estado inicial x_1 y basado en esta información efectúa la decisión u_1 (que debería escribirse $u_1(x_1)$). Como resultado de esto se obtiene el estado x_2 de acuerdo a la transformación $x_2 = g_1(x_1, u_1)$ y el correspondiente valor asociado a tales estados y decisiones, denotado $f_1(x_2, x_2, u_1)$.

Etapas k. El decisor observa el estado x_k y basado en esta información toma la decisión u_k . Entonces, la transformación $g_k(x_k, u_k)$ proporciona el nuevo estado x_{k+1} y se contabiliza el correspondiente costo o beneficio representado por el escalar $f_k(x_k, x_{k+1}, u_k)$.

Etapas N. El decisor observa el estado x_{N-1} y efectúa la decisión u_{N-1} . Se obtiene el nuevo estado x_N y el correspondiente costo o beneficio $f_N(x_N, x_{N+1}, u_N)$.

Lo que se desea en este proceso de decisiones secuenciales es determinar la política $\bar{u} = (u_1^*, u_2^*, \dots, u_N^*)$ que minimice la suma total de los costos incurridos en cada etapa, esto es

$$\sum_{i=1}^N f_i(x_i, x_{i+1}, u_i)$$

5.2 Las ecuaciones recursivas

Una manera de resolver el problema de N etapas de decisión es proceder a descomponerlo en N problemas cuya solución es equivalente al problema original. A grandes rasgos lo que se pretende es resolver primero la última etapa y usar dichos resultados para resolver la penúltima etapa y así sucesivamente. Específicamente el procedimiento que se realiza es como sigue:

En la última etapa la decisión u_N a realizar depende únicamente del vector de estados x_N y para cada valor de x_N lo que se desea es determinar u_N^* tal que resuelva el problema

$$F_N(x_N) = \min_{u_N \in C_N} \{ f_N(x_N, x_{N+1}, u_N) \}$$

donde $x_{N+1} = g_N(x_N, u_N)$. Aquí se supone que $F_N(x_N)$ es un valor finito y que existe la decisión u_N^* óptima.

En la etapa N-1, las decisiones (u_N, u_{N-1}) que se realizan dependen únicamente del vector de estados x_{N-1} . Dichas decisiones serán óptimas si resuelven el problema

$$F_{N-1}(x_{N-1}) = \min_{(u_i)} \{ f_{N-1}(x_{N-1}, x_N, u_{N-1}) + f_N(x_N, x_{N+1}, u_N) \}$$

sujeto a

$$x_{i+1} = g_i(x_i, u_i) \quad ; \quad x_i \in S_i \quad ; \quad u_i \in C_i \quad ; \quad i=N-1, N$$

Sin embargo, la función objetivo es equivalente a

$$F_{N-1}(x_{N-1}) = \min_{u_{N-1}} \{f_{N-1}(x_{N-1}, x_N, u_{N-1}) + \min_{u_N} \{f_N(x_N, x_{N+1}, u_N)\}\}$$

$$= \min_{u_{N-1}} \{f_{N-1}(x_{N-1}, x_N, u_{N-1}) + F_N(x_N)\}$$

y se observa que la solución de la etapa N-1 es equivalente a resolver un problema de una sola decisión (u_{N-1}) y que dicho problema incorpora los valores óptimos asociados con los estados x_N calculados en la etapa N.

En general, para la etapa k donde $k=1, 2, \dots, N-1$, las decisiones a realizar (u_k, u_{k+1}, \dots, u_N) dependen únicamente del vector de estados x_k . Dichas decisiones serán óptimas si resuelven el problema.

$$F_k(x_k) = \min_{(u_i)} \{f_k(x_k, x_{k+1}, u_k) + \sum_{i=k+1}^N f_i(x_i, x_{i+1}, u_i)\}$$

sujeto a

$$x_{i+1} = g_i(x_i, u_i) \quad x_i \in E_i \quad u_i \in C_i \quad i=k, \dots, N$$

Sin embargo, la función objetivo es equivalente a

$$F_k(x_k) = \min_{u_k} \{f_k(x_k, x_{k+1}, u_k) + \min_{(u_i)} \sum_{i=k+1}^N f_i(x_i, x_{i+1}, u_i)\}$$

$$= \min_{u_k} \{f_k(x_k, x_{k+1}, u_k) + F_{k+1}(x_{k+1})\}$$

de donde la solución de la etapa k es equivalente a resolver un problema de una sola decisión (u_k) y dicho problema incorpora los valores óptimos asociados con los estados x_{k+1} calculados en la etapa k+1.

Una forma esquemática de cómo la solución del problema de la etapa k+1 se anida en la solución del problema k se muestra en la figura 2.

Como resultado de la discusión se tiene

Proposición 1. La política de decisión y valor de la función objetivo óptimo asociado con el problema básico pueden obtenerse como sigue

$$F_N(x_N) = \min_{u_N} \{f_N(x_N, x_{N+1}, u_{N+1})\} \quad (1)$$

$$F_k(x_k) = \min_{u_k} \{f_k(x_k, x_{k+1}, u_k) + F_{k+1}(x_{k+1})\} \quad (2)$$

donde $k=1, 2, \dots, N-1$. La relación (1) se denomina condición de frontera y (2) las ecuaciones recursivas de la programación dinámica. El vector de decisiones $K = (u_1^*, u_2^*, \dots, u_N^*)$ que resuelve (1) y (2) es la solución óptima del problema básico y $F_1(x_1)$ el correspondiente valor óptimo.

5.1 El problema básico estocástico

Considero el sistema dinámico de parámetro discreto

$$x_{i+1} = g_i(x_i, u_i, w_i) \quad i=1, \dots, N.$$

donde x_i se denomina la variable de estado (esto es, la variable o vector de variables que resume toda la información del sistema dinámico) en el tiempo i y se supone que $x_i \in S_i$; u_i variable o vector de variables de decisión y se supone que $u_i \in C_i$; w_i , variable o vector de variables de perturbancia ó estocásticas con $w_i \in D_i$. Se supone que los valores de las perturbancias w_i siguen una función de distribución que depende únicamente de x_i y u_i , y se denota por $P_i(\cdot | x_i, u_i)$. La función g_i es la denominada función de transformación de estados. La colección de variables de decisión denotada $\Pi = (u_1, u_2, \dots, u_N)$ se denomina la política de decisión.

Dado un estado inicial x_1 se pretende determinar la política de decisión $\Pi = (u_1^*, u_2^*, \dots, u_N^*)$ que minimice (o maximice)

$$J_0(x_0) = \underset{(w_k)}{E} \left[f_{N+1}(x_{N+1}) + \sum_{i=1}^N f_i(x_i, u_i, w_i) \right]$$

sujeto a

$$x_{i+1} = g_i(x_i, u_i, w_i) \quad i=1, 2, \dots, N.$$

$$x_i \in S_i \quad ; \quad u_i \in C_i \quad ; \quad w_i \in D_i \quad i=1, 2, \dots, N.$$

donde las funciones f_{N+1} , f_i y g_i $i=1, \dots, N$, son conocidas y

$E(\cdot)$ es el operador esperanza que considera de manera explícita el aspecto estocástico de las variables w_i en cada etapa $i=1, \dots, N$.

Una descripción esquemática de la forma en que se desarrolla el sistema dinámico y la manera en que se obtiene el valor de la función objetivo se muestra en la figura 2. Asimismo, una explicación de la manera en que se efectúan las decisiones, transforman los estados y contabilizan las decisiones se tiene a continuación:

Etapas 1.- El decisor observa el estado inicial x_1 y efectúa una decisión u_1 (que obviamente depende de x_1). Un evento w_1 es generado de acuerdo a la función de distribución $P_1(\cdot | x_1, u_1)$. El sistema se transforma al estado $x_2 = g_1(x_1, u_1, w_1)$ y un costo, denotado $f_1(x_2, u_1, w_1)$, es originado.

Etapas k.- El decisor observa el estado x_k y basado en ello efectúa la decisión u_k . Se produce un evento w_k de acuerdo a la distribución $P_k(\cdot | x_k, u_k)$ y el nuevo estado del sistema es $x_{k+1} = g_k(x_k, u_k, w_k)$ con un costo $f_k(x_k, u_k, w_k)$ que se suma a los anteriores.

Etapas final.- Un costo $f_N(x_{N+1})$ es originado debido a que se llegó al estado x_{N+1} y se suma a los anteriores.

La política $\Pi = (u_1^*, u_2^*, \dots, u_N^*)$ óptima es tal que minimiza (o maximiza) la expresión:

$$J_0(x_0) = \underset{(w_k)}{E} \left[f_{N+1}(x_{N+1}) + \sum_{i=1}^N f_i(x_i, u_i, w_i) \right]$$

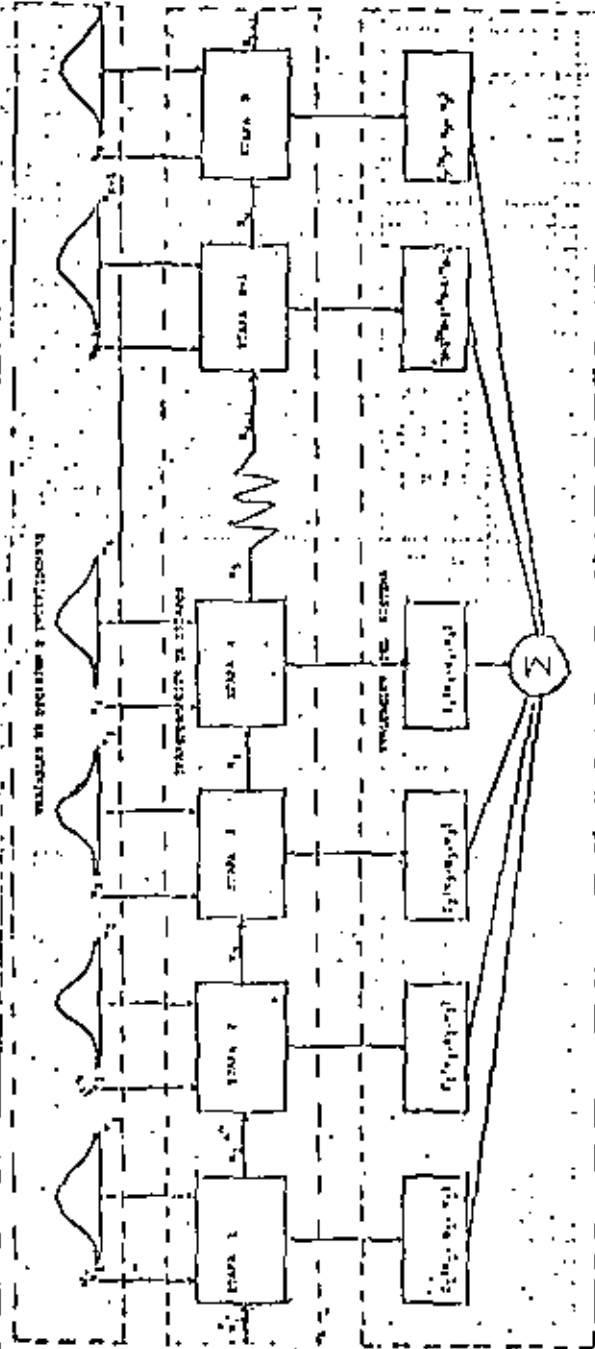


FIG. 3. Diagrama de desarrollo del sistema.

3.4 Las ecuaciones recursivas

Una manera de resolver el problema estocástico de N etapas de decisión es descomponerlo en N problemas de acuerdo al principio de la programación dinámica. En este principio lo que se pretende es resolver primero la última etapa y usar tales resultados para resolver la penúltima y así sucesivamente. Específicamente, el procedimiento que se realiza es como sigue:

En la etapa N, la decisión u_N a realizar depende únicamente del vector de estados x_N y de la forma en que se presentan los eventos probabilísticos de la variable w_N . En este caso, para cada valor de x_N lo que se pretende es determinar u_N^* que resuelva el problema.

$$J_N(x_N) = \min_{u_N} \sum_{w_N} [f_{N+1}(x_{N+1}) + f_N(x_N, u_N, w_N)]$$

donde $x_{N+1} = g_N(x_N, u_N, w_N)$, $u_N \in C_N$ y $w_N \in D_N$. Por simplicidad se supone que existe una decisión u_N^* tal que $f_N(x_N)$ es finito, con lo que el problema está bien definido.

En la etapa N-1, las decisiones (u_{N-1} , u_N) que se realicen dependen únicamente del vector de estados x_{N-1} y tales decisiones deberán tomar en cuenta el comportamiento de las variables estocásticas w_{N-1} y w_N . Dichas decisiones son óptimas si resuelven el problema

$$J_{N-1}(x_{N-1}) = \min_{\{u_i\}} E_{\{w_i\}} \left[f_{N+1}(x_{N+1}) + \sum_{i=N-1}^N f_i(x_i, u_i, w_i) \right]$$

sujeto a

$$x_{i+1} = g_i(x_i, u_i, w_i) \quad i=N-1, N$$

$$x_{i+1} \in E_i \quad u_i \in C_i \quad w_i \in D_i \quad i=N-1, N$$

Sin embargo, la función objetivo es equivalente a

$$\begin{aligned} J_{N-1}(x_{N-1}) &= \min_{u_{N-1}} E_{w_{N-1}} \left[f_{N-1}(x_{N-1}, u_{N-1}, w_{N-1}) + \right. \\ &\quad \left. \min_{u_N} E_{w_N} \left[f_{N+1}(x_{N+1}) + f_N(x_N, u_N, w_N) \right] \right] \\ &= \min_{u_{N-1}} E_{w_{N-1}} \left[f_{N-1}(x_{N-1}, u_{N-1}, w_{N-1}) + J_N(x_N) \right] \end{aligned}$$

y se concluye que la solución de la etapa N-1 es equivalente a resolver un problema con una sola decisión (u_{N-1}) y que dicho problema incorpora los valores óptimos del problema asociados con los estados x_N en la etapa N. Asimismo, una vez determinada u_{N-1} se observa que para cada w_{N-1} es posible determinar x_N por medio de $x_N = g_{N-1}(x_{N-1}, u_{N-1}, w_{N-1})$ y de aquí, usando los cálculos de la etapa N, se conoce la política u_N . De esta manera $\{u_{N-1}, u_N\}$ es la solución óptima del problema en la etapa N-1.

En la etapa $k=1, 2, \dots, N-1$ las decisiones a realizar, denotadas $\{u_k, u_{k+1}, \dots, u_{N-1}\}$ dependen únicamente del conocimiento del vector de estados x_k . Dichas soluciones son óptimas si resuelven el problema

$$J_k(x_k) = \min_{\{u_i\}} E_{\{w_i\}} \left[f_{N+1}(x_{N+1}) + \sum_{i=k}^N f_i(x_i, u_i, w_i) \right]$$

sujeto a

$$x_{i+1} = g_i(x_i, u_i, w_i) \quad i=k, \dots, N$$

$$x_{i+1} \in E_i \quad u_i \in C_i \quad w_i \in D_i \quad i=k, \dots, N$$

Sin embargo, la función objetivo es equivalente a

$$\begin{aligned} J_k(x_k) &= \min_{u_k} E_{w_k} \left[f_k(x_k, u_k, w_k) + \right. \\ &\quad \left. \min_{\{u_i\}} E_{\{w_i\}} \left[f_{N+1}(x_{N+1}) + \sum_{i=k+1}^N f_i(x_i, u_i, w_i) \right] \right] \\ &= \min_{u_k} E_{w_k} \left[f_k(x_k, u_k, w_k) + J_{k+1}(x_{k+1}) \right] \end{aligned}$$

y se observa que podemos resolver el problema de la etapa k, mediante un problema con una sola decisión (u_k), aunque para ello es necesario haber resuelto el problema de la etapa k+1, para todos los valores de x_{k+1} .

Como resultado de esta discusión se tiene

Proposición 2. La política de decisión y valor óptimo asociados con el problema básico estocástico pueden obtenerse mediante la solución de las ecuaciones

$$J_N(x_N) = \min_{u_N} E_{w_N} \left[f_{N+1}(x_{N+1}) + f_N(x_N, u_N, w_N) \right]$$

$$J_k(x_k) = \min_{u_k} E_{w_k} \left[f_k(x_k, u_k, w_k) + J_{k+1}(x_{k+1}) \right]$$

donde $k=1, \dots, N-1$. La primera ecuación se denomina condición de frontera y la segunda representa las ecuaciones recursivas de la programación dinámica.

1. (Trayectoria simple I). Considere la geometría y longitudes de un conjunto de calles de un solo sentido (fig. 1) y suponga que deseamos encontrar la trayectoria de longitud mínima que nos lleve del punto A al punto B. Una manera de resolver el problema es considerar el número de trayectorias distintas que parten de A y llegan a B, para después comparar sus longitudes y seleccionar la de mínima longitud. En el presente caso puede verificarse que existen 20 trayectorias distintas y que para determinar la longitud de cada una de ellas se requiere efectuar 5 sumas. Por otra parte, para determinar la trayectoria de mínima longitud se necesitan 19 comparaciones. Como puede observarse, se requiere para resolver este problema 100 sumas y 19 comparaciones de números.

la solución con programación dinámica

Empecemos por considerar el siguiente razonamiento: Si estoy en A solo tengo la opción ir a C o D. Si supongo que las trayectorias de longitud mas corta de C a B y de D a B las conozco y tales longitudes las denoto por L_C y L_D , respectivamente, entonces

$$L_A = \min \{ 1+L_C, 0+L_D \}$$

esto es, L_A sería la longitud de la trayectoria mas corta de A a B. El único problema de este razonamiento es que necesitamos conocer L_C y L_D .

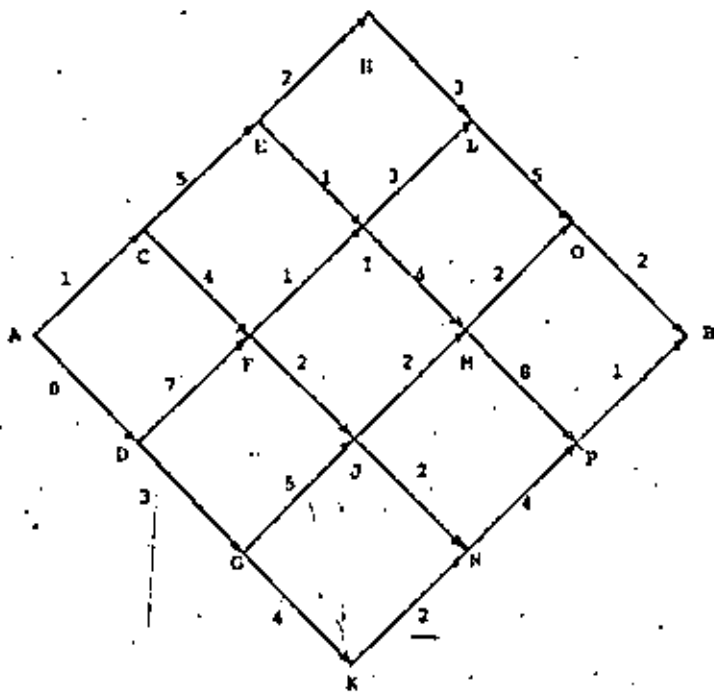


Fig. 1. Geometría de un conjunto de calles

Suponga que repito el razonamiento anterior con el punto C y defino L_E y L_F como las longitudes de las trayectorias más cortas de E a B y de F a B, respectivamente. Entonces se observa que

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

De manera semejante

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

Sólo falta aquí conocer L_E , L_F y L_G . Sin embargo, para ello se requiere conocer los valores de L_H , L_I , L_J y L_K , que a su vez dependen de L_L , L_M y L_N . Estas últimas longitudes dependen de L_O y L_P cuyos valores son triviales de calcular. Específicamente, $L_O = 2$ y $L_P = 1$. Por lo tanto se observa que:

$$L_L = 5 + L_O = 7 \quad ; \quad L_M = \min (2 + L_O, 8 + L_P) = 4$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Conviene estimar el esfuerzo requerido con este enfoque y

compararlo con el enfoque exhaustivo. En este caso se necesitó efectuar una suma en cada uno de los puntos H, I, O, K, M y P, pues una sola decisión existía. Asimismo se necesitó de dos sumas y una comparación en los nueve puntos restantes, pues existían dos decisiones. Por lo que en total se necesitó de 24 sumas y 9 comparaciones comparados con 100 sumas y 19 comparaciones para el caso exhaustivo ó también llamado de la fuerza bruta.

Las ecuaciones planteadas en cada nodo, por ejemplo:

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

Se denominan las ecuaciones recursivas de la programación dinámica y establecen de manera recurrente la preservación del criterio de optimalidad para determinar la trayectoria de longitud mínima. Asimismo, la condición (trivial) $L_B = 0$ se denomina la condición de frontera.

2. (Trayectoria Simple II). Considere la gráfica dirigida de la figura 2 y suponga que se desea determinar la trayectoria de mínima longitud de A a B. Observe que las posiciones relativas de los nodos de esta gráfica están dados por un par ordenado (x,y) donde x es la abscisa y la ordenada es denotada por y . También observe que si estamos en cualquier punto (x,y) y deseamos llegar al punto B, lo que haremos es siempre desplazarnos a la derecha ya sea aumentando o disminuyendo el valor de y . Específicamente, si estamos en (x,y) podemos desplazarnos al punto $(x+1, y+1)$ o bien $(x+1, y-1)$. Considerando estas observaciones podemos especificar la manera de calcular la trayectoria de mínima longitud de A a B.

Denote por $f(x,y)$ el valor de la trayectoria de mínima longitud si partimos del punto (x,y) y llegamos al punto B ó bien vértice $(6,0)$. Denote por $a(x,y)$ la longitud del arco que conecta el vértice (x,y) con el vértice $(x+1, y+1)$ y por $d(x,y)$ la longitud del arco que conecta al vértice (x,y) con el vértice $(x+1, y-1)$. Específicamente $a(x,y)$ es la longitud del arco cuando aumentamos el valor de y mientras que $d(x,y)$ es la longitud del arco cuando disminuimos el valor de y .

En términos de esta notación se observa que la ecuación recursiva para determinar $f(x,y)$ es dada por

$$f(x,y) = \min(a(x,y) + f(x+1, y+1), d(x,y) + f(x+1, y-1))$$

con la condición de frontera

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

Solución de las ecuaciones recursivas

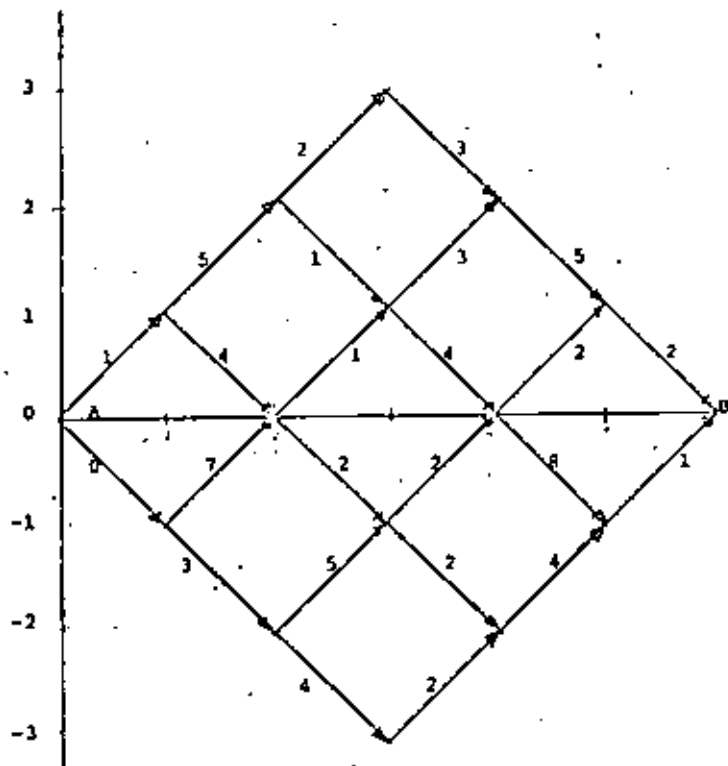


Fig. 2 Gráfica dirigida

Usando el hecho que $f(6,0)$ se tiene que

$$f(5,1) = \min (a(5,1) + f(6,0)) = \min (2+0) = 2$$

$$f(5,1) = \min (a(5,-1) + f(6,0)) = \min (1+0) = 1$$

De manera semejante

$$f(4,0) = \min (a(4,0) + f(5,1), d(4,0) + f(5,-1)) \\ = \min (2 + 2, 8 + 1) = 4$$

y así sucesivamente

$$f(4,2) = 7 \quad | \quad f(4,-2) = 5$$

$$f(3,3) = 10 \quad | \quad f(3,1) = 0$$

$$f(3,-1) = 6 \quad | \quad f(3,-3) = 7$$

$$f(2,2) = 9 \quad | \quad f(2,0) = 8$$

$$f(2,-2) = 11 \quad | \quad f(1,1) = 12$$

$$f(1,-1) = 14 \quad | \quad f(0,0) = 13$$

3. (problema de distribución de agua). Un canal es usado para la distribución de tres zonas de riego localizadas a 30, 50 y 75 km de la presa que surte el canal (fig. 1). En el presente período se dispone de 800 millones de metros (10^6) de agua y los costos de bombeo y beneficios de riego por un volumen dado a cada zona son conocidos y dados en la tabla siguiente:

Volumen (10^6 m ³)	Costo bombeo (Miles pesos/km)	Beneficios de riego (Miles de pesos)		
		$B_1(q)$	$B_2(q)$	$B_3(q)$
0	0	0	0	0
200	7.6	900	400	600
400	10.7	1250	760	980
600	13.2	1500	1090	1310
800	15.2	1690	1380	1600

Se desea determinar la política de distribución de agua que maximice los beneficios netos del sistema.

El problema puede verse como la determinación de los volúmenes q_1 , q_2 y q_3 asignados a cada zona de riego de manera que se maximice

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

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

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

La solución con programación dinámica.

Una manera de resolver este problema consiste en definir $J_k(q)$ como el máximo beneficio neto obtenido de distribuir un volumen q a las primeras k zonas de riego. Note que lo que desea es $J_3(800)$ y que se cumple la siguiente relación.

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

donde d_{k+1} es la distancia que existe entre la zona de riego $k+2$ y $k+1$; $c(q)$ es el costo de transporte por kilómetro del volumen q asignado a las $k+1$ primeras zonas; y $B_{k+1}(x)$ el beneficio obtenido de asignar un volumen x a la zona de riego $k+1$.

Esta relación es la ecuación recursiva de la programación dinámica. La condición de frontera es $J_0(q) = 0$ para toda q .

Solución de las ecuaciones recursivas.

Si $k=0$ se desea determinar la función

$$J_1(q) = \max (B_1(q_1) - 25c(q_1)) \quad | 0 \leq q_1 \leq q$$

cuyos valores quedan resumidos en (se pide verificar):

q	0	200	400	600	800
$J_1(q)$	0	710	982	1170	1310

y la decisión óptima en todos los casos es asignar todo el volumen de agua a la zona de riego 1. De manera semejante:

$$J_2(q_1) = \max \{ J_2(q, q_2) \mid 0 \leq q_2 \leq 2 \}$$

donde $J_2(q, q_2) = B_2(q_2) - 20 c(q) + J_1(q - q_2)$. Los correspondientes valores de $J_2(q)$ así como la decisión óptima se dan en la tabla siguiente:

q	q_2	$q - q_2$	$J_2(q, q_2)$	$J_2(q)$	Asignación óptima
0	0	0	0	0	0
200	0	200	558	508	$q^*_2 = 0$ $q^*_1 = 200$
	200	0	248		
400	0	400	768	896	$q^*_2 = 200$ $q^*_1 = 200$
	200	200	896		
	400	0	546		
600	0	600	906	1206	$q^*_2 = 400$ $q^*_1 = 200$
	200	400	1110		
	400	200	1206		
	600	0	826		
800	0	800	1006	1496	$q^*_2 = 600$ $q^*_1 = 200$
	200	600	1206		
	400	400	1430		
	600	200	1496		
	800	0	1076		

Finalmente se observa que

$$J_3(q) = \max \{ J_3(q, q_3) \mid 0 \leq q_3 \leq q \}$$

donde $J_3(q, q_3) = B_3(q_3) - 30 c(q) + J_2(q - q_3)$ cuya solución óptima para $q = 800$ se muestra a continuación:

q	q_3	$q - q_3$	$J_3(q, q_3)$	$J_3(q)$	Asignación óptima
800	0	800	1040	1420	$q^*_3 = 400$ $q^*_2 = 200$ $q^*_1 = 200$
	200	600	1350		
	400	400	1420		
	600	200	1412		
	800	0	1144		

4. (El problema del jugador). Un jugador dispone de 3 pesos y tiene opción de participar hasta cuatro veces en el siguiente juego: Se puede apostar 0, 1, 2, 3, ..., pesos. La probabilidad de ganar la apuesta es 0.6 y se obtiene dos veces el dinero que se apostó. La probabilidad de perder es 0.4 y se pierde la cantidad que se apostó. Se desea determinar la estrategia que permita maximizar la probabilidad de terminar el juego con una cantidad mínima de 5 pesos y el valor de dicha probabilidad.

La solución con programación dinámica.

Con el propósito de establecer un método para resolver el problema empezaremos por definir $f_i(x)$ como la máxima probabilidad de terminar el juego con al menos 5 pesos dado, dado que se han realizado i jugadas, se tiene x pesos y el número máximo de jugadas permitidas es cuatro. Entonces se cumple que

$$f_i(x) = \max_{u_i} \{0.6 f_{i+1}(2u_i + (x-u_i)) + 0.4 f_{i+1}(x-u_i)\}$$

donde $u_i = 0, \dots, x$. Asimismo, $f_5(x) = 1$ si $x \geq 5$; $f_5(x) = 0$ si $x < 5$; $f_i(x) = 1$ si $x \geq 5$ para toda $i = 2, 3, 4$.

Solución de las ecuaciones recursivas.

Si $i=4$ se observa que

$$f_4(x) = \min_{u_4} \{0.6 f_5(2u_4 + (x-u_4)) + 0.4 f_5(x-u_4)\}$$

donde $u_4 = 0, 1, 2, \dots, x$ y cuya solución se muestra en:

x	1	2	3	4
$f_4(x)$	0	0	0.6	0.6
u_4	-	-	2, 3	1, 2, 3, 4

De manera semejante la solución para $i=3$, y $i=2$ se muestra en las tablas siguientes

x	1	2	3	4
$f_3(x)$	0	.36	0.6	0.84
u_3	-	1, 2	0, 2, 3	1
$f_2(x)$	0.216	0.504	0.648	0.84
u_2	1	2	1	0, 1

Finalmente

$$f_1(3) = \max \{0.648, 0.7056, 0.6864, 0.6\} = 0.7056$$

y la decisión óptima es $u_1 = 3$.

Ejemplos

1. Considere un sistema de aprovechamiento hidráulico consistente de un vaso y un distrito de riego (fig. 1). Suponga que los escurrimientos que llegan al vaso en cada período son estocásticamente independientes y tienen función de densidad.

Q	0	1/2	3/4	1
P(Q)	1/6	2/6	2/6	1/6

Considere que la capacidad del vaso es uno y que la siguiente política de asignación de agua es usada

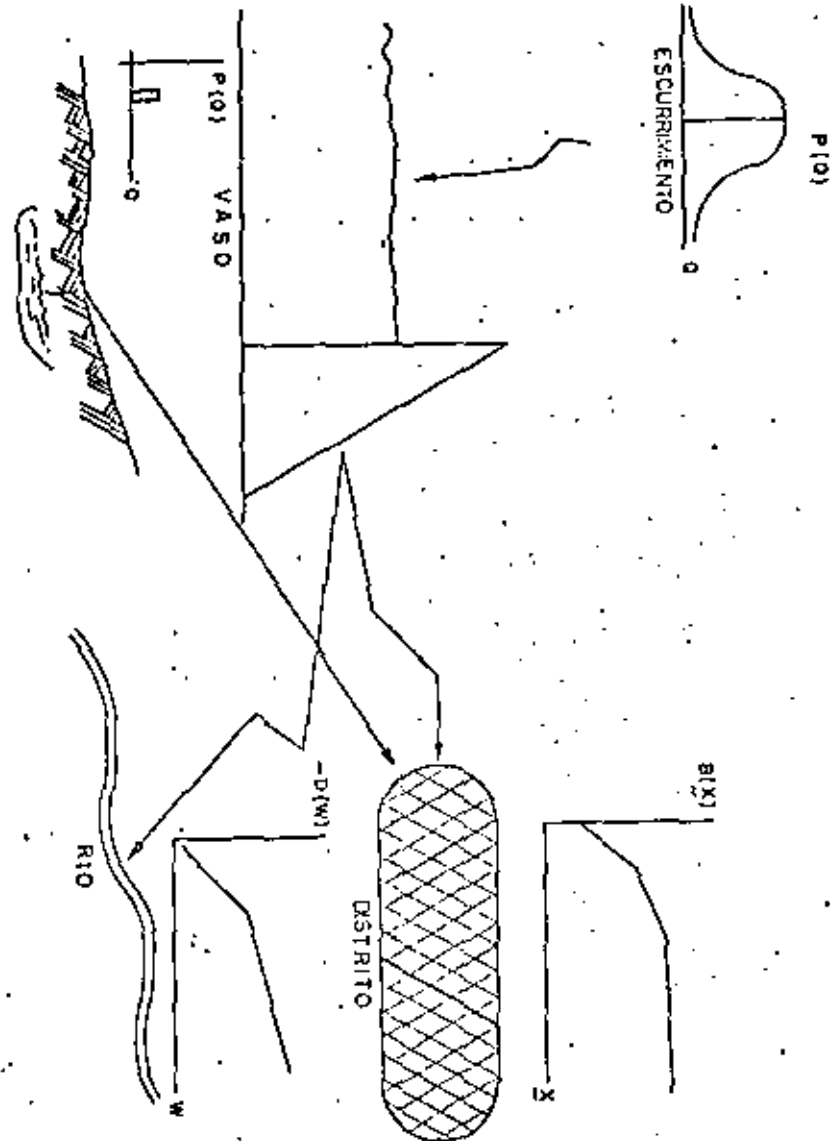
S	0	1/4	1/2	3/4	1
w	1/4	1/4	1/2	3/4	3/4

donde S es el nivel de almacenamiento al principio del período y w el agua prometida para riego.

Especifique las probabilidades $P(S_{n+1} = y \mid S_n = x)$ donde $x, y = 0, 1/4, 1/2, 3/4$ y 1 que debido a la independencia de los escurrimientos de un período a otro es equivalente a determinar la correspondiente matriz de transición P.

Suponga que la estructura de costos del problema anterior es como sigue: Los beneficios obtenidos de prometer (y no necesariamente entregar) un volumen x de agua al distrito son:

FIG. 2 EL SISTEMA DE APROVECHAMIENTOS HIDRAULICOS



x	0	1/4	1/2	3/4	1
B(x)	0	2	7/2	9/2	5

Asimismo, si x es el volumen de agua prometido y \bar{x} el entregado, la penalización debida al déficit de agua $x - \bar{x} \geq 0$ es

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

y la debida a derramar un volumen z es:

z	0	1/4	1/2	3/4	1
D(z)	0	-3/2	-4	-4	-4

Determine la política óptima de extracción de agua usando:

- El método de Howard
- Aproximaciones sucesivas normal
- Aproximaciones sucesivas modificado
- Programación lineal.

Modelación del problema

Una manera de analizar el problema anterior es postular un modelo en que se consideren de manera explícita la forma en que cambian los almacenamientos de un período a otro, dada las decisiones de prometer un volumen de agua y establecer si existen déficits en la entrega de agua o bien derrames de la misma. Dicho modelo deberá considerar el carácter estocástico de los escurrimientos al vaso y un criterio de jerarquización de alternativas de operación para un número N de periodos de planeación.

El modelo propuesto se presenta en la siguiente hoja en donde (1) representa la ecuación de balance de entradas y salidas de agua; (2) establece que el almacenamiento del vaso debe estar entre $\bar{S} = 0$ y $\bar{S} = 1$; (3) especifica que el volumen de agua entregado es no-negativo y menor o igual que el volumen de agua prometida; y (4) especifica que el volumen de agua derramado es no-negativo. En el modelo se supone que todos los eventos en las restricciones se afectan al principio de cada período. Por otra parte, la función objetivo considera de manera explícita los beneficios de asignación de agua, así como los déficits en la entrega y la debida a derrames, todos ellos convenientemente actualizados.

Reformulación del modelo

Conviene proceder a reformular el modelo descrito con el propósito de establecer un método de solución. Para ello defina

$\psi_i(S_i)$, el valor máximo esperado de los beneficios netos actualizados, obtenidos del año i al N , dado un almacenamiento inicial S_i . Una manera recursiva de obtener $\psi_i(S_i)$ es dada como sigue:

$$\psi_i(S_i) = \max_{x_i \in Q_i} E_{Q_i} (R(x_i, x_i, w_i) + \theta \psi_i(S_{i+1}))$$

donde $R(x_i, x_i, w_i) = B(x_i) + T(x_i - x_i) + D(w_i)$ y Q_i representa el conjunto de valores x_i que satisfacen las restricciones. Esta ecuación recursiva es la fórmula de la programación dinámica y tiene condición de frontera $\psi_0(S_0) = 0$.

Considerando que se desea establecer la estrategia de extracción de agua del vaso para un número finito de niveles (i.e., $S_i = 0, 1/4, 1/2, 3/4, 1$) y tomando en cuenta la independencia estocástica de los escurrimientos podemos discretizar la fórmula recursiva para obtener:

$$\psi_i(r) = \max_k \left[\sum_{s=1}^5 P_{rs}^k \left[S_{rs}^k + \theta \psi_{i+1}(s) \right] \right]$$

donde el índice $r = 1, 2, 3, 4$ y 5 denota los respectivos valores (estados) del almacenamiento $S_i = 0, 1/4, 1/2, 3/4$ y 1 , respectivamente. Lo mismo es cierto del índice $s = 1, 2, 3, 4$ y 5 .

Asimismo, k representa las posibles estrategias de decisión, esto es, $k = 1, 2, 3, 4$ y 5 especifica que el agua prometida para riego es $x_i = 0, 1/4, 1/2, 3/4$ y 1 , respectivamente. Los valores de las matrices de transición $[P_{rs}^k]$ y de beneficios inmediatos $[R_{rs}^k]$ se dan en la tabla 1. Con esto se logra reformular la problemática analizada como un proceso de Markov con descuento.

MODELO DE ASIGNACION DE AGUA

$$\text{Maximice } E_{Q_i} \left[\sum_{i=1}^N \theta^{i-1} (B(x_i) + T(x_i - x_i) + D(w_i)) \right]$$

sujeto a :

$$(1) \quad S_{i+1} = S_i + Q_i - x_i - z_i$$

$$(2) \quad 0 \leq S_i \leq S$$

$$(3) \quad 0 \leq x_i \leq x_1$$

$$(4) \quad 0 \leq w_i$$

donde $i = 1, \dots, N$.

a. Aplicación del método de Howard

La política inicial es

Estado	1	2	3	4	5
Decisión	2	2	3	4	4

y la correspondiente matriz de transición y vector de beneficios inmediatos es:

$$P = \begin{bmatrix} 1/6 & 2/6 & 2/6 & 1/6 & 0 \\ 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \\ 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \\ 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \\ 0 & 1/6 & 0 & 2/6 & 3/6 \end{bmatrix} \quad q = \begin{bmatrix} 1.33 \\ 2.00 \\ 3.50 \\ 4.50 \\ 4.25 \end{bmatrix}$$

y el sistema de ecuaciones asociado con esta política es

$$v = q + \beta P v \quad \text{cuya solución } v = [I - \beta P]^{-1} q \text{ es:}$$

$$v = [8.02, 19.42, 20.92, 21.92, 22.22]$$

Usando la rutina de mejoramiento de políticas (Tabla 2) se observa que es necesario cambiar en los estados 2 y 5 la política de extracción original 2 y 4 por 3 y 5, respectivamente.

La nueva política de extracción

Estado	1	2	3	4	5
Decisión	2	3	1	4	5

cuya matriz de transición y vector de beneficios inmediatos es:

$$P = \begin{bmatrix} 1/6 & 2/6 & 2/6 & 1/6 & 0 \\ 1/6 & 2/6 & 2/6 & 1/6 & 0 \\ 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \\ 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \\ 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \end{bmatrix} \quad q = \begin{bmatrix} 1.33 \\ 2.83 \\ 3.50 \\ 4.50 \\ 5.00 \end{bmatrix}$$

La solución del sistema de ecuaciones $v = q + \beta P v$ dada por

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

$$v = [8.18, 19.68, 21.08, 22.08, 22.58]$$

y puede comprobarse de la tabla 2 que dicha política es óptima.

Finalmente, conviene señalar que el vector de probabilidades estacionarias π tal que $\pi = \pi P$ es dado por

$$\pi = \left[\frac{4}{24}, \frac{2}{24}, \frac{8}{24}, \frac{7}{24}, \frac{3}{24} \right]$$

Tabla 1. Matrices de transición y beneficios inmediatos asociados.

Estado Almacenamiento)	Política (Extracción)	Probabilidad $[p_{ij}^k]$					Beneficio Neto inmediato $[R_{sk}^k]$					Beneficio inmediato esperado $\sum_{s=1}^5 p_{sk}^k R_{sk}^k$	
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
1 (0)	1 (0)	1/6	0	2/6	2/6	1/6	0	0	0	0	0	0	0
	2 (1/4)	1/6	2/6	2/6	1/6	0	-2	2	2	2	0	0	4/3
	3 (2/4)	3/6	2/6	1/6	0	0	7/6	7/2	7/2	0	0	0	7/6
	4 (3/4)	5/6	1/6	0	0	0	11/10	9/2	0	0	0	0	5/3
	5 (1)	1	0	0	0	0	-2/6	0	0	0	0	0	-2/6
2 (1/4)	1 (0)	0	1/6	0	2/6	3/6	0	0	0	0	-1/3	0	-3/4
	2 (1/4)	1/6	0	2/6	2/6	1/6	2	0	2	2	2	0	2
	3 (1/2)	1/6	2/6	2/6	1/6	0	-1/2	7/2	7/2	7/2	0	0	17/6
	4 (3/4)	3/6	2/6	1/6	0	0	13/6	9/2	9/2	0	0	0	10/3
	5 (1)	5/6	1/6	0	0	0	8/5	5	0	0	0	0	13/6
3 (1/2)	1 (0)	0	0	1/6	0	5/6	0	0	0	0	-14/6	0	-35/18
	2 (1/4)	0	1/6	0	2/6	3/6	0	2	0	2	9/6	0	7/4
	3 (1/2)	1/6	0	2/6	2/6	1/6	7/2	0	7/2	7/2	7/2	0	7/2
	4 (3/4)	1/6	2/6	2/6	1/6	0	+1/2	9/2	9/2	9/2	0	0	23/6
	5 (1)	3/6	2/6	1/6	0	0	8/3	5	5	0	0	0	23/6
4 (3/4)	1 (0)	0	0	0	1/6	5/6	0	0	0	0	-3	0	-5/2
	2 (1/4)	0	0	1/6	0	5/6	0	0	2	0	3/5	0	5/6
	3 (1/2)	0	1/6	0	2/6	3/6	0	7/2	0	7/2	3	0	13/4
	4 (3/4)	1/6	0	2/6	2/6	1/6	9/2	0	9/2	9/2	9/2	0	9/2
	5 (1)	1/6	2/6	2/6	1/6	0	1	5	5	5	0	0	13/3
5 (1)	1 (0)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-20/6	0	-10/3
	2 (1/4)	0	0	0	1/6	5/6	0	0	0	2	-1	0	-1/2
	3 (1/2)	0	0	1/6	0	5/6	0	0	7/2	0	21/10	0	7/3
	4 (3/4)	0	1/6	0	2/6	3/6	0	9/2	0	9/2	4	0	17/4
	5 (1)	1/6	0	2/6	2/6	1/6	5	0	5	5	5	0	5

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

Estado (Almacenamiento)	Decisión (Extracción)	$q_i^k + \sum_{j=1}^5 p_{ij}^k v_j$	
		Iteración 1	Iteración 2
1	1	17.42	17.58
	2	18.02 *	18.19 *
	3	18.91	17.07
	4	16.31	17.07
	5	14.02	14.75
2	1	17.22	17.45
	2	19.42 *	19.58
	3	19.52	19.68 *
	4	19.08	19.24
	5	17.31	17.46
3	1	16.32	16.59
	2	19.72	19.95
	3	20.92 *	21.08 *
	4	20.52	20.68
	5	19.58	19.74
4	1	15.90	16.17
	2	19.10	19.36
	3	21.22	21.45
	4	21.92 *	22.08 *
	5	21.02	21.18
5	1	15.11	15.40
	2	17.90	18.17
	3	20.60	20.86
	4	22.22 *	22.45 *
	5	22.42	22.55 *

* Indica la política que se proponía como óptima.

a. Aplicación del método de Howard con otra política inicial
 Considero ahora la política inicial

Estado	1	2	3	4	5
Decisión	5	5	5	5	5

con matriz de transición y vector de beneficios dado por

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 5/6 & 1/6 & 0 & 0 & 0 \\ 3/6 & 2/6 & 1/6 & 0 & 0 \\ 1/6 & 2/6 & 2/6 & 1/6 & 0 \\ 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \end{bmatrix} \quad q = \begin{bmatrix} -2/6 \\ 13/6 \\ 23/6 \\ 13/6 \\ 5 \end{bmatrix}$$

El sistema de ecuaciones asociado a esta política es $vq + \beta Pv$
 cuya solución $v = (I - \beta P)^{-1} q$ está dada por

$$v = [-1.96, 0.94, 1.81, 6.24, 4.71]^t$$

Puede observarse de la tabla 4, que la política no es óptima y
 que debe remplazarse por

Estado	1	2	3	4	5
Decisión	1	2	2	3	4

con matriz de transición y vector de beneficios dado por

$$P = \begin{bmatrix} 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \\ 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \\ 0 & 1/6 & 0 & 2/6 & 3/6 \\ 0 & 1/6 & 0 & 2/6 & 3/6 \\ 0 & 1/6 & 0 & 2/6 & 3/6 \end{bmatrix} \quad q = \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \\ 7/4 \\ 13/4 \\ 17/4 \end{bmatrix}$$

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

$$v = [15.54, 17.54, 18.25, 19.75, 20.75]^t$$

Puede observarse de la tabla 4, que la política no es óptima y
 que debe remplazarse por

Estado	1	2	3	4	5
Decisión	2	3	3	4	4

con matriz de transición y vector de beneficios

$$P = \begin{bmatrix} 1/6 & 2/6 & 2/6 & 1/6 & 0 \\ 1/6 & 2/6 & 2/6 & 1/6 & 0 \\ 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \\ 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \\ 0 & 1/6 & 0 & 2/6 & 3/6 \end{bmatrix} \quad q = \begin{bmatrix} 4/3 \\ 17/6 \\ 7/2 \\ 9/2 \\ 17/4 \end{bmatrix}$$

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

$$v = [18.09, 19.59, 20.96, 21.96, 22.38]^t$$

y se observa de la tabla 4 que la política debe reemplazarse por $[2, 3, 3, 4, 5]$ que puede verificarse es la política óptima.

b. Aplicación del método de aproximaciones sucesivas.

Considere la ecuación recursiva de la programación dinámica correspondiente al proceso markoviano con ganancias asociado al problema de asignación:

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

donde k es la política de asignación de agua y tiene como valores $k = 1, 2, 3, 4$ y 5 correspondientes a extraer $0, 1/4, 1/2, 3/4$ ó 1 , respectivamente, del vaso. En esta ecuación $\delta = 0.81$ y los valores de los beneficios inmediatos q_i^k así como las probabilidades de transición P_{ij}^k asociadas con cada política se muestran en la tabla 1.

El proceso de solución directo de las ecuaciones recursivas anteriores se denomina método de aproximaciones sucesivas y representa una alternativa para la solución del problema de asignación. En la tabla 3 se muestran los valores de los beneficios esperados en m etapas para cada uno de los estados iniciales del vaso, esto es, los correspondientes valores $v_i(m)$ para $i=1, 2, 3, 4$ y 5 y $m = 1, 2, \dots$. En dicha tabla se observa la convergencia de estos valores y la correspondiente política óptima.

c. Aplicación del método modificado de aproximaciones sucesivas

Considera las ecuaciones recursivas modificadas de la programación dinámica correspondiente al proceso markoviano con ganancias asociado al problema de asignación:

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

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

donde $i=2,3,4,5$ y k es la política de asignación de agua cuyos valores 1,2,3,4 y 5 corresponden a extracciones 0, 1/4, 1/2, 3/4 y 1, respectivamente. En esta ecuación $\beta = 0.83$ y los valores de los beneficios inmediatos q_i^k así como las probabilidades de transición P_{ij}^k asociadas con cada política se muestran en la Tabla 1.

En la Tabla 4 se muestran los resultados del método modificado de aproximaciones sucesivas, también denominado método de Gauss-Seidel debido a su semejanza con el correspondiente método de solución de ecuaciones lineales. La tabla muestra los valores óptimos esperados asociados con cada etapa y cada estado, esto es, $v_i^k(m)$ para $i=1,2,3,4$ y 5 y $m=1,2,\dots$. Así como las correspondientes políticas óptimas.

Tabla 1. Método de aproximaciones sucesivas

Etapa	Valores óptimos para cada estado					Política óptima para cada estado				
	$v_1(m)$	$v_2(m)$	$v_3(m)$	$v_4(m)$	$v_5(m)$	$k_1(m)$	$k_2(m)$	$k_3(m)$	$k_4(m)$	$k_5(m)$
0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	5
1	1.67	3.23	3.83	4.5	5	2	3	3	3	5
2	4.17	5.67	6.71	7.73	8.23	2	3	3	3	5
3	6.31	7.91	9.21	10.21	10.71	2	3	3	3	5
4	8.37	9.87	11.24	12.24	12.74	2	3	3	3	5
5	10.03	11.53	12.92	13.92	14.42	2	3	3	3	5
6	11.41	12.92	14.31	15.31	15.81	2	3	3	3	5
7	12.56	14.06	15.46	16.46	16.95	2	3	3	3	5
8	13.51	15.01	16.41	17.41	17.91	2	3	3	3	5
9	14.31	15.81	17.21	18.21	18.71	2	3	3	3	5
10	14.96	16.46	17.86	18.86	19.36	2	3	3	3	5
11	16.34	17.84	19.24	20.34	20.74	2	3	3	3	5
12	17.12	18.62	20.02	21.02	21.52	2	3	3	3	5
13	17.58	19.08	20.48	21.48	21.98	2	3	3	3	5
14	17.87	19.37	20.77	21.77	22.27	2	3	3	3	5
15	17.96	19.46	20.86	21.86	22.36	2	3	3	3	5
16	18.06	19.56	20.96	21.96	22.46	2	3	3	3	5
17	18.10	19.50	21.00	22.00	22.50	2	3	3	3	5

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

KEY TO COLUMN HEADINGS: (SELECTED FOR EFFECTIVE MONTHS)

X : FIXED VARIABLE
 P : PLUS VARIABLE
 M : MINUS VARIABLE
 F : FREE VARIABLE

1 : MONTHLY VARIABLE WITH COORDINATE
 2 : QUARTERLY VARIABLE WITH COORDINATE
 3 : SEMI-ANNUAL VARIABLE WITH COORDINATE
 4 : ANNUAL VARIABLE WITH COORDINATE

Y : EQUIVALENT VARIABLE
 I : INTEGER VARIABLE

70	PR	1	1.000000000 F V1	1.000000000 F V2	1.000000000 F V3	1.000000000 F V4
215 LO:	-INF		1.000000000 F V5			
215 UP:	+INF					
P1	GE	2	.861600000 F V1	-.276600000 F V2	-.276600000 F V3	-.138400000 F V4
215 LO:	0.000000000					
215 UP:	+INF					
P2	GE	3	.861600000 F V1	-.276600000 F V2	-.276600000 F V3	-.138400000 F V4
215 LO:	1.333300000					
215 UP:	+INF					
P3	GE	4	.585100000 F V1	-.276600000 F V2	-.138400000 F V3	
215 LO:	1.165700000					
215 UP:	+INF					
P4	GE	5	.308300000 F V1	-.176400000 F V2		
215 LO:	1.655700000					
215 UP:	+INF					
P5	GE	6	.170000000 F V1			
215 LO:	-.333300000					
215 UP:	+INF					
P6	GE	7	.861600000 F V1	-.276600000 F V2	-.415000000 F V3	
215 LO:	-.750000000					
215 UP:	+INF					
P7	GE	8	-.138400000 F V1	1.000000000 F V2	-.276600000 F V3	-.276600000 F V4
215 LO:	2.000000000		-.138400000 F V5			
215 UP:	+INF					
P8	GE	9	-.138400000 F V1	1.000000000 F V2	-.276600000 F V3	-.138400000 F V4
215 LO:	2.000000000					
215 UP:	+INF					
P9	GE	10	-.415000000 F V1	.721600000 F V2	-.138400000 F V3	
215 LO:	3.333300000					
215 UP:	+INF					
P10	GE	11	-.601700000 F V1	.541600000 F V2		
215 LO:	2.165700000					
215 UP:	+INF					
P11	GE	12	.861600000 F V1	-.415000000 F V2		
215 LO:	-1.244400000					
215 UP:	+INF					

P14	015 L01	000000000					
	015 UP1	+1IF					
P14	015 L01	000000000					
	015 UP1	+1IF					
P15	015 L01	3.333300000	-133400000 F V1	-270000000 F V2	.722400000 F V3	-130400000 F V4	
	015 UP1	+1IF					
P15	015 L01	000000000					
	015 UP1	+1IF					
P16	015 L01	3.333300000	-415000000 F V1	-270000000 F V2	.801600000 F V3		
	015 UP1	+1IF					
P16	015 L01	000000000					
	015 UP1	+1IF					
P17	015 L01	2.500000000	.261600000 F V4	-1.001700000 F V5			
	015 UP1	+1IF					
P17	015 L01	000000000					
	015 UP1	+1IF					
P18	015 L01	3.250000000	-130400000 F V3	1.000000000 F V4	-1.001700000 F V5		
	015 UP1	+1IF					
P18	015 L01	000000000					
	015 UP1	+1IF					
P19	015 L01	4.500000000	-139400000 F V2	.722400000 F V4	-415000000 F V5		
	015 UP1	+1IF					
P19	015 L01	000000000					
	015 UP1	+1IF					
P20	015 L01	4.500000000	-139400000 F V1	-270000000 F V2	.722400000 F V3	-130400000 F V4	
	015 UP1	+1IF					
P20	015 L01	000000000					
	015 UP1	+1IF					
P21	015 L01	3.333300000	-130400000 F V1	-270000000 F V2	-270000000 F V3	.861000000 F V4	
	015 UP1	+1IF					
P21	015 L01	000000000					
	015 UP1	+1IF					
P22	015 L01	3.000000000	.170000000 F V5				
	015 UP1	+1IF					
P22	015 L01	000000000					
	015 UP1	+1IF					
P23	015 L01	2.333300000	-130400000 F V4	.101300000 F V5			
	015 UP1	+1IF					
P23	015 L01	000000000					
	015 UP1	+1IF					
P24	015 L01	4.250000000	-130400000 F V2	-270000000 F V4	.500000000 F V5		
	015 UP1	+1IF					
P24	015 L01	000000000					
	015 UP1	+1IF					
P25	015 L01	5.000000000	-130400000 F V1	-270000000 F V3	-270000000 F V4	.500000000 F V5	
	015 UP1	+1IF					

A. Convergencia de los métodos de solución.

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

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

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

$$D = \lim_{m \rightarrow \infty} \|(\beta p)^m\|$$

que equivale a $0 = \lim_{m \rightarrow \infty} (\beta p)^m$. Como consecuencia tenemos:

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

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

Prueba. Empezaremos por hacer notar que

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

De donde al N tender a infinito se tiene que $(\beta P)^N$ tiende a 0 y la inversa de $[I - \beta P]$ es como se postuló.

Considero la fórmula recursiva

$$(1) \quad U(m) = \max_k \left[q^k + \beta p^k U(m-1) \right] \quad m=1, 2, \dots,$$

donde p^k es la matriz de transición asociada a la política k ; q^k es el vector de beneficios inmediatos asociado a la política k ; y, $0 < \beta < 1$ factor de descuento. Supongamos que se adopta una política de decisión fija para todas las etapas de la ecuación recursiva. Entonces dicha ecuación se reduce a

$$U(m) = q + \beta P U(m-1)$$

para toda m . Sin embargo, esto equivale a

$$U(m) = q + \beta P U(m-1)$$

$$U(m-1) = q + \beta P U(m-2)$$

$$\vdots$$

$$\vdots$$

$$\vdots$$

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

y se tiene que

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

pero, debido a la proposición 1, podemos implicar que

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

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

a. Convergencia del método de Howard

Uno de los aspectos fundamentales para resolver la ecuación recursiva de la programación dinámica con este método es que para toda iteración se requiera calcular:

$$[I - \beta P]^{-1}$$

donde P es la matriz de transición que se supone óptima y $0 < \beta < 1$ el factor de descuento. La existencia de la inversa de $[I - \beta P]$ justifica cada paso del método y su terminación es garantizada porque el número posible de matrices de transición distintas es finito.

b. Convergencia del método de aproximaciones sucesivas

Considere la fórmula recursiva (1) como sigue:

$$T_V = \max_k [q^k + \beta P^k v]$$

esto es, $T: R^n \rightarrow R^n$ es un mapeo definido por una operación de maximización. En este mapeo se cumple que para algún valor de K, denotado k , se adquiere el máximo, esto es,

$$T(V) = q^k + \beta P^k v$$

debido a que el número de políticas de decisión es finito.

La propiedad básica del mapeo $T(V)$ queda resumida en:

Proposición 2. Considere el mapeo

$$T_v = \max_k [q^k + \beta P^k v]$$

donde P^k matriz transición asociada a la política k ; q^k vector de beneficios inmediatos asociado a k ; β factor de descuento ($0 < \beta < 1$); y v vector columna de n componentes. Entonces T es un mapeo de contracción.

Prueba. Dados u y v sabemos existen k_1 y k_2 tales que

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

Asimismo, se observa que

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

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

Por otra parte $T_u - T_v \geq \beta P^{k_1} [u - v]$ y se concluye que

$$\beta P^{k_1} [v - u] \geq T_v - T_u \geq \beta P^{k_2} [v - u]$$

Sin embargo $\|\beta P^{k_1} [v - u]\| = \beta \|v - u\|$ para $k=1,2$ (usando la norma $\|x\| = \max \{|x_i|, i=1, \dots, n\}$). Por lo tanto se tiene que $\|T_v - T_u\| \leq \beta \|v - u\|$ y T es una contracción.



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

FUDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

ESTUDIOS DE SIMULACION PARA LA AMPLIACION DEL METRO DE LA
CIUDAD DE MEXICO

Ing. Alfonso Díaz Andrade

Noviembre, 1981

I N D I C E

1. ANTECEDENTES
2. POSIBLES ENFOQUES EN LA SOLUCION DEL PROBLEMA
3. MODELO EXTERNO
4. MODELO INTERNO
5. IMPLEMENTACION EN COMPUTADOR
6. APLICACION DEL MODELO
7. CONCLUSIONES
8. BIBLIOGRAFIA
9. FIGURAS
10. INDICE DE FIGURAS

1. ANTECEDENTES.

Una vez concluidos el proyecto y construcción de las 3 líneas básicas del Metro de la Ciudad de México, y puesto en operación completa en 1970, se observó el éxito de este sistema de transporte masivo, cuyo crecimiento ha permitido manejar hasta 1,500,000 pasajeros diarios. El constante crecimiento de la Ciudad permite prever la necesidad de una expansión paulatina del sistema.

El desarrollo de nuevas técnicas de análisis y datos cuantitativa y cuantitativamente superiores, sugieren el desarrollo de procedimientos de evaluación más perfeccionados para cumplir los mismos objetivos planteados para la primera etapa.

En la enorme cantidad de posibles alternativas de construcción todas técnicamente factibles, debería seleccionarse la combinación de extensiones a líneas actuales y construcción de nuevas líneas que proporcionara los mejores resultados.

Señalan a la vista, diferentes preguntas:

¿La alternativa propuesta tiene una buena captación de pasajeros?

¿Cada una de las nuevas líneas, proporciona un incremento razonable en pasajeros?

¿Una alternativa con buena captación es técnicamente operable?

¿Para dos alternativas con captación semejante, cual opera con menor costo e inversión en material rodante?

¿Que problemas de congestionamiento presenta cada alternativa?

¿Las estaciones de correspondencia (transferencia de una línea a otra) que actualmente se encuentran cerca del punto de saturación, son aliviadas?

¿Cuál es la distribución óptima de trenes entre las diferentes líneas?

¿Cuál es la frecuencia de trenes que minimiza el tiempo de espera de pasajeros en las estaciones y con que incremento de costo de operación?

La solución a estas preguntas, son el objetivo primordial de los Modelos desarrollados para la evaluación de alternativas.

Estos son los Modelos Externo e Interno.

Como es fácil imaginar, la expansión del sistema, provocará un patrón de viajes diferentes al actual y su proyección no

puede ser obtenida por la simple extrapolación del patrón actual.

Por consiguiente son requeridas herramientas para la investigación del funcionamiento del Metro, no sólo como ayuda para la evaluación de alternativas, sino también para la mejor distribución de equipo y para el ajuste de ésta durante la operación.

2. POSIBLES ENFOQUES EN LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA.

Los dos enfoques básicos que han sido utilizados para la solución del problema, son métodos analíticos y las técnicas de simulación. La evaluación analítica es satisfactoria, pero adolece de los siguientes defectos: su aplicación es limitada y no es lo suficientemente flexible para permitir el estudio de diferentes alternativas. Las técnicas de simulación permiten manejar bajo el mismo estándar de comparación a todas las alternativas. El planteamiento de un Modelo de Programación Lineal, requeriría un gran número de variables y restricciones, y no permitiría el análisis de problemas de congestión horario, dentro de límites razonables de tiempo de computador. Por otra parte, para el mismo grado de confiabilidad de resultados, los estudios por técnicas de simulación son más económicos que por los métodos de Programación Lineal. Por estas razones se decidió utilizar las técnicas de simulación.

Con objeto de obtener herramientas más flexibles, se diseñaron e implementaron dos modelos operativamente independientes, pero con transferencia de información del primero hacia el segundo. Estos modelos fueron bautizados como Externo e Interno.

El Modelo Externo es una representación del movimiento de pasajeros en transporte colectivo de la Ciudad, viajando sobre una red de avenidas y calles a una velocidad constante por sector, conociendo los orígenes y destinos de los pasajeros en un instante dado. A la red de avenidas y calles se encuentra superpuesta la red de Metro, con velocidades constantes, superiores a la red superficial.

El efecto de expandir el sistema, se manifiesta al conectar las líneas propuestas en la alternativa en estudio a la red de Metro existente y analizar por medio del Algoritmo de Ruta Mínima las nuevas rutas de viaje de los usuarios. La presencia de nuevas rutas de Metro (de mayor velocidad) atraerá pasajeros que originalmente utilizan la red superficial, a utilizar el Metro.

El resultado del Modelo Externo es una Matriz Origen-Destino de pasajeros del Metro. Este es uno de los datos primordiales para el Modelo Interno.

El Modelo Interno representa la operación del Sistema completo y está dividido en 3 submodelos:

- Submodelo de Distribución
- Submodelo de Estaciones de Correspondencia
- Submodelo de Operación de una Línea

El análisis del problema nos indica que la operación de cada

línea es independiente de las demás. El efecto de una línea en otra, sólo está determinado por el flujo de pasajeros en las estaciones de correspondencia. Se evaluó la posibilidad de simular el Sistema Completo en una sola aplicación del Modelo y esta idea se desechó por requerir un Modelo mucho más complejo y menos flexible para analizar problemas específicos de una sola línea y no aportar ningún beneficio extra en cuanto a resultados.

Con el Submodelo de Distribución, se obtiene el flujo de pasajeros en cada estación de una línea, incluyendo el efecto del resto de líneas del Sistema a través de las estaciones de correspondencia.

El Submodelo de Estaciones de Correspondencia, nos permite analizar los flujos de pasajeros en este tipo de estaciones.

El Submodelo de Operación recibe información del Submodelo de Distribución y analiza el peso de trenes por estaciones, maneja el ascenso y descenso, la entrada y salida de pasajeros en la estación y calcula los índices para la evaluación del congestionamiento.

3. MODELO EXTERNO.

Los objetivos fundamentales de este Modelo son:

- I. El Modelo debería servir como un calibrador de la captación de pasajeros de la alternativa en estudio.

El Modelo debería ser sensible a los cambios de ubicación de estaciones (en un rango apreciable) y la diferente conexión de las líneas con el sistema actual.

- II. El Modelo debería servir para simular, tanto situación actual como futura, obteniendo el crecimiento de la Ciudad en cada uno de sus sectores.

Estos requerimientos condujeron a diseñar un Modelo de Simulación como un Modelo gravitacional de viajes entre sectores, con crecimiento independiente por sector y aplicando esta Matriz de viajes a la red vial de la Ciudad. El Algoritmo de Rutas Mínimas calcula las diferentes ramas del viaje, que por la inclusión de las nuevas rutas del Metro permiten una reducción en el tiempo total de viaje de cada par origen-destino.

4. MODELO INTERNO.

A. REQUERIMIENTOS

Para servir como herramienta para investigar el comportamiento del Sistema complejo que representa al Metro, el Modelo tuvo que ser diseñado para cumplir tres requerimientos básicos:

- I. El Modelo debería servir como una ayuda en la asignación de trenes del Sistema. Tiene que ser sensible a los cambios en asignación, no sólo en términos del número de trenes, sino también a combinaciones en el número de vagones. Ampliando el concepto, estos cambios en la asignación pudieran hacerse con la modificación de pocos parámetros.
- II. El Modelo debería servir para la prueba de políticas de operación de cada línea, de tal manera que estos cambios puedan incorporarse fácilmente.
- III. El Modelo debería servir no sólo para simular una situación actual, sino permitir la evaluación en condiciones de operación futura, conociendo el incremento de pasajeros por crecimiento natural.

B. NIVEL DE DETALLE E HIPÓTESIS

Los requerimientos anteriores tienen un número de im-

plicaciones. Dado que el Modelo debería ser apto para simular diferentes alternativas, en diferente tiempo y en diversas combinaciones de construcción, tuvo que ser diseñado para cubrir el mínimo común denominador de necesidades.

El Modelo tiene las siguientes hipótesis:

- El efecto de una línea sobre otra, sólo es medido por el número de pasajeros que efectúan transferencias en las estaciones de correspondencia.
- La distribución horaria de arribo de pasajeros es igual en todas las estaciones.
- En la selección de la ruta de viaje, los pasajeros siguen al criterio de tiempo de recorrido mínimo, que incluye el tiempo necesario para efectuar una correspondencia.
- En las simulaciones efectuadas en la evaluación de alternativas, se utilizó un patrón de tiempo entre salidas de trenes constante para todas las líneas y en todas las alternativas, de manera de tener la misma base de comparación. Este patrón permitía operar a 1 M segundos de salida entre trenes de las 7:30 a las 10:00 y entre las 17:30 y las 20:00 y de 2 M segundos (límite de 480 segundos) el resto de las 17 horas de

operación. El valor de N varía, dependiendo del número de pasajeros transportados.

Este patrón puede ser cambiado para la simulación con fines de estudio del mejoramiento de la operación del Sistema.

- Se conoce la capacidad en pasajeros de cada tren y si un tren es saturado, quedan pasajeros esperando en el andén.
- El Modelo supone conocida el tiempo de viaje entre estaciones consecutivas de cada línea, que debe incluir el tiempo de estacionamiento en la estación de llegada.
- El tiempo de maniobras en las estaciones terminales, es el tiempo necesario para que el tren cambia de vía y esté disponible para salir.
- Se conoce el tamaño de los depósitos de trenes en cada estación terminal y el número de trenes disponibles en cada terminal al principio del día.
- Se debe conocer la hora de salida del primer tren en cada terminal.
- Se conoce también el número de estaciones y la longitud de la línea.

C. FLUJO DE PASAJEROS

La captación de pasajeros es uno de los resultados del Modelo Externo, en la forma de una Matriz de Origen-Destino que incluye todas las estaciones del Sistema.

Con objeto de poder simular cada línea, es necesario obtener una Matriz Origen-Destino para cada línea. Como se mencionó entre las hipótesis la ruta seguida por los pasajeros es la de menor tiempo. Para obtener el flujo de cada línea es necesario simular todos los posibles viajes que pueden generarse entre las diferentes estaciones del Sistema y computar el número de pasajeros que son transferidos en las estaciones de correspondencia. Este Submodelo nos proporciona también el número de pasajeros que pasan de cada vía de una línea a cada vía de otra línea y el número de pasajeros que son transferidos de / a la calle de cada vía.

Este Submodelo de Distribución utiliza el Algoritmo de Ruta Mínima planteado por Lieberman y Hillier de la Universidad de Stanford, modificado para redes bidireccionales y optimizado para reducir el número de iteraciones.

El Submodelo de Operación del Metro trabaja con el concepto de pasajeros transportados de cada línea, o

sea los pasajeros que hacen uso de las instalaciones de la línea (andenes, trenes); mientras que el Modelo Externo maneja el concepto de pasajeros captados por la línea, que son pasajeros que entran al Sistema en la línea.

El objetivo de los Submodelos, es determinar los pasajeros transportados por cada línea y presentarlos al Submodelo de Operación como una Matriz Origen-Destino de la línea.

D. ESQUEMA GENERAL DEL SUBMODELO DE OPERACION

El Submodelo simula una línea del Metro en donde se conoce el tiempo de viaje entre estaciones, el tiempo de maniobras, el tiempo de estacionamiento de las estaciones terminales, el número de trenes disponibles al principio del día y el número de trenes que pueden contener los depósitos de las terminales.

Los trenes son despachados de acuerdo al patrón de salidas de cada terminal. Si existe un tren disponible, es despachado, si no hay un tren disponible, se lleva control del tiempo de espera.

Cada tren, cuando llega a una estación, libera a los pasajeros que deben bajar en esa estación, y el Modelo calcula el número de pasajeros que han llegado des

de que pasó el tren anterior por la estación en cuestión. Si en el tren hay espacio para todos los pasajeros que esperan en el andén, estos son introducidos al tren, en caso contrario, suben pasajeros hasta saturar la capacidad del tren. Se mantiene una cola FIFO (First in-First out) para el ascenso al tren.

Una vez conocido el número de personas que ascendieron al tren, se asigna la estación en que descenderán y se repite el proceso de descenso y ascenso hasta que el tren llega a la terminal.

En cada estación se mantienen estadísticas que permitan evaluar el comportamiento del Sistema.

Al llegar el tren a la estación terminal, se ajusta el número de trenes disponibles y se calculan datos de kilómetros-vagón recorridos y los índices de saturación.

RESULTADOS DEL MODELO

Los resultados de la simulación, que pueden obtenerse cada hora son:

Número de trenes que se encuentran transitando.

Probabilidad de no abordar un tren por estar saturado.

Número de viajes iniciados en cada terminal.

- 4) Kilómetros -vagón utilizados.
- 5) Índice de saturación (pasajeros transportados/kilómetros -vagón).
- 6) Pasajeros transportados por toda la línea.
- 7) Número de pasajeros que están viajando en cada tren en tránsito.
- 8) Distribución y probabilidad acumulada del máximo número de personas en los viajes de cada vía y de la combinación de ambas vías.
- 9) Distribución y probabilidad acumulada del porcentaje de ocupación promedio en los viajes de cada vía y de la combinación de ambas.
- 10) Distribución y probabilidad acumulada del porcentaje del máximo número de personas con respecto a la capacidad del tren en los viajes de cada una de las vías y de la combinación de ambas.
- 11) Número de pasajeros que esperan en cada andén por no poder abordar trenes saturados.
- 12) Hora en que pasó el último tren en cada andén.
- 13) Máximo número de personas que han estado en cola por haber trenes saturados (por cada andén).

- 14) Total de pasajeros -segundo, perdidos por haber trenes saturados (por cada andén).
- 15) Máximo número de personas que han descendido en cada andén.
- 16) Máximo número de personas a bordo del tren en cada interestación.
- 17) Número de pasajeros que han tenido que esperar por haber trenes saturados (por cada andén).
- 18) Tiempo promedio de espera por haber trenes saturados (por cada andén).
- 19) Total de pasajeros -segundo utilizados por espera normal de trenes.
- 20) Número de pasajeros que entran a cada andén.
- 21) Tiempo promedio utilizado por espera natural.
- 22) Total de pasajeros que descienden en cada andén.
- 23) Total de pasajeros que transitan en cada interestación.
- 24) Máximo número de personas que ascienden a los trenes en cada andén.
- 25) Máximo número de personas que cruzan simultáneamente las puertas del tren (ascensos y descensos) en cada andén.

S. IMPLEMENTACIÓN EN COMPUTADOR.

A. SELECCION DEL LENGUAJE.

La selección del lenguaje en el que implementar el Modelo de Simulación, estuvo basado en los siguientes factores:

De mayor importancia, fué el desarrollar un Modelo flexible y fácil de operar. El segundo factor, fué la facilidad de programación y el tiempo estimado de proceso del modelo.

Después de analizar las diferentes alternativas de implementación, se determinó programar el Submodelo de Operación en GPSS (General Purpose Simulation System) y los otros Submodelos y el Modelo Externo en FORTRAN IV. Todo el modelo opera bajo Operating System del Computador IBM-370.

B. IMPLEMENTACIÓN.

Se desarrollaron los siguientes programas en FORTRAN IV para la operación de los Submodelos:

Carga de Matriz Origen - Destino
Carga de Red Topológica
Carga de Tablas de Equivalencias

Carga de Tabla de Expansiones

Submodelo de Rutas Mínicas

Submodelo de Estaciones de Correspondencia

Submodelo de Influencia de Líneas

Se requirieron además diversos programas de utilidad para soporte de programación.

C. RESTRICCIONES DE IMPLEMENTACION.

Los programas tienen las siguientes restricciones:

Máximo número de líneas por alternativa	15
Máximo número de estaciones por línea	25
Máximo número de estaciones por alternativa	200
Máximo número de correspondencias	25
Máximo número de tramos	225
Máximo número de líneas en una correspondencia	5
Máximo número de trenes asignados a una línea	48

Estas restricciones pueden ser cambiadas recompilando los diferentes programas.

D. TIEMPOS DE EJECUCION.

La ejecución de los Submodelos es de unos 5 minutos por alternativa.

Se ha obtenido una fórmula empírica para estimar el tiempo de ejecución del Modelo CPSS para cada línea.

$$T = 100 \frac{N}{M}$$

Donde: N- es el número de estaciones de la línea.

M- es el intervalo mínimo entre salidas en segundos.

T- tiempo de ejecución del Modelo en minutos.

Estos tiempos se han calculado en la implementación que se ha hecho en IBM 370/145.

6. APLICACION DEL MODELO.

El modelo descrito con anterioridad fué utilizado para la evaluación de alternativas de expansión del Metro de la Ciudad de México. Con el modelo se simularon 4 alternativas (denominadas A, B, C y D) que resultaron representativas de más de 15 que se estudiaron.

ALTERNATIVA A.

Esta alternativa se caracterizaba por su disposición radial que se compone de 8 líneas formadas por la zona central de las líneas actuales y la porción exterior junto con ramales por construir. El planteamiento era el siguiente: las líneas exteriores servían de ramales captadores que en las nuevas estaciones de correspondencia alimentaban a las líneas centrales.

La simulación de esta alternativa con la primera distribución de trenes, permitió observar que en las líneas centrales (1, 2 y 3) quedaban pasajeros esperando en andén por largo tiempo, lo cual es inadmisibles. Una segunda distribución de trenes y operando éstos a los límites aconsejados por el fabricante, permitió evitar el congestionamiento en la mayoría de los andenes, pero se tendrían condiciones de saturación el primer día de operación de la alternativa.

Por otra parte el análisis de las estaciones de correspondencia indicó que se triplicaría el volumen actual de pasajeros en la estación Pino Suárez y se tendrían condiciones similares en Hidalgo y Balderas.

Mientras tanto, en las líneas periféricas, por lo general solamente un ramal captaba pasajeros, lo que obligaba a asignar suficientes trenes para manejar el flujo de un ramal, trenes que viajaban casi vacíos en el otro ramal.

Estos argumentos permitieron desachar la Alternativa A.

ALTERNATIVA B.

Esta alternativa presenta algunos variantes respecto a la anterior: la línea 2 no es dividida en líneas ramales y línea central, se propone una nueva línea periférica (línea 6) y se elimina la ramal sur de la línea 3.

La simulación de la alternativa B con el Modelo Interno, proporcionó los siguientes resultados:

La línea 1, parte central de la actual línea 1, presentó los mismos problemas descritos para las líneas centrales de la Alternativa A.

La línea 2 requería un número y frecuencia de trenes que la hacían operar en punto de saturación.

La línea 6 (periférica), requiere un número relativamente grande de trenes por ser de gran longitud, y se encontraba cerca del punto de congestiónamiento. Para resolver este problema, se requerirá quitar trenes de otras líneas, lo cual haría disminuir los niveles de servicio.

Con esta alternativa seguía sin resolverse el problema de Pino Suárez y la estación Hidalgo estaba cerca del congestiónamiento.

ALTERNATIVA C.

Con la experiencia obtenida con las alternativas anteriores se planteó la alternativa C, con las siguientes características:

- Se eliminaban los conceptos radial y periférico.
- Se plantea el sistema cuasi-cuadrículado.
- Con objeto de desahogar Pino Suárez se penetra en el Centro de la Ciudad con una porción de línea paralela a la Interestación más cargada (Merced - Pino Suárez).
- Se abren líneas en el Norte de la Ciudad, que presentan un gran mercado potencial de pasajeros.

Se resolvían en general los problemas de las alternativas anteriores, con la inclusión de la línea 4 que colaboraba a disminuir el tráfico de pasajeros de Pino Suárez.

La línea 6 observaba muy baja captación en la zona comprendida entre las líneas 1 y 2, una buena captación al sur de la línea 1. Esto llevaba a una sobreocupación de equipo en unos tramos de la línea y una subocupación en otros. Por otro lado se observaron gran número de viajes en la dirección Este-Oeste en la zona norte.

La alternativa requería gran número de carros para operar.

ALTERNATIVA D.

Esta alternativa es semejante a la anterior, siendo su principal variante la modificación de la línea 6, que es colocada en el Norte de la Ciudad.

La simulación permitió observar:

- Disminución en el número de trenes.
- Mejoría en los índices de saturación.
- Todas las líneas operaban con margen de modificación de número de trenes e Intervalo.
- Para captación semejante, el número de intercambios promedio resultó menor (los pasajeros requieren efectuar menos cambios de líneas), todo esto sin disminución del nivel de servicio.

SELECCION DE LA ALTERNATIVA.

Una vez simulada con Modelo Externo y Modelo Interno cada alternativa, se efectuó una evaluación.

La alternativa D resultó la propuesta para la expansión del Metro de la Ciudad de México.

Una pregunta se nos presenta ahora: ¿Cuál es la mejor secuencia de construcción de las ampliaciones?

Se observó con los resultados de simulación, que deberíandarse prioridad a la ampliación de la línea 3 y la construcción de la línea 4. Por otro lado, la ampliación pendiente de la línea 2, aunque de baja captación respecto a las anteriores, su función primordial es evitar la entrada de autos a la Ciudad provenientes del nororiente.

Se plantearon, pues, dos secuencias: 2 y 4 ó 2 y 3.

Se simularon ambas redes, obteniéndose que la alternativa 2-3 requería mayor número de trenes para operar, que la 2-4 y agravaba la situación actual de Pino Suárez, como alternativa aislada.

Como comprobación de lo anterior, se simuló la secuencia 2-3-4 que redujo el congestionamiento de Pino Suárez.

7. CONCLUSIONES.

Del estudio, se pueden derivar las siguientes conclusiones:

El Modelo Externo es una herramienta muy valiosa para el análisis de captación de pasajeros.

Varias alternativas fueron rechazadas debido a su baja captación.

El Modelo Interno, diseñado primordialmente para simular la operación del Metro, fue usado ampliamente para rechazar alternativas con problema de congestión, y para asignar el número de trenes necesarios para operar el sistema.

Puede considerarse que la combinación de estos modelos, permiten el análisis de alternativas de inversión, proporcionando datos de captación, congestiónamiento, costos de operación, necesarios para ubicar cada alternativa en un plano de costo-beneficio.

El bajo costo relativo de análisis por medio de estos modelos reditúa en la aplicación de la mejor alternativa de las estudiadas.

8. BIBLIOGRAFIA.

Design and use of Computer Simulation Models.-

J.R. EMSHOFF & R.L. SISSON (Mac Millan)

Computer Modeling and Simulation.-

F.R. MARTIN (Wiley)

GPSS Primer.-

S. GREENBERG (Wiley)

Introduction to Operations Research.-

F.S. HILLIER & G.J. LIEBERMAN (Holden + Day)

Simsript. A Simulation Programming Language.-

M.M. MARKOVITZ, B. HAUSNER & H.W. KARR (Prentice-Hall)

GPSS/360. User's Manual (IBM)

System Simulation.-

G. GORDON (Prentice-Hall)

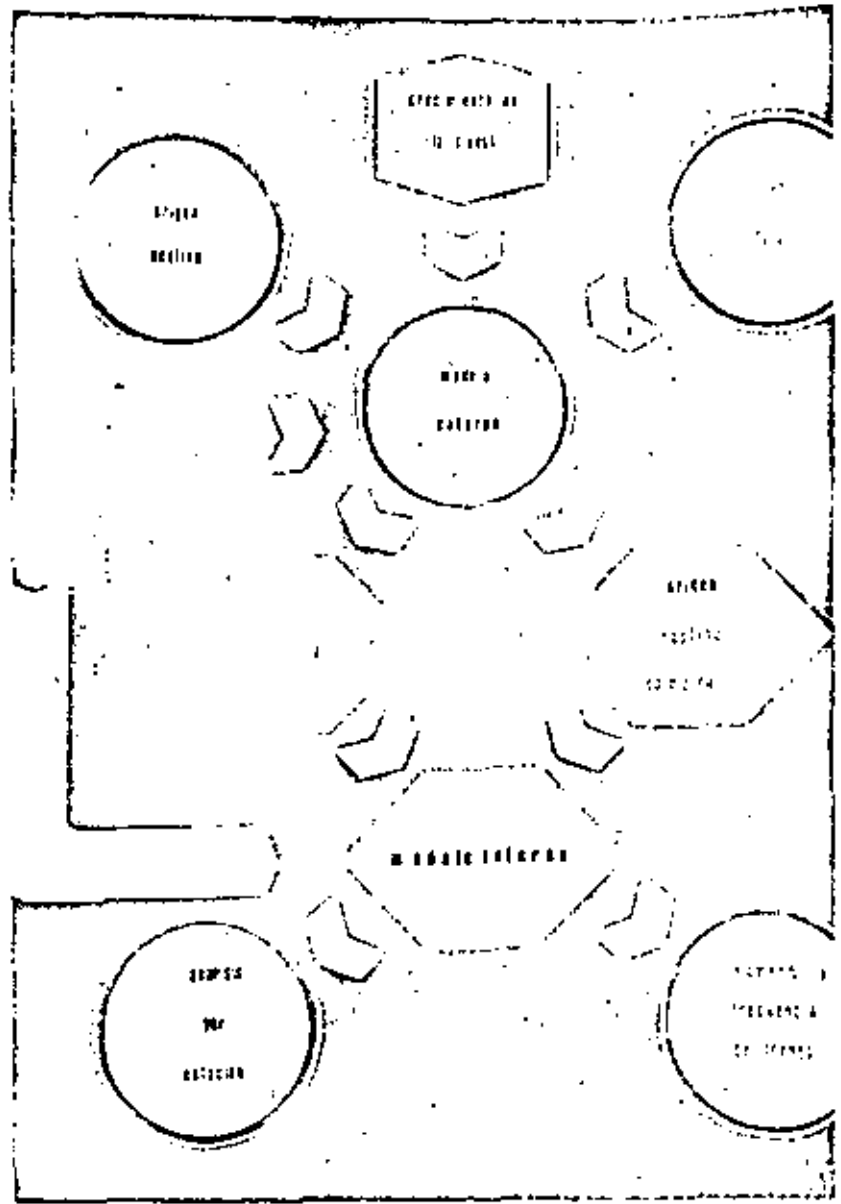
Técnicas de Simulación en Computadores.

NAYLOR, BALINTFY, BURDICK y RONG CHU (Limusa Wiley)

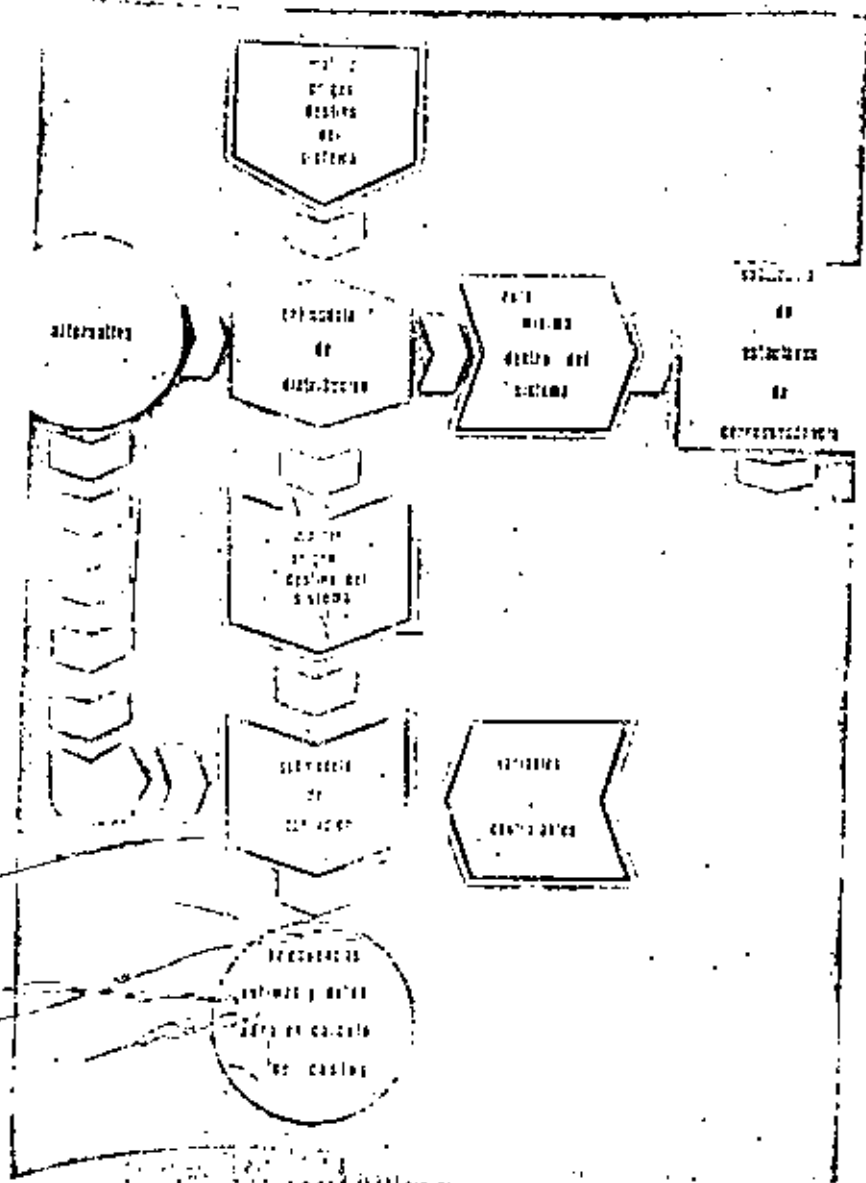


TRAZOS FACTIBLES DE FUTURAS LINEAS DEL METRO

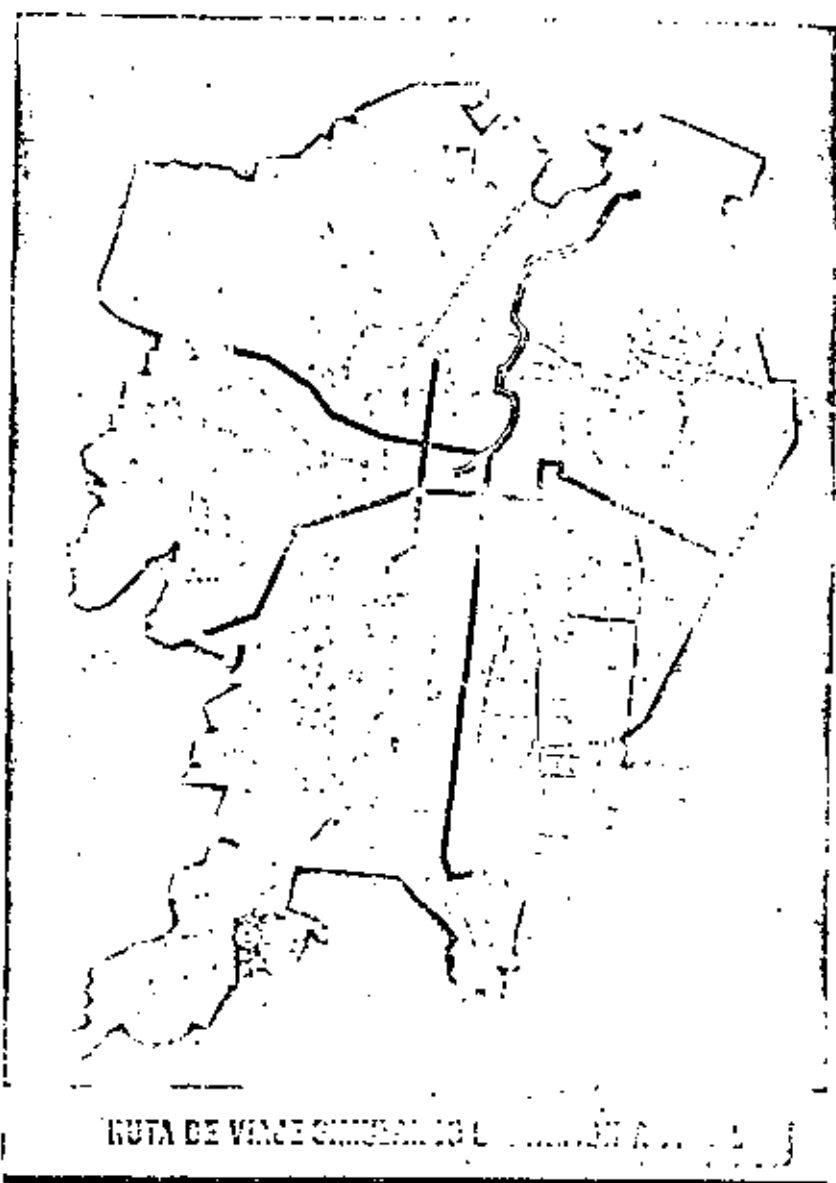
MODELOS DE SIMULACION



MODELO INTERNO

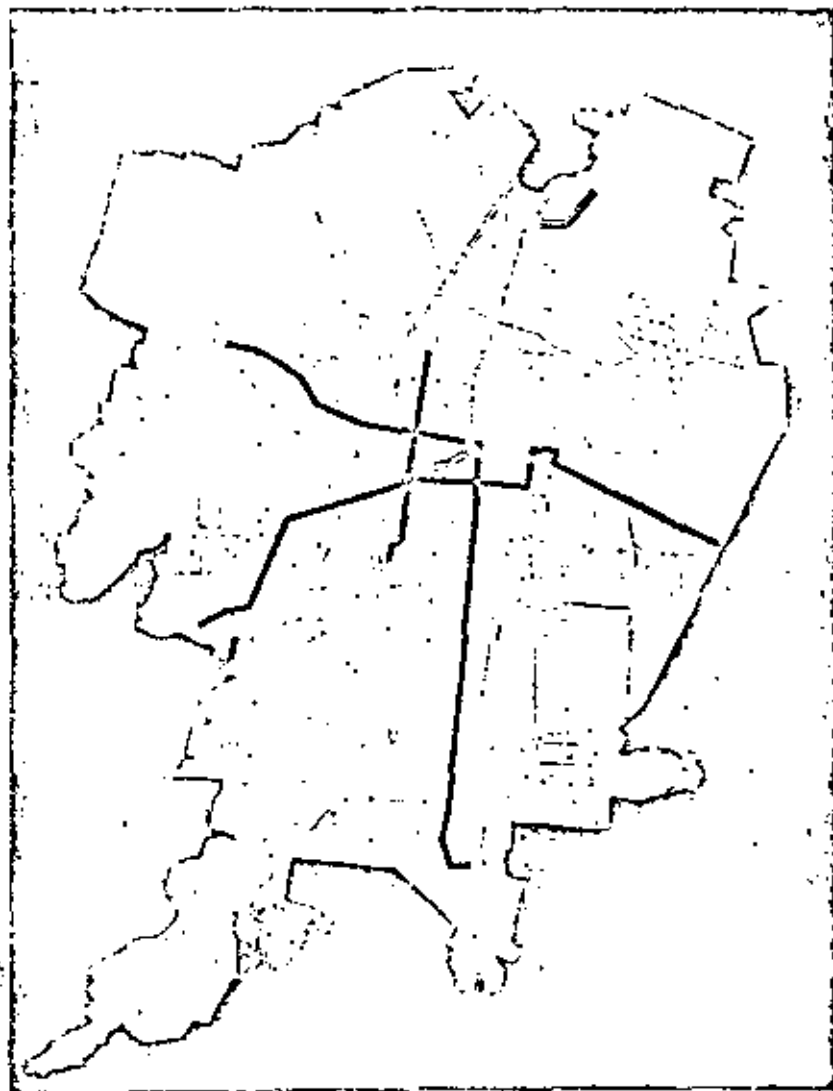


MODELO EXTERNO

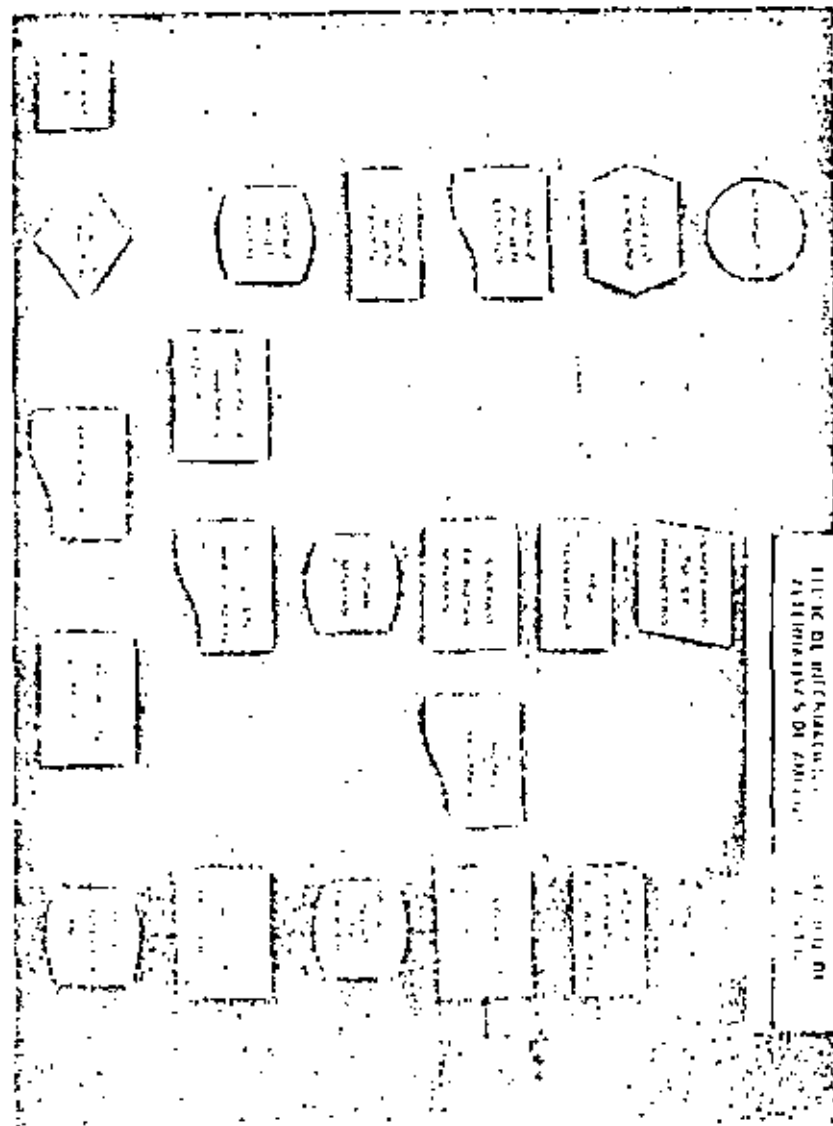


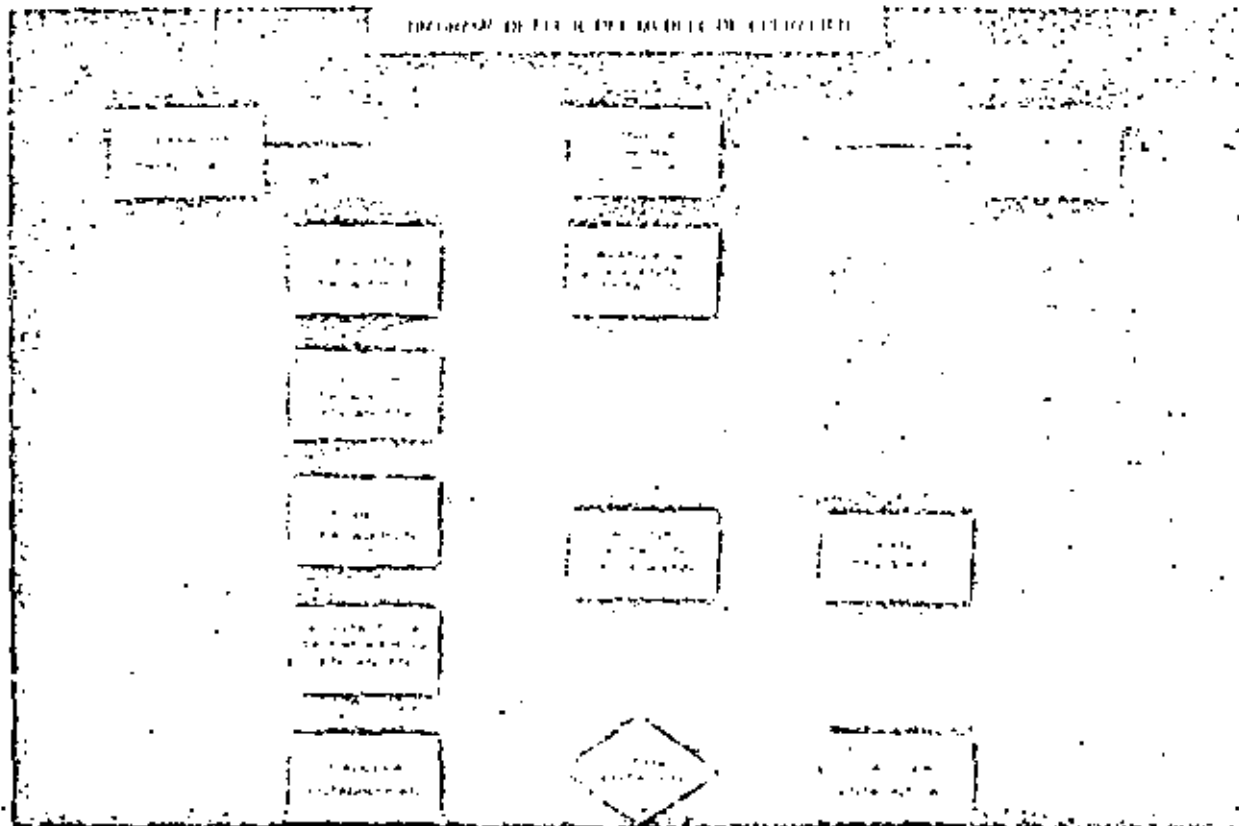
RUTA DE VINCES-GUINEA

MODELO EXTERNO



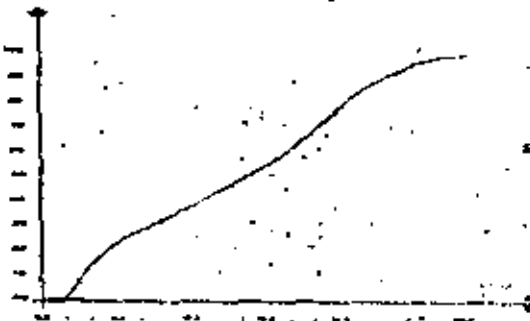
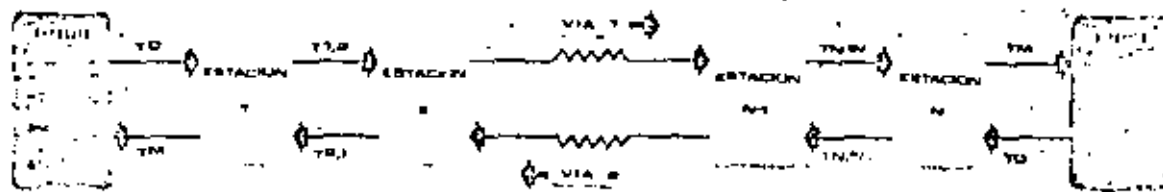
ROTA DE VIAJE CIRCULANDO UNA LINEA PROPUESTA



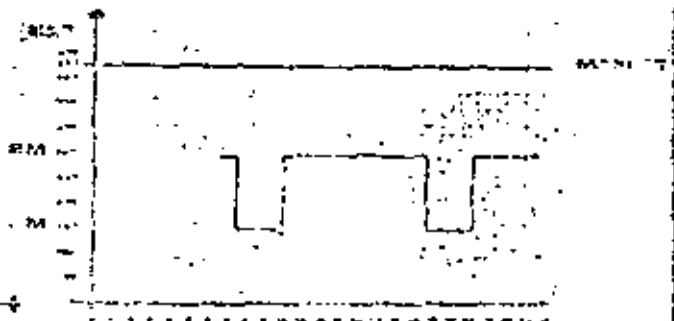


MODELO DE OPERACION INTERNA DEL METRO

ESQUEMA GENERAL E HIPOTESIS



FUNCIÓN DE PROBABILIDAD ACUMULADA DE ARRIBO DE PASADIZO EN EL OÍO



FUNCIÓN DE INTERVALO DE LLAMAS DE TRÁFICO

HIPOTESIS

- 1. ENLACE A CADA OTRA LINEA ENTRE LAS ESTACIONES DE TRÁFICO SE CONSIDERAN COMO UN ENLACE CON UN TIEMPO DE RESPUESTA EN LA LINEA DE PASADIZO Y EN LAS LINEAS PARA TODAS LAS ESTACIONES.
- 2. EN EL TIEMPO DE ESPERA, LOS PASADIZOS SE ENCIENDEN AL PASAR DEL PASADIZO SIN PERDIDA DE ENERGÍA Y EL GANADO MÁS EFICIENTE.
- 3. SE SUPONE EN LOS PASADIZOS A LAS LINEAS DE TRÁFICO (17 WATS).

ALTERNATIVA

RESULTADOS MODELO EXTERNO

TOTALES

LONGITUD (KM.)

(OPERACION)

NUMERO DE ESTACIONES

ESTACIONES DE TRANSFERENCIA

PASAJEROS CAPTADOS

PASAJEROS /KM.

COSTO CIVIL Y ELECTROMECANICA DE LOS TRENES (MILLONES DE DOL. POR DIA)

INCREMENTO PASAJEROS /COSTO

FORMA DETALLE DEL INCREMENTO EN LA CAPACIDAD DE PASAJEROS

ALTERNATIVA

RESULTADOS MODELO EXTERNO

TOTALES

NUMERO DE TRENES (operación)

INTERVALO MINIMO

NUMERO DE PASAJEROS TRANSPORTADOS

PASAJEROS TRANSPORTADOS
PASAJEROS CAPTADOS

PASAJEROS CAPTADOS
CARRO - KM.

PASAJEROS TRANSPORTADOS
CARRO - KM.

% OCUPACION MEDIA DE TRENES

% TRENES COMPLETOS EN EL DIA

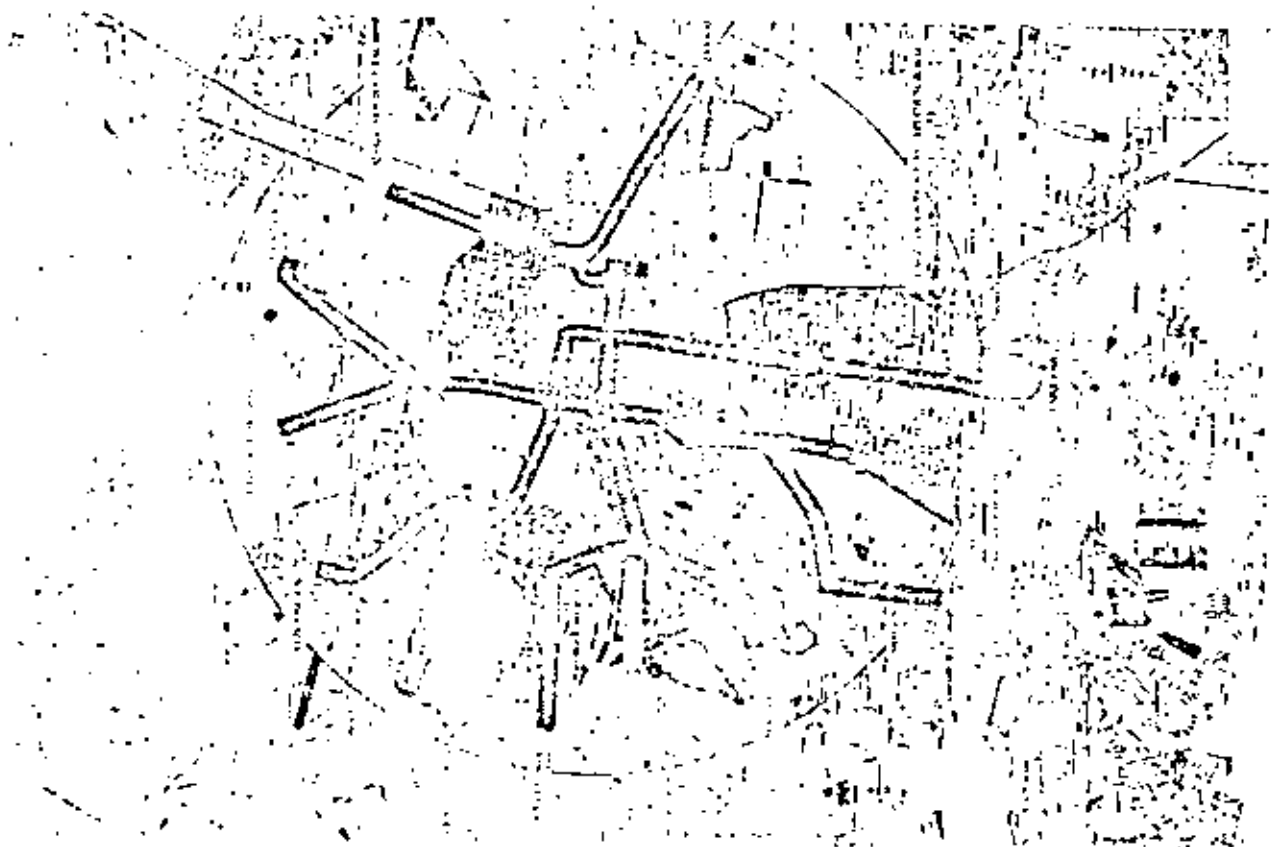
ALTERNATIVA



20 NOV 76

RESULTADOS MODELO EXTERNO

	N E A S								TOTALES
	1	2	3	4	5	7	8	9	
LONGITUD /KM. (OPERACION)	73	82	78	92	84	91	83	83	786
NUMERO DE ESTACIONES	11	12	10	11	12	10	11	9	86
ESTACIONES DE TRANSFERENCIA	4	4	3	1	1	1	1	1	1
PASAJEROS CAPTADOS	411527	242359	576345	527070	242040	179370	317245		2759545
PASAJEROS /KM.	5637	3029	3121	5783	2874	2529	3727	3555	3507
INCREMENTO PASAJEROS /COOTO									2427.6
									373.5
									49

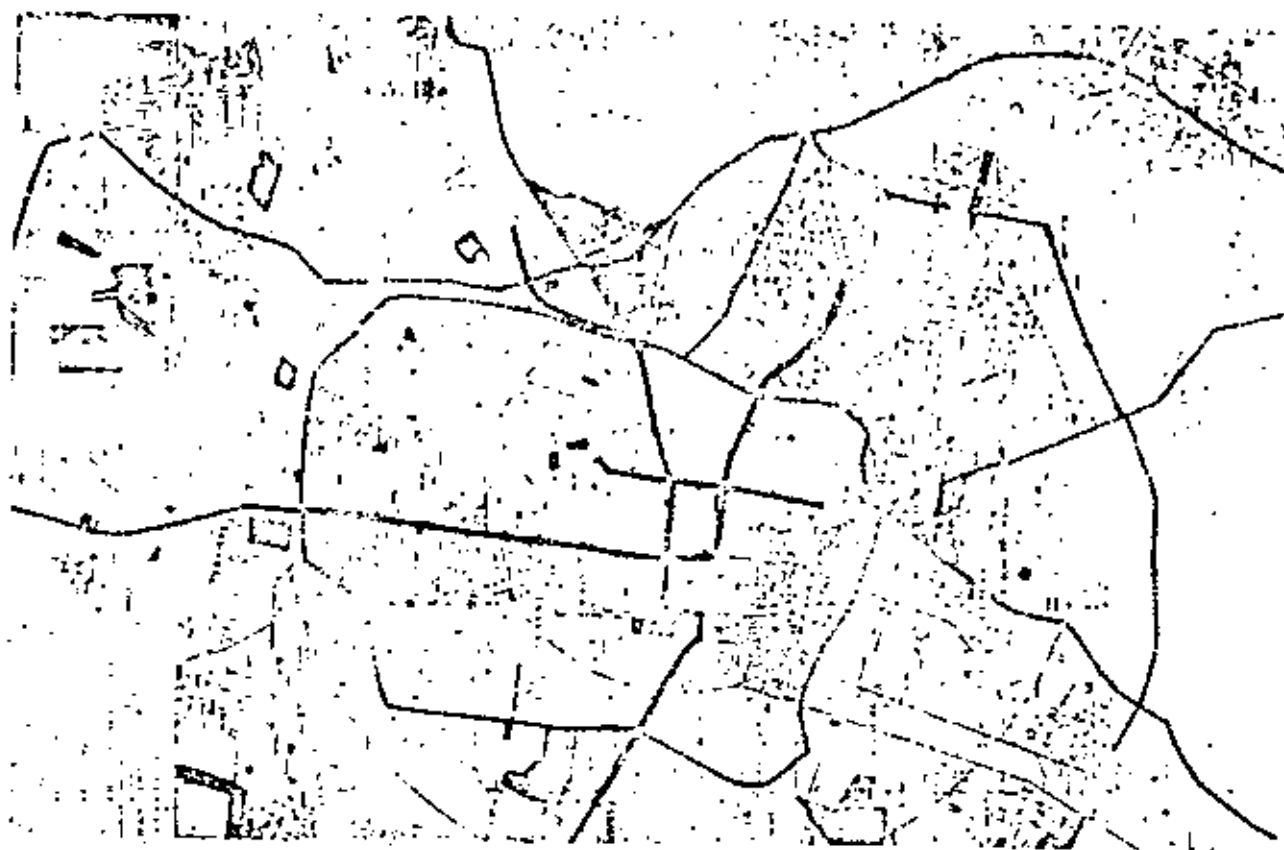


ALTERNATIVA C

20 NOV 78

RESULTADOS MODELO INTERNO

	L	1	2	3	4	5	6	TOTALES
NUMERO DE TRENES <small>Operativos</small>	37	38	21	7	22	11		131
INTERVALO MINIMO	1:50	2:10	2:50	5:00	2:55	5:25		
NUMERO DE PASAJEROS TRANSPORTADOS	1410,522	1033,710	854,230	451,053	835,243	575,375		5171103
<u>PASAJEROS TRANSPORTADOS</u> <u>PASAJEROS CAPTADOS</u>	1.76	1.49	1.66	1.69	2.78	1.75		177
<u>PASAJEROS CAPTADOS</u> <u>CARRIL - KM.</u>	8.1	5.9	8.4	24.1	5.8	11.4		78
<u>PASAJEROS TRANSPORTADOS</u> <u>CARRIL - KM.</u>	14.3	8.8	13.9	23.9	16.2	19.9		128
% OCUPACION MEDIA DE TRENES	48	34	36	56	50	63		44
% TRENES COMPLETOS EN EL DIA	65	27	38	69	47	51		48



ALTERNATIVA (L)

20 NOV 78

RESULTADOS MODELO INTERNO

	L	I	N	E	A	S	TOTALES
	1	2	3	4	5	6	
LONGITUD / KM. (OPERACION)	155	215	128	78	136	89	501
NUMERO DE ESTACIONES	18	22	16	10	16	8	80
ESTACIONES DE TRANSFERENCIA	3	3	4	4	3	2	19
PASAJEROS TRANSPORTADOS	663 858	667 100	699 106	1 732 300	1 551 337	770 547	2 795 367
PASAJEROS / KM.	55733	31000	54618	22209	11459	24781	21 560
COSTO UNITARIO							2,000.4
INCREMENTO PASAJEROS / COSTO							289.1
POTENCIAL DE PASAJEROS							37 120

ALTERNATIVA (D)

20 NOV 78

RESULTADOS MODELO INTERNO

	L	I	N	E	A	S	TOTALES
	1	2	3	4	5	6	
NUMERO DE TRENES (OPERACION)	28	42	27	6	9	11	120
INTERVALO MINIMO	2 10"	1 55"	2 00"	6 30"	6 55"	4 15"	
NUMERO DE PASAJEROS TRANSPORTADOS	1 267 320	1 110 214	1 074 041	436 090	379 105	411 753	4 701 375
PASAJEROS TRANSPORTADOS / PASAJEROS CAPTADOS	100	162	144	203	243	187	168
PASAJEROS CAPTADOS / CARTEL - KM.	186	51	88	78	42	99	76
PASAJEROS TRANSPORTADOS / CARTEL - KM.	100	87	127	223	101	186	128
% OCUPACION MEDIA DE TRENES	53	33	45	62	36	27	42
% TRENES COMPLETOS EN EL DIA	37	18	8	62	8	17	34

TABLA COMPARATIVA DE ALTERNATIVAS

	A	L	T	E	R	A	T	I	V	A	S
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
LONGITUD (KM) (OPERACION)	70.1	70.0	67.6	60.8							
NUM. ESTACIONES	88	88	105	94							
ESTACIONES DE TRANSFERENCIA	1	9	10	7							
COSTO (MILLONES DE PESOS)	2427.4	3220.0	2367.0	2060.4							
PASAJEROS CAPTADOS	7,359,545	7,091,425	7,927,370	7,298,347							
PASAJERO / KM.	105,000	101,300	117,270	118,800							
INC. DE PASAJEROS / COSTO	323.5	313.0	494.2	576.8							
% INC. CAPACITACION PASAJEROS	48	38	67	67							
NUMERO DE TRENES EN OPERACION	175	170	181	170							
NUMERO DE PASAJ. TRANSPORTADOS	6,197,773	5,836,425	5,171,103	4,781,275							
PASAJEROS TRANS./PASAJ. CAPTADOS	84.0	83.0	65.2	65.6							
PASAJ. CAPTADOS / CARRO KM.	8.4	7.7	7.8	7.6							
PASAJ. TRANS. / CARRO KM.	100	150	150	120							
% OCUPACION MEDIA DE TRENES	32	36	44	47							
% TRENES COMPLETOS EN EL DIA	10	26	48	24							

ALTERNATIVA 1-2-3 RESULTADOS MODELO EXTERNO

MAYO 1975	L			N			E			S	TOTALES
	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
LONGITUD /KM. (OPERACION)	155			214			128				497
NUMERO DE ESTACIONES	19			25			16				60
ESTACIONES DE TRANSFERENCIA	7			2			2				11
PASAJEROS CAPTADOS	702,461			843,457			354,843				1,900,761
PASAJEROS / KM.	45,319			39,434			51,097				44,764
INCREMENTO PASAJEROS / COSTO TOTAL											319.1

ALTERNATIVA 1973 RESULTADOS MODELO INTERNO

1 MAYO 1975

NUMERO DE TRENES

LINEAS

1 2 3

TOTALES

INTERVALO MINIMO

NUMERO DE PASAJEROS TRANSPORTADOS

PASAJEROS TRANSPORTADOS PASAJEROS CAPTADOS

PASAJEROS CAPTADOS CARRO - KM.

PASAJEROS TRANSPORTADOS CARRO - KM.

% OCUPACION MEDIA DE TRENES

% TRENES COMPLETOS EN EL DIA

28 45 26 100

2'10" 1'45" 2'10"

1051796 1102016 830826 3055168

148 132 138 138

87 61 897 740

129 80 122 104

43 32 43 39

87 5 5 24

ALTERNATIVA 1973

1 SEPT. 75

LONGITUD /KM. (JUN. 1975)

NUMERO DE ESTACIONES

ESTACIONES DE TRANSFERENCIA

PASAJEROS CAPTADOS

PASAJEROS /KM.

LINEAS

1 2 3 4

EXTERNO

TOTALES

157 211 125 97 590

15 25 16 10 70

3 3 7 2 5

769.842 700.729 611.163 281.563 2.373.797

49.332 33.240 45.271 28.431 39.378

COSTO TOTAL

INCREMENTO PASAJEROS / COSTO TOTAL

50.128

2317

ALTERNATIVA **24** RESULTADOS MODELO EXTERNO

1 MAY. 75

	L	I	N	E	A	S	TOTALES
	1	2	3	4	5		
LONGITUD /KM. (OPERACION)	152	211	47		92		502
NUMERO DE ESTACIONES	19	25	7		10		61
ESTACIONES DE TRANSFERENCIA	3	3	2		2		10
PASAJEROS CAPTADOS	712 537	730 194	253 721		289 576		1 976 028
PASAJEROS /KM.	46 831	34 606	51 856		31 478		39 371
COSTO TOTAL							1 259 3
INCREMENTO PASAJEROS / COSTO TOTAL							204 7
PORCENTAJE DE INCREMENTO DE CAPTACION DE PASAJEROS							15

ALTERNATIVA **24** RESULTADOS MODELO INTERNO

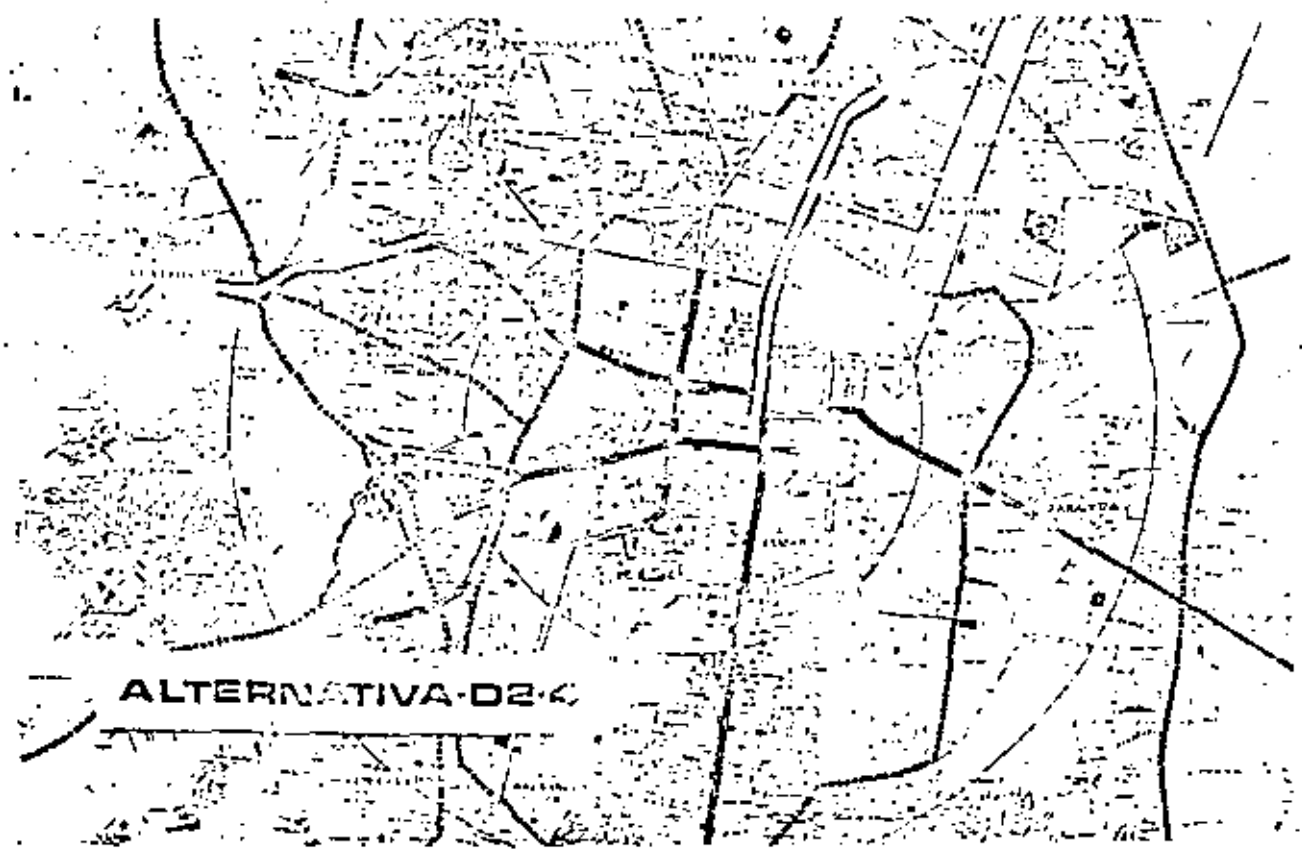
1 MAYO 75

	L	I	N	E	A	S	TOTALES
	1	2	3	4	5		
NUMERO DE TRENES	29	39	6		7		91
INTERVALO MINIMO	2 05'	2 05'	3 40'		4 50'		
NUMERO DE PASAJEROS TRANSPORTADOS	1 025 487	1 178 861	318 304		430 043		3 012 695
<u>PASAJEROS TRANSPORTADOS</u> <u>PASAJEROS CAPTADOS</u>	144	161	130		169		157
<u>PASAJEROS CAPTADOS</u> <u>CARRIL - KM.</u>	83	83	191		115		83
<u>PASAJEROS TRANSPORTADOS</u> <u>CARRIL - KM.</u>	120	180	210		195		125
% OCUPACION MEDIA DE TRENES	40.9	38.6	24.6		65.3		38.5
% TRENES COMPLETOS EN EL DIA	40.8	27.9	60		72.8		35.1

ALTERNATIVA D2-C

1 SEP. 75

	1	2	3	4	TOTALES
NUMERO DE TRENES	31	30	24	6	91
INTERVALO MINIMO	155	210	225	500	
NUMERO DE PASAJEROS TRANSPORTADOS	1114743	1226592	758439	443377	2543151
<u>PASAJEROS TRANSPORTADOS</u> <u>PASAJEROS CAPTADOS</u>	149	175	121	170	155
<u>PASAJEROS CAPTADOS</u> <u>CARRO - K.M.</u>	805	62	94	00	78
<u>PASAJEROS TRANSPORTADOS</u> <u>CARRO - K.M.</u>	128	109	123	107	122
% OCUPACION MEDIA DE TRENES	39.8	30.6	44.8	60.6	41.1
% TRENES COMPLETOS EN EL DIA	31.1	26.0	12.0	51.0	27.1



10. INDICE DE FIGURAS.

- Trazos factibles de futuras líneas del Metro
- Modelos de Simulación. Diagrama de Flujo de Información
- Modelo Interno. Diagrama de Flujo de Información
- Ruta de Viaje Simulando Condición Actual
- Ruta de Viaje Simulando Línea Propuesta
- Flujo de Información para Evaluación de Alternativas de Ampliación del S.T.C.
- Diagrama de Flujo del Modelo de Operación
- Modelo de Operación. Esquema general e hipótesis
- Tabla de Comparación de Resultados del Modelo Externo
- Tabla de Comparación de Resultados del Modelo Interno
- Alternativa A Mapa
- Alternativa A Resultados Modelo Externo
- Alternativa A Resultados Modelo Interno
- Alternativa B Resultados Modelo Externo
- Alternativa B Resultados Modelo Interno
- Alternativa C Resultados Modelo Externo
- Alternativa C Resultados Modelo Interno
- Alternativa D Mapa
- Alternativa D Resultados Modelo Externo
- Alternativa D Resultados Modelo Interno
- Tabla Comparativa de Alternativas
- Alternativa D23 Resultados Modelo Externo
- Alternativa D23 Resultados Modelo Interno

Alternativa D234 Resultados Modelo Externo

Alternativa D234 Resultados Modelo Interno

Alternativa D24 Mapa

Alternativa D24 Resultados Modelo Externo

Alternativa D24 Resultados Modelo Interno



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

UN CASO ESPECIAL DE LA POLITICA DE INVENTARIOS "R, T"

M. EN C. JORGE TURCOTT RIOS

NOVIEMBRE, 1981

I. ANTECEDENTES

Casi todas las empresas tienen problemas de Control de Inventarios, sin embargo, por desconocimiento, o por imposibilidad de recoger estadísticas detalladas de las actividades relacionadas con el inventario, o por otras causas, la mayoría de las empresas no utilizan técnicas analíticas para resolver estos problemas.

En este estudio se muestra una técnica para resolver este problema utilizando un número reducido de datos.

I.N.D.I.C.E

	Pág.
I Antecedentes	1
II Descripción del problema	8
III Metodología	8
IV Programa y Cotes	8
V Resultados	9
Anexo	11

II. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Una empresa que mantiene en inventario muchos tipos de productos, tiene para cada producto, un problema de control de inventarios en el que se dan las siguientes condiciones:

- 1.- La empresa tiene una política fija de revisión del inventario cada T_r días. En cada revisión se coloca un pedido al proveedor por una cantidad X de artículos con un costo C por unidad.
- 2.- El proveedor surte el pedido en un tiempo variable, sin embargo, se conoce por experiencia, que este varía en un rango de T_a días a T_b días, además, se sabe que normalmente el tiempo de entrega es de T_e días.
- 3.- Por otro lado los clientes tienen una demanda mensual de artículos variable. De esta demanda se han levantado estadísticas de comportamiento y en particular se conoce la demanda promedio (D_p) y la desviación estándar (S).

El problema consiste entonces en obtener la cantidad X de artículos a pedir en base a:

- a) La cantidad en inventario en el momento de revisión.
- b) El nivel de reserda (R), que se determinará en base a un nivel de servicio (N_s) que se desea dar al cliente y del capital que se tendrá invertido en inventarios.

III. METODOLOGIA

Esta metodología consiste en varias etapas a saber:

- 1.- El recatado del control del inventario define un nivel de servicio (N_s).
- 2.- Se calcula la parte del inventario de seguridad debida a la incertidumbre del tiempo de entrega (IS_1).
- 3.- Se calcula la parte del inventario de seguridad debida a la incertidumbre de la demanda (IS_2).
- 4.- Se calcula el inventario de seguridad.

$$IS = IS_1 + IS_2$$

- 5.- Se calcula la demanda esperada en el tiempo de revisión más el tiempo de entrega promedio.

$$D_e = D_p * (T_r + T_p)$$

- 6.- Se calcula el nivel de reserda R

$$R = D_e + IS$$

- 7.- Se calcula la inversión esperada en inventario generada por este valor del nivel de servicio.

$$CI = ((D_p * T_r) / 2 + IS) * C$$

- 8.- Se repiten los pasos del 1 al 7, tantas veces como sea necesario, hasta obtener un nivel de reserda generado por valores aceptables del nivel de servicio y de la inversión esperada.

9.- La cantidad X a pedir será dada por:

$$X = R - I$$

donde I es la cantidad de inventario en el momento de la revisión.

Ver anexo para la demostración detallada y el cálculo de un ejemplo numérico.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

```

PROGRAM INVEN(INV,INVT,INVT,INVT,INVT,INVT,INVT)
*****
* PROGRAM PARA CALCULAR EL NIVEL DE RESERVA Y DE UNA POLITICA *
* (EN) PARA T EN LA EN LA QUE EL TIEMPO DE ENTREGA ES UNA V.A. *
* CON F.J.P. TRIANGULAR Y LA DEMANDA ES UNA V.A. CON F.J.P. *
* NORMAL. *
* VARIABLE DESCRIPCION *
* T TIEMPO DE RESERVA *
* NS(1) NIVEL DE RESERVA *
* K(1) PARAMETRO DE LA DISTRIB. EST. *
* NI(1) NIVEL DE RESERVA *
* IP(1) INVERSION PROMEDIO *
* TA TIEMPO DE ENTREGA MINIMO *
* TN TIEMPO DE ENTREGA NORMAL *
* TC TIEMPO DE ENTREGA MAXIMO *
* TP TIEMPO DE ENTREGA PROMEDIO *
* IS INVENTARIO DE SEGURIDAD *
* U DEMANDA *
* CU COSTO UNITARIO *
* S ESTIMACION DE LA DISTRIB. DE LA DEMANDA
*****
DIMENSION IENCA(1:2),IDES(2)
DIMENSION 4(2)
REAL NS(2),K(2),IP(2),IS1,IS2
LECTURA DE ENCABEZADOS
HEAD(1,1010) IENCA(1,1),IENCA(1,2)
HEAD(1,1010) IENCA(1,2),IENCA(1,1)
1010 FORMAT(2A10)
LECTURA DE FECHA Y DATOS GENERALES
HEAD(1,1020) IFECA,T, NS(1),IENCA(2),K(1),IENCA(2)
1020 FORMAT(4I0,2F5.0,2F5.1,2F5.2)
TEXT
TAT/30.0
PROCESO INICIAL
NPR=1
NPR=0
5 IF INVAL.SUS GO TO 10
IMPRESION DE ENCABEZADOS
NPR=1
NPR=0
WRITE(2,1110)
WRITE(2,1120) IFECA,IENCA(1,1),IENCA(1,2)
WRITE(2,1130) IENCA(1,2),K(1),IENCA(2)
WRITE(2,1140) T
WRITE(2,1150)
WRITE(2,1160)
WRITE(2,1170) NS(1),IENCA(2),NS(1),IENCA(2)

```

```

C LECTURA DE DATOS DEL ARTICULO
C
10 HEAD(1,1030) NOM, IENCA(1,1),IENCA(1,2),IENCA(1,2),IENCA(1,2)
1010 FORMAT(1A,4I0,2F5.0,2F5.1,2F5.2)
IF IENCA(1,1) .NE. 15
15 IENCA(1,1)
IENCA(1,2)
IENCA(1,2)
C
C CALCULO DEL TIEMPO PROMEDIO DE ENTREGA
C
20 CONTINUE
IENCA(1,1) = IENCA(1,1) + IENCA(1,2) / (IENCA(1,1) + IENCA(1,2))
IENCA(1,2) = IENCA(1,2) + IENCA(1,1) / (IENCA(1,1) + IENCA(1,2))
IENCA(1,1) = IENCA(1,1) - IENCA(1,2)
IENCA(1,2) = IENCA(1,2) - IENCA(1,1)
C
C NIZO POR LOS NIVELES DE SEGURIDAD
C
30 ZBB = IENCA(1,2)
C
C INV. DE SEG. POR INCERTIDUMBRE EN EL TIEMPO DE ENTREGA
C
IENCA(1,1) = IENCA(1,1) / (IENCA(1,1) + IENCA(1,2))
IENCA(1,2) = IENCA(1,2) / (IENCA(1,1) + IENCA(1,2))
GO TO 100
50 IENCA(1,1) = IENCA(1,1) + IENCA(1,2)
100 CONTINUE
C
C INV. DE SEG. POR INCERTIDUMBRE EN LA DEMANDA
C
IENCA(1,1) = IENCA(1,1) + IENCA(1,2)
C
C CALCULO DEL NIVEL DE RESERVA
C
K(1) = (IENCA(1,1) + IENCA(1,2)) * IS2
C
C CALCULO DE LA INVERSION PROMEDIO
C
IP(1) = IENCA(1,1) * IS1 + IENCA(1,2) * IS2
200 CONTINUE
C
C IMPRESION DE RESULTADOS
C
NPR=1
IENCA(1,1)
IENCA(1,2)
IENCA(1,2)
IENCA(1,1)
WRITE(2,1040) NOM, IENCA(1,1), IENCA(1,2), IENCA(1,2), IENCA(1,2)
IENCA(1,1), IENCA(1,2), IENCA(1,1), IENCA(1,2)
1040 FORMAT(1A,2A,4I0,2F5.0,2F5.1,2F5.2)
GO TO 5
500 CONTINUE
STOP
1110 FORMAT(1H,10X,/)
1120 FORMAT(1H,2A,4I0,2F5.0,2F5.1,2F5.2)
1130 FORMAT(1H,3A,4I0,/)

```

1140 FORMACION 7X,3HT= F3.0.71
 1150 FORMACION 42X,17HTIEMPO DE ENTREGA 13X,16NIVEL DE REORDEN
 1160 FORMACION 42X,17H----- 12X,19-----
 1170 FORMACION 7X,46HTUN. DESCRIPCION COST.UNIT. NIV. NGR.
 154 MAX. DEMANDA 5X,3HNS=F3.2 5X,3HNS=F3.2

V RESULTADOS
 =====

FECHA 06/1007/81

DETERMINACION DEL NIVEL DE REORDEN EN BASE AL NIVEL DE SERVICIO
 TIEMPO EN DIAS + DEMANDA MENSUAL + COSTOS EN PESOS

10 PAGA 1

Nº.	DESCRIPCION	COST.UNIT.	TIEMPO DE ENTREGA			DEMANDA	NIVEL DE REORDEN		INVERSION PROVEDOS	
			NIV.	NOR.	MAX.		NIV. 80	NIV. 90	NIV. 80	NIV. 90
354-84	NECIO NOSTO	27267.01	30.	50.	90.	309.	1400.	2303.	24512193.40	30577326.81
354-51	CAMERA	4113.41	20.	40.	50.	373.	2450.	2340.	4641340.10	4091020.25
84020	MIELA	415.79	15.	30.	60.	929.	5135.	3773.	100700.77	2371413.40
31450374	CANISO	194.74	30.	60.	70.	1309.	30305.	12154.	1072140.41	3439160.07
354-1-15	BJYOS CLOV.	234.44	30.	60.	70.	1437.	8770.	9554.	471000.22	1057713.59
354-3-92	PLACA ERE.	474.43	45.	60.	70.	1309.	4072.	30126.	1440200.34	2444011.34
354-209	JUEGO JUYRAS	418.72	30.	60.	70.	811.	4374.	3053.	432047.19	1220544.42
354-1-72	C34474	2011.84	30.	45.	80.	529.	2741.	2945.	2376067.29	2732433.13
24501017	C.245473	36.80	20.	30.	80.	3465.	161745.	170041.	2421031.80	2725490.93

ANEXO CON DEMOSTRACION DETALLADA

Variables utilizadas en la demostración:

Variable	Descripción
T_r	Tiempo de revisión del inventario
τ	Tiempo de entrega
T_e	Tiempo de entrega máxima.
T_b	Tiempo de entrega normal.
T_a	Tiempo de entrega mínimo.
T_p	Tiempo de entrega promedio.
D	Demanda de artículos.
D_p	Demanda promedio.
S	Desviación estándar de la demanda.
K	Valor de la distribución normal estandarizada.
D_e	Demanda esperada en el tiempo de revisión más el tiempo de entrega promedio.
N_S	Nivel de servicio.
IS_1	Inventario de seguridad debido a la incertidumbre del tiempo de entrega.
IS_2	Inventario de seguridad debido a la incertidumbre de la demanda.
IS	Inventario de seguridad.
R	Nivel de reorden.
X	Cantidad a ordenar al tiempo de revisión.
C	Coste unitario por artículo.
CI	Coste (inversión) en inventarios.

INVENTARIO DE SEGURIDAD POR INCERTIDUMBRE EN EL TIEMPO DE ENTREGA

Suponiendo que el tiempo de entrega es una variable aleatoria con función de densidad de probabilidad triangular con parámetros T_a , T_b y T_e (ver Figura).

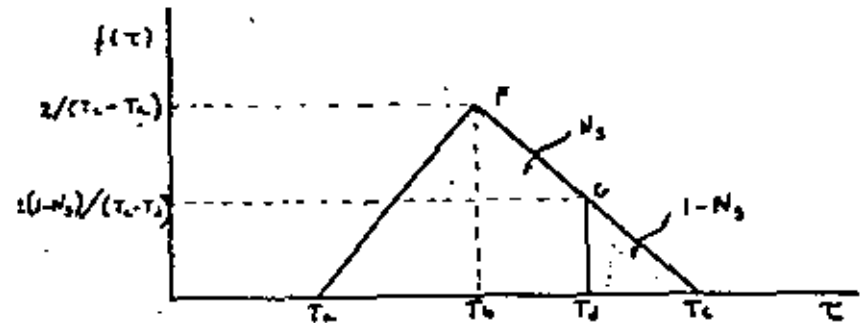
Suponiendo además por el momento, que la demanda es fija

$$D = D_p$$

concentraremos el inventario de seguridad debido a la incertidumbre en el tiempo de entrega.

Caso 1.- Cuando

$$N_S \geq (T_b - T_a) / (T_e - T_a) = \text{Área del triángulo } (T_a, T_b, P)$$



Existirán faltantes cuando

$$D_p (T_r + \tau) > R$$

Ahora si queremos que este ocurra con probabilidad igual a

$1 - N_S$ entonces tenemos que

$$\text{Prob} (D_p (T_r + \tau) > R) = 1 - N_S$$

Reordenando

$$\text{Prob} (\tau > R / D_p - T_r) = 1 - N_S$$

este implica que (ver Figura)

$$T_d = R / D_p - T_r \dots\dots\dots(a)$$

Notese que los triángulos (Tb, To, P) y (Td, To, Q) son semejantes, lo que implica que:

$$T_o - T_b \sim T_o - T_d$$

como

$$Z / (T_o - T_a) \sim Z (1 - N_g) / (T_o - T_d)$$

$$\bullet \bullet \bullet \quad Z (1 - N_g) (T_o - T_b) / (T_o - T_d) = Z (T_o - T_d) / (T_o - T_a)$$

$$\bullet \bullet \bullet \quad (1 - N_g) (T_o - T_b) (T_o - T_a) = (T_o - T_d)^2 \dots\dots\dots(b)$$

substituyendo (a) en (b) tenemos:

$$(1 - N_g) (T_o - T_b) (T_o - T_a) = (T_d + T_r - R / D_p)^2$$

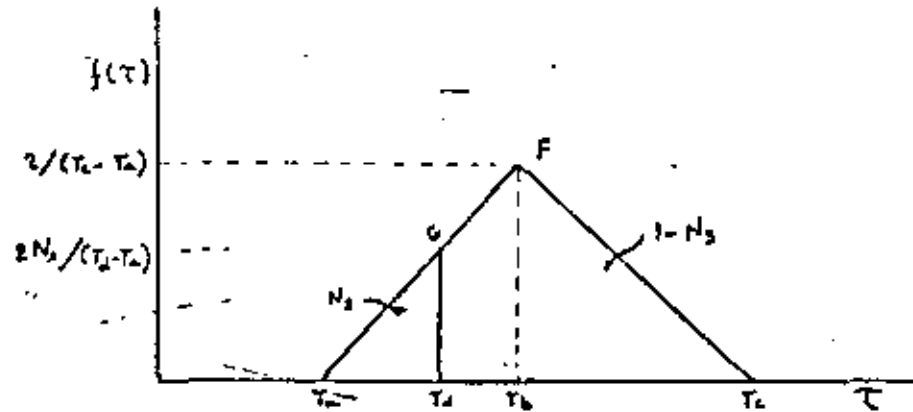
$$\bullet \bullet \bullet \quad R = D_p T_r + D_p T_o - D_p \sqrt{(1 - N_g) (T_o - T_b) (T_o - T_a)}$$

$$\bullet \bullet \bullet \quad R = D_p (T_r + T_p) + D_p \left\{ T_o - T_p - \sqrt{(1 - N_g) (T_o - T_b) (T_o - T_a)} \right\}$$

$$\bullet \bullet \bullet \quad IS_1 = D_p \left\{ T_o - T_p - \sqrt{(1 - N_g) (T_o - T_b) (T_o - T_a)} \right\}$$

donde T_p es el tiempo promedio de entrega.

Caso 2.- Si $N_g < (T_b - T_a) / (T_o - T_a)$



por las mismas razones del caso anterior

$$T_d = R / D_p - T_r \dots\dots\dots(a)$$

Notese que los triángulos (Tb, Td, P) y (Tb, Td, Q) son semejantes, lo que implica que:

$$T_b - T_a \sim T_d - T_a$$

como

$$Z / (T_o - T_a) \sim (2 \cdot N_g) / (T_d - T_a)$$

$$2N_g (T_b - T_a) / (T_d - T_a) = 2 (T_d - T_a) / (T_o - T_a)$$

$$\bullet \bullet \bullet \quad N_g (T_o - T_a) (T_b - T_a) = (T_d - T_a)^2 \dots\dots\dots(b)$$

Substituyendo (a) en (b) tenemos:

$$N_g (T_o - T_a) (T_b - T_a) = (R / D_p - T_r - T_a)^2$$

$$R = T_r D_p + T_a D_p + D_p \sqrt{N_g (T_o - T_a) (T_b - T_a)}$$

$$\bullet \bullet \bullet \quad R = (T_r + T_p) D_p + D_p (T_a - T_p + \sqrt{N_g (T_o - T_a) (T_b - T_a)})$$

$$\bullet \bullet \bullet \quad IS_1 = D_p (T_a - T_p + \sqrt{N_g (T_o - T_a) (T_b - T_a)})$$

IMPLEMENTACION DE SEGURIDAD POR INCE REQUERIDA EN LA DEMANDA.-

Suponiendo que la demanda es una v.a. con f.d.p. normal con media igual a D_p y desviación estándar S. Además, suponiendo que el tiempo de entrega es fijo

$$T = T_p$$

se sabe que:

$$R = D_p (T_r + T_p) + K \cdot S \sqrt{T_r + T_p}$$

$$\bullet \bullet \bullet \quad IS_2 = K \cdot S \sqrt{T_r + T_p}$$

donde K es el valor de la normal estandarizada para el cual se tiene a la derecha una probabilidad 1 - N_g y a la izquierda...

EJEMPLO NUMÉRICO

quiera por consiguiente, una probabilidad N_3 .

CÁLCULO DEL INVENTARIO DE SEGURIDAD

$$IS = IS_1 + IS_2$$

CÁLCULO DE LA DEMANDA ESPERADA

$$D_e = D_p (T_r + T_p)$$

CÁLCULO DEL NIVEL DE RESPUESTA

El nivel de orden será igual a la demanda promedio en el tiempo de revisión más el tiempo de entrega promedio; más el inventario de seguridad.

$$R = D_e + IS$$

CÁLCULO DE LA INVERSIÓN PROMEDIO

La inversión promedio será igual al inventario promedio -- multiplicado por el costo unitario

$$CI = \left\{ (D_p + T_r) / 2 + IS \right\} C$$

CÁLCULO DE LA CANTIDAD X A ORDENAR

$$X = R - I$$

donde I es la cantidad en inventario al momento de la revisión.

Sea la pieza 254-61 medio motor.

Datos:

$$T_r = 90 \text{ días} = 3 \text{ meses}$$

$$T_a = 30 \text{ días} = 1 \text{ mes}$$

$$N_3 = 0.40$$

$$T_b = 50 \text{ días} = 50/30 \text{ meses}$$

$$K = 0.85$$

$$T_c = 90 \text{ días} = 90/30 \text{ meses}$$

$$D_p = 308 \text{ artículos por mes}$$

$$S = 171.39$$

$$C = \$27,989.61 \text{ por unidad}$$

Cálcula del tiempo de entrega promedio

$$T_p = \frac{1}{3(T_c - T_a)} \left\{ \frac{T_a^3 - 3T_aT_b^2 + 2T_b^3}{(T_b - T_a)} + \frac{2T_b^3 - 3T_bT_c^2 + T_c^3}{(T_c - T_b)} \right\}$$

$$T_p = 50/45$$

Cálculo del inventario de seguridad debido al tiempo de entrega.

puesto que:

$$(T_b - T_a)/(T_c - T_a) = 0.40 < 0.40 = N_3$$

utilizaremos el caso 1. Esto es:

$$IS_1 = D_p \left\{ T_c - T_p - \sqrt{(1 - N_3) \cdot (T_c - T_b) \cdot (T_c - T_a)} \right\}$$

$$IS_1 = 308 \left\{ \frac{90}{30} - \frac{50}{45} - \sqrt{(0.2) \cdot (90 - 50) \cdot (90 - 30)} / (30)^2 \right\}$$

$$= 308 \left\{ \frac{90}{30} - \frac{50}{45} - \frac{1}{3} \right\} = 95.98$$

Cálculo del inventario de seguridad debido a la demanda

$$IS_2 = K S \sqrt{T_r + T_p} = (0.85) \cdot (171.39) \sqrt{3 + 50/45}$$

$$= 318.43$$

Inventario de seguridad

$$IS = IS_1 + IS_2 = 93.95 + 318.43 = 414.38$$

Nivel de reorden

$$R = Op (I_r + T_p) + IS = 308 \left(3 + \frac{80}{15} \right) + 414.38$$

$$R = 1,471.68 + 414.38 = 1,885.94$$

Inventario promedio

$$CI = \left\{ (Op Tr)/2 + IS \right\} c$$

$$CI = \left\{ (308)(3)/2 + 414.38 \right\} 27,989.81$$

$$CI = \{ 876 \} 27,989.81 \approx \$ 24,500,000$$



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

GRUPOS DE DECISION

M. EN I. ARTURO FUENTES ZENON

NOVIEMBRE, 1981

GRUPOS DE DECISION *El J. Decisor (Grupo de Personas)*

1. Planteamiento del problema.

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

Pongamos varios ejemplos:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Para ejemplificarlo pensemos en el siguiente caso:

Existen dos alternativas A y B

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

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

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

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

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

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

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

2. Tipos de grupos de decisión

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

2.1 Grupos con selecciones por votación

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

2.2 Auxiliares del decisor

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

2.3 El decisor como sintetizador.

Aquí se plantea el caso de un decisor que está inte

resado en los efectos de sus decisiones sobre otros N individuos. El objetivo de esta persona es lograr la máxima satisfacción para dichas personas.

Se considera que las demás personas no tienen capacidad de decisión y que el decisor estructura sus preferencias en base a las preferencias de los N individuos integrantes del grupo.

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

2.4 El dictador altruista

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

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

Este caso es muy común, pudiendo citarse varios ejemplos:

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

conocen ninguno?

¿Cómo van a saber los individuos, lo bueno que es escuchar música clásica, si a priori la rechazan?

2.5 El grupo participativo de decisión.

El grupo participativo de decisión está constituido por N individuos interesados en la selección de una alternativa y en el cual todos contribuyen en alguna medida a la toma de decisión.

Excluiremos de este caso el procedimiento de votación ya comentado, para remitirnos a aquel en que se desea seleccionar la alternativa que se considere lo más eficiente para el grupo como un todo.

2.6 Decisores y decisiones múltiples.

En este caso el grupo de decisión está constituido por ciertos individuos, cada uno de los cuales tiene capacidad de tomar una decisión y los resultados esperados dependerán de las decisiones hechas por los otros individuos.

En este tipo de grupos de decisión se cae dentro de la teoría de juegos, en el que sugestivamente se les denomina a los decisores como jugadores y a los resultados como pagos. Debido a la amplitud y complejidad de este problema no se tratará en este trabajo.

Como se puede observar la metodología propuesta es

aplicable a tres de los casos marcados, los cuales son:

- A. El decisor como sintetizador
- B. El dictador altruista
- C. El grupo participativo de decisión.

En realidad el caso B solo es una variación del primero, por lo que lo trataremos al mismo tiempo.

3. Simbología

Antes de proceder a describir las técnicas que se emplearán para plantear y resolver el problema de decisión, se indicará la nomenclatura que será utilizada.

- A, B, C, ... Son las alternativas factibles
- U_i Es el individuo i ésimo.
- $U_i(x)$ Es la función utilidad del individuo i ésimo
- $V_i(x)$ Es la función valor del individuo i ésimo.
- X_i Es el nivel del atributo i ésimo
- x_i Es el atributo i ésimo
- $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ Es un punto en el espacio de resultados.
- $V(x)$ Es la función utilidad del grupo
- $V(x)$ Es la función valor del grupo
- λ Es una constante que servirá para ponderar las preferencias de los distintos individuos.

4. Funciones valor y utilidad del decisor como sintetizador.

Nosotros hemos asumido que el decisor debe elegir entre

varias alternativas. Su decisión tendrá un impacto en un número de personas en cuyos sentimientos y preferencias, él está interesado.

Nuestro problema es ¿cómo le podemos ayudar a ese decisor a estructurar y resolver su problema? en particular ¿cómo estructurar sus preferencias?

4.1 El modelo con certeza.

Para el caso en que no exista incertidumbre las preferencias del decisor quedarán representadas por una función valor de la forma

$$V(x) = f(V_1(x), V_2(x), \dots, V_n(x)) \quad (1)$$

donde:

$V(x)$ es la función valor del decisor

$V_i(x)$ Es la función valor del i ésimo individuo

Esta función valor es válida cuando:

- a) Las preferencias del decisor respecto al resultado X están dadas por las funciones valor.
- b) Las preferencias del individuo i ésimo respecto al resultado X están dadas por la función valor $V_i(x)$.
- c) El decisor conoce con certeza las funciones $V_i(x)$. De no ser así el problema se transforma en uno bajo incertidumbre.

Ahora bien, si se cumplen las condiciones

- # 1. "Independencia en preferencia"
- # 2. "Asociación ordinal positiva"

y que $N \geq 3$

entonces:

$$V(x) = \sum_{i=1}^N V_i^*(x) \quad (2)$$

donde:

V_i^* es una función valor $V_i^*(V_i(x))$ que refleja las comparaciones interpersonales de preferencias hechas por el decisor, o siguiendo la técnica del valor medio podría llegarse a la siguiente expresión:

$$V(x) = \sum_{i=1}^N \lambda_i V_i^*(x) \quad (3)$$

donde:

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

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

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

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

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

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

4.2.1 El modelo con incertidumbre

En el caso de que exista incertidumbre por las características propias del problema y/o porque no se conozcan con certeza las estructuras de preferencias de los individuos, la estructura de prefe-

rencias del decisor se establecerá a través de una función utilidad de la forma

$$U(x) = g(U_1(x), U_2(x), \dots, U_N(x)) \quad (4)$$

donde

$U(x)$ es la función de utilidad del decisor

$U_i(x)$ es la función utilidad del individuo i ésimo.

Como puede observarse ambas formulaciones son idénticas a las que se plantearon en anteriores capítulos, habiéndose sustituido los valores terminales originales del problema por utilidades o valores de los individuos.

4.2.1 Función utilidad aditiva

Para $N \geq 2$ y si se cumplen las suposiciones

- # 3 "Independencia en aditividad"
- # 4 "Equivalencia estratégica"

Entonces

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

donde:

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

Por otra parte si se cumplen $U(x) = \sum_{i=1}^N \lambda_i U_i(x)$

entonces las suposiciones #2 y #3 están sujetadas.

4.2.2 Función de utilidad multilineal.

Para $N \geq 2$ y si se cumplen las suposiciones

- # 4 "Equivalencia estratégica"
- # 5 "Independencia en utilidad"

Entonces

$$U(x) = \sum_{i=1}^N \lambda_i U_i(x) + \sum_{i=1}^N \sum_{j>i}^N \lambda_{ij} U_i(x) U_j(x) + \dots + \lambda_{12\dots N} U_1(x) U_2(x) \dots U_N(x) \quad (6)$$

donde

$$0 \leq \lambda_i \leq 1 \text{ y } \lambda_{ij} \text{ no están restringidas en valor y } \sum \lambda_i = 1$$

Para el caso de un problema con tres individuos la función queda como

$$U(x) = \lambda_1 U_1(x) + \lambda_2 U_2(x) + \lambda_3 U_3(x) + \lambda_{12} U_1(x) U_2(x) + \lambda_{13} U_1(x) U_3(x) + \lambda_{23} U_2(x) U_3(x) + \lambda_{123} U_1(x) U_2(x) U_3(x) \quad (7)$$

4.2.3 Función de utilidad multiplicativa.

Para $N \geq 3$ y si se cumplen las suposiciones

- # 1 "Independencia en preferencia"
- # 4 "Equivalencia estratégica"
- # 5 "Independencia en utilidad"

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

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

Para un problema con tres atributos esta función queda como:

$$U(x) = \lambda_1 U_1(x) + \lambda_2 U_2(x) + \lambda_3 U_3(x) + \lambda \lambda_1 \lambda_2 U_1(x) U_2(x) + \lambda \lambda_1 \lambda_3 U_1(x) U_3(x) + \lambda \lambda_2 \lambda_3 U_2(x) U_3(x) + \lambda^2 \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 U_1(x) U_2(x) U_3(x) \quad (9)$$

4.3 Demostración de la validez de las suposiciones

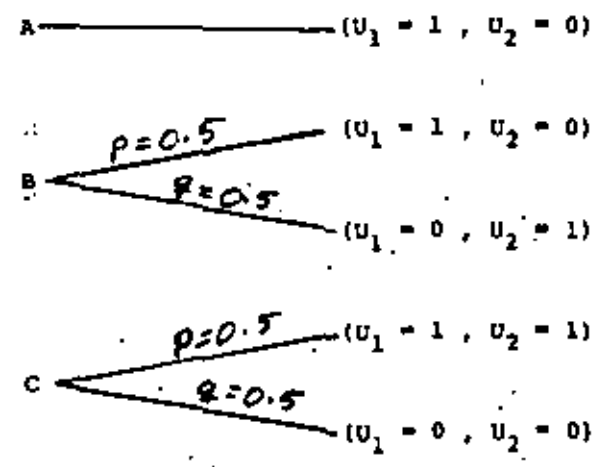
4.3.1 Suposición # 3 "Independencia en aditividad"

Supongamos que el decisor esta interesado en las preferencias de dos individuos 1 y 2 y que por simplicidad supone que

$$U(x) = 0.5 U_1(x) + 0.5 U_2(x) \quad (10)$$

donde U_i representa la utilidad del íésimo individuo, teniendo valores entre 0 y 1.

Ahora consideremos estas alternativas



Usando (10) el decisor será indiferente entre las tres alternativas, al ser su utilidad esperada

$$U(x) = 0.5.$$

Pero al observar las alternativas notamos que la alternativa A no es justa para el individuo 2, ya que mientras el individuo 1 recibe con certeza su mejor resultado, el también con certeza recibirá el resultado que le es más desfavorable.

En atención a lo anterior y queriendo el decisor ser más justo, piensa que son mejores las alternativas B y C, donde cada individuo tiene un 50 por ciento de posibilidades de recibir su mejor resultado, o su resultado más desfavorable.

Ahora observa que con C los dos individuos reciben su consecuencia preferida, o su consecuencia menos preferida, lo cual considera que es un resultado equitativo.

Mientras que en B si un individuo recibe su mejor consecuencia el otro recibe la peor, lo cual le parece que no es equitativo.

En las alternativas B y C, si bien los resultados a priori son equitativos, a posteriori los resultados de la alternativa B no lo son.

Sin embargo todas estas observaciones no pueden reflejarse en (10) donde se supone que para él todas las alternativas le son indiferentes.

Al usar otra función de utilidad (6)

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

donde

$$\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_{12} = 1$$

Supongamos que para el ejemplo

$$U(x) = .4U_1(x) + .4U_2(x) + .2 U_1(x) U_2(x)$$

Entonces las utilidades esperadas para las alternativas A, B y C son 0.4, 0.4 y 0.5, respectivamente.

De esta manera puede afirmarse que las funciones de utilidad multilíneal o multiplicativa permiten tomar en cuenta aspectos de equidad posterior.

De acuerdo con lo anterior puede afirmarse que si en un problema desean tomarse en cuenta aspectos de equidad, entonces no es válida la función de utilidad aditiva y que por tanto no es válida la suposición # 3 "Independencia en aditividad".

4.3.2 Suposición #5 "Independencia en utilidad"

La utilidad para el atributo U_i para $i=1,2,\dots,N$ es independiente de los otros atributos.

Para ilustrar este caso, consideremos el siguiente ejemplo;

Todos los individuos menos uno (k) son indiferentes, entre dos alternativas A y B.

Si en esas alternativas la utilidad de los otros individuos es baja y para el individuo k másimo en la A es alta y en la B es baja, acorde con la suposición 5 el decisor debería preferir la alternativa A, sin embargo, si debido a presiones del grupo o de cualquier otro tipo el decisor tiene dudas, la suposición 5 no se cumple.

La interpretación de esto es que el decisor en aras de la equidad esta dispuesto a sacrificar la utilidad de un elemento aunque los demás no ganen nada. Esta condición debe satisfacerse para todos los individuos es decir desde $i=1$ hasta $i=N$.

Otro caso en el que no se cumplirá esta condición es cuando el individuo k se encuentra en una clase superior y por tanto el decisor no esta dispuesto a que tenga una utilidad baja mientras el resto la tiene alta.

4.3.3 Suposición # 1 "Independencia en preferencia"

Se dice que (U_i, U_j) es independiente en preferencia de su complemento $U_{i,j}$ no depende del nivel de $U_{i,j}$.

Esta condición se satisface si todos los miembros

del grupo son de alguna manera iguales en importancia.

Si esto no se cumple el decisor puede establecer diferencias entre grupos usando la ecuación 8, pero esto no lo puede hacer en la ecuación 6.

4.3.4 Suposición # 2 "Asociación ordinal positiva" y Suposición # 4 "Equivalencia estratégica"

Las suposiciones 2 y 4 son similares en espíritu, puesto que lo que ellas requieren para cumplirse es que el decisor tome las preferencias individuales como propias. En general esto ^{se} satisface para muchos problemas, sin embargo, el decisor puede que no acepte esta suposición si el siente que alguno de los dos siguientes problemas esta presente.

- a) Alguno de los individuos no comunicó honestamente sus preferencias.
- b) Algun individuo no conoce que es lo mejor para si mismo.

En el segundo caso, y aun en el primero, el decisor puede actuar como un dictador altruista y hacer las correcciones pertinentes.

5. El grupo participativo de decisión.

Si se tiene un grupo participativo de decisión, al

grupo como un todo debe verificar las suposiciones 1 o 6 y asignar las constantes λ_j , mientras que las funciones valor V_j y las funciones de utilidad U_j pueden ser asignadas por cada uno los individuos del grupo.

Para las suposiciones y constantes es necesario que el grupo llegue a un consenso. Esto puede ser relativamente fácil en las verificaciones de las suposiciones.

El acuerdo entre las constantes de escala en algunos casos será muy difícil de lograr. Como previamente indicaremos esas constantes pueden promover cierto tipo de equidad entre los miembros del grupo y proporcionan una oportunidad para que los distintos miembros del grupo queden protegidos, al evitarse que se concentren todos los beneficios en solo algunos individuos, pudiendose así facilitar el consenso.

Cuando el consenso no pueda ser alcanzado, el trabajo realizado no es uno, ya que el proceso seguido les permite identificar cuales son los puntos de desacuerdo, lo cual constituye una base para posteriores discusiones y compromisos.

En el caso de que no se llegue prontamente a un acuerdo, se recomienda hacer un análisis de sen-

sibilidad con los diferentes criterios, con el fin de establecer en el espacio de resultados cuales son las diferencias, posiblemente así se favorezca el consensor.

6. Ventajas de la formalización y algunas consideraciones pragmáticas.

Podemos decir que en el contexto de grupos existen tres etapas que el decisor sigue para articular su función de utilidad.

- a) Especificación de objetivos y atributos x_1, x_2, \dots, x_m .
- b) Establecimiento de funciones individuales de utilidad.
- c) Obtención de la función de utilidad del grupo.

El trabajo detallado en la especificación de los objetivos y los atributos y funciones de utilidad, ayudarán a clarificar la articulación de los resultados que son significativos en el problema, y esto puede ayudar a sensibilizar a los individuos para que entiendan mejor esos resultados. Aun más, puede ayudar a identificar de que manera puede descomponerse el problema y así facilitar el que exista una efectiva comunicación entre los miembros del

grupo y entre estos con el decisor.

Por otra parte, si el número de individuos es grande y por tanto no es posible obtener U_1, U_2, \dots, U_n , en la práctica se puede obtener información de las funciones de utilidad individuales siguiendo el siguiente proceso:

- a) Formar estratos
- b) .Hacer un muestreo en cada estrato, o llamar a un experto para que le ayude haciendo las veces de los individuos, o utilizar indicadores sociales y económicos y estructurar así las preferencias de esos individuos.

BIBLIOGRAFIA

ARROW, Kenneth J.
Social Choice And Individual Values.
 3a.ed., New York, Ed. John Wiley, 1966, 124 p.

KEENEY, Ralph L.; RAIFFA, Howard
Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs.
 1a. ed., New York, Ed. John Wiley, 1976, 569 p.



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

UN EJEMPLO DE DINAMICA DE SISTEMAS

M. EN C. MARCIAL PORTILLA ROBERTSON

NOVIEMBRE, 1981

INTRODUCCION

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

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

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

1.5.1. DESCRIPCION DEL SISTEMA

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

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

1.5.2 ESPECIFICACION DEL MODELO

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

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

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

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

1.5.3 DEFINICION DEL TIEMPO DE SIMULACION

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

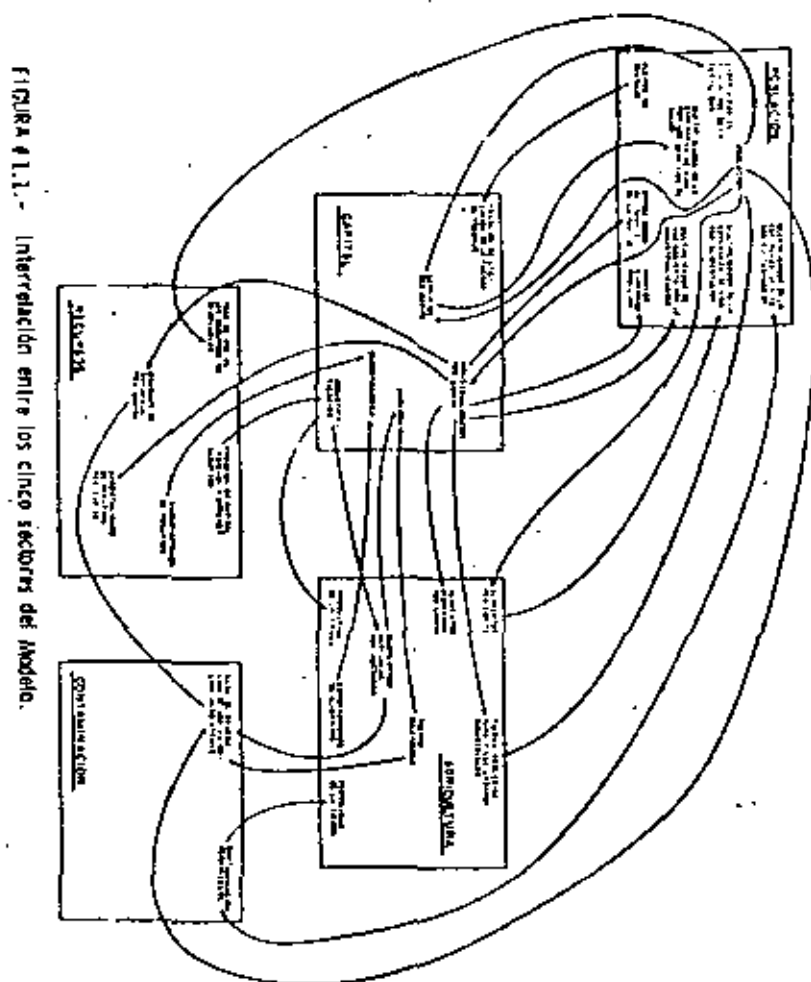
Los recursos no renovables, capítulo 5, que representa el combustible y el suministro de materiales para la industria y la agricultura. La contaminación, capítulo 6, que estudia los efectos nocivos en el medio ambiente producidos por la industria y la agricultura y que reducen - la esperanza de vida,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

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

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

1.5.5 POSTULACION DE LA ESTRUCTURA DEL MODELO

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



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

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

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

Dado que las suposiciones estructurales no son cuantitativas,

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

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

acciones del modelo.

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

7.5.6. LA ESTRUCTURA DEL MODELO

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Para juzgar la utilidad del modelo es preciso basarse en las

siguientes condiciones:

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

1.5.8 LIMITES FISICOS DEL MODELO

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

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

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

2.1 INTRODUCCION

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

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

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

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

Un profesor de la Universidad Nacional Autónoma de México afirma:

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

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

2.2 CONCEPTOS UTILIZADOS

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

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

2.2.1 CRECIMIENTO EXPONENCIAL

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

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

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

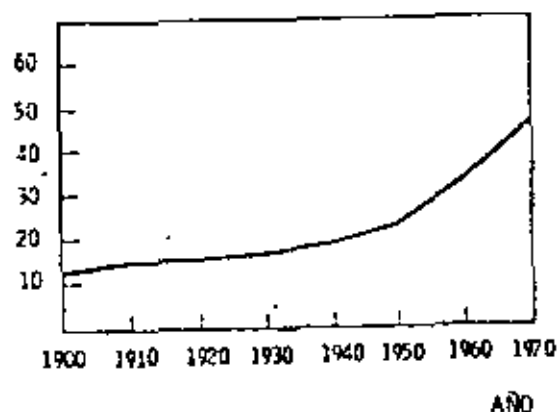


FIGURA # 2.1.- Gráfica de la Población de México.

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

2.2.2. TASA DE CRECIMIENTO

Podemos empezar analizando la tasa de crecimiento, que --

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

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

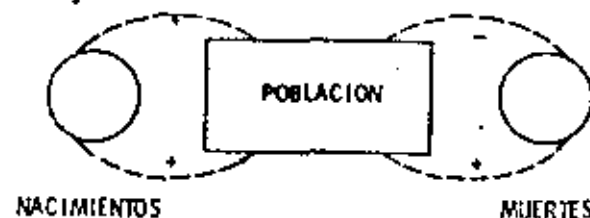


FIGURA # 2.2.- Esquema Causal de la Población.

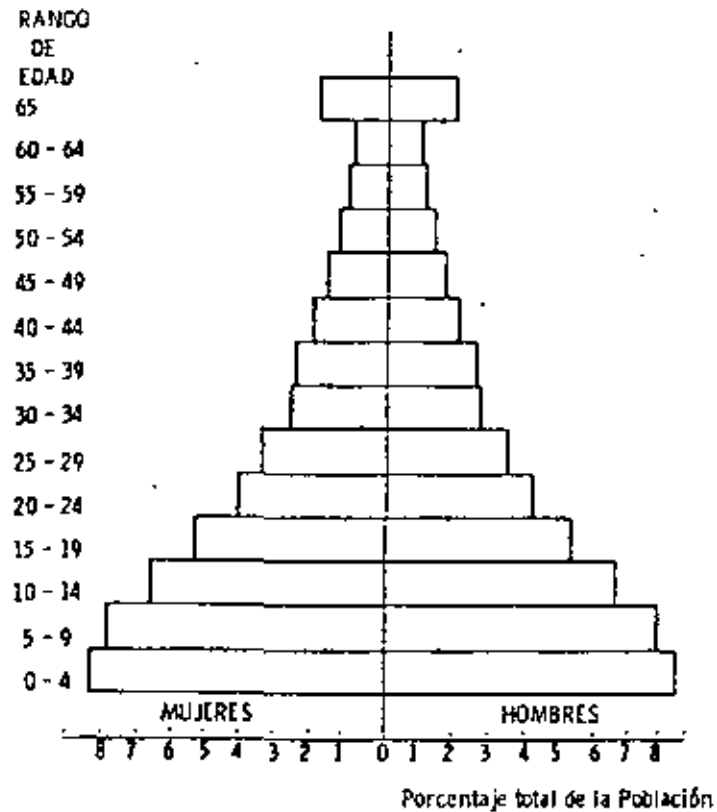


FIGURA # 2.3.- Pirámide de la Población de México en 1970 por rangos de edad.

2.2.3 SUBNIVELES DE POBLACION

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

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

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

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

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

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

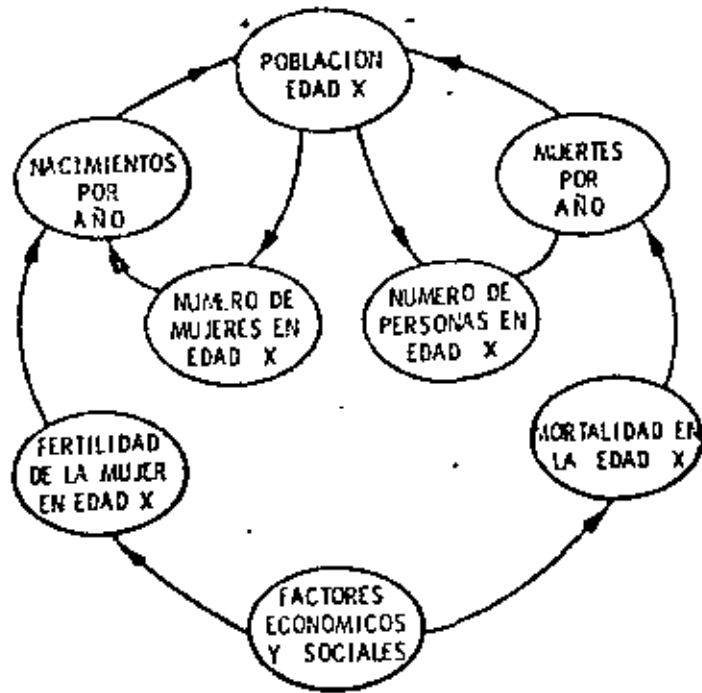


FIGURA # 2.4.- Esquema causal de la Población dividida en niveles por rangos de edad.

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

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

2.2.4 FERTILIDAD, NATALIDAD Y MORTALIDAD

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

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

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

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

Cada determinante demográfico está afectado por determinan-

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

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

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

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

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

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

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

El control impuesto sobre la fertilidad está dado por casamientos tardíos, abortos y anticonceptivos, actuando los controles siempre y cuando éste se necesite y se haya presupuestado para lograrlo.

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

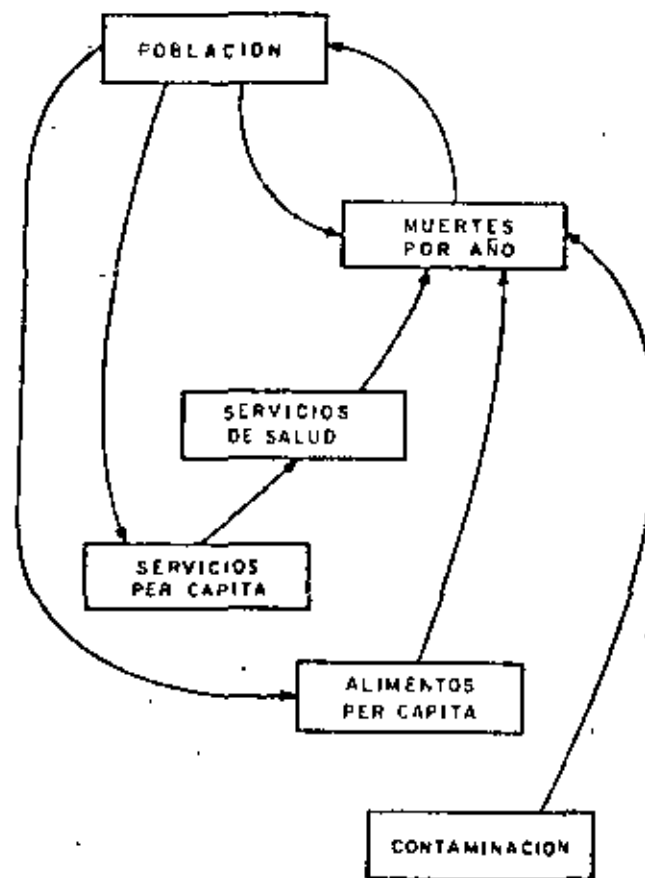


Figura # 2.5.- Influencia de la Mortalidad en el Modelo.

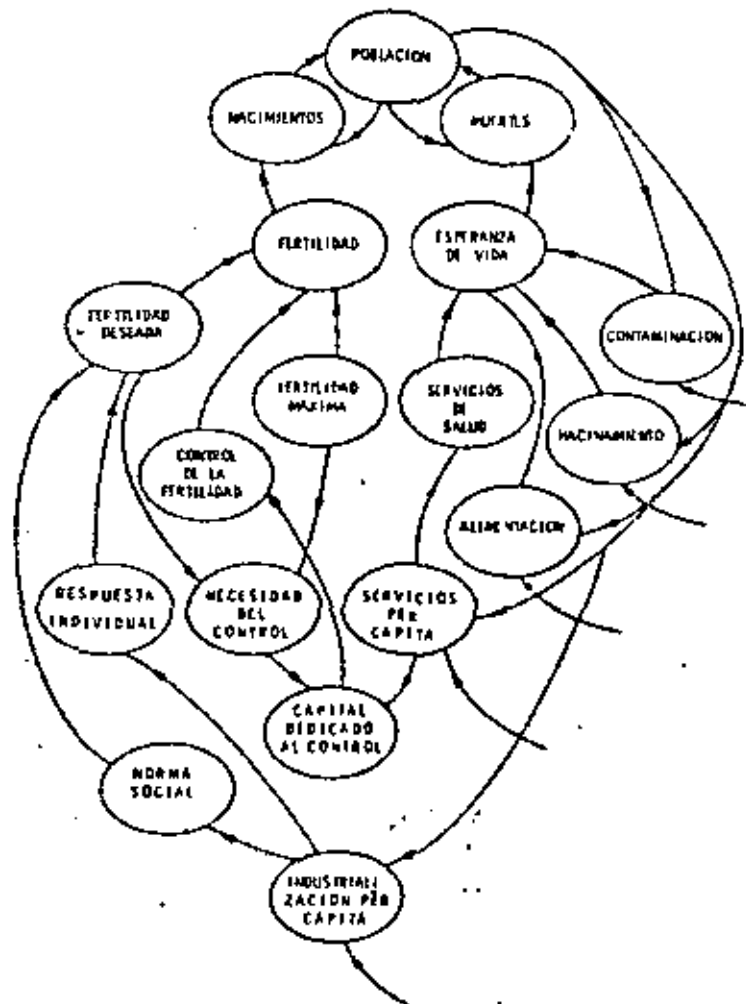


FIGURA 2.6.- Influencia en la Esperanza de Vida y de la Fertilidad en el crecimiento.

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

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

2.2.5 ESPERANZA DE VIDA

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

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

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

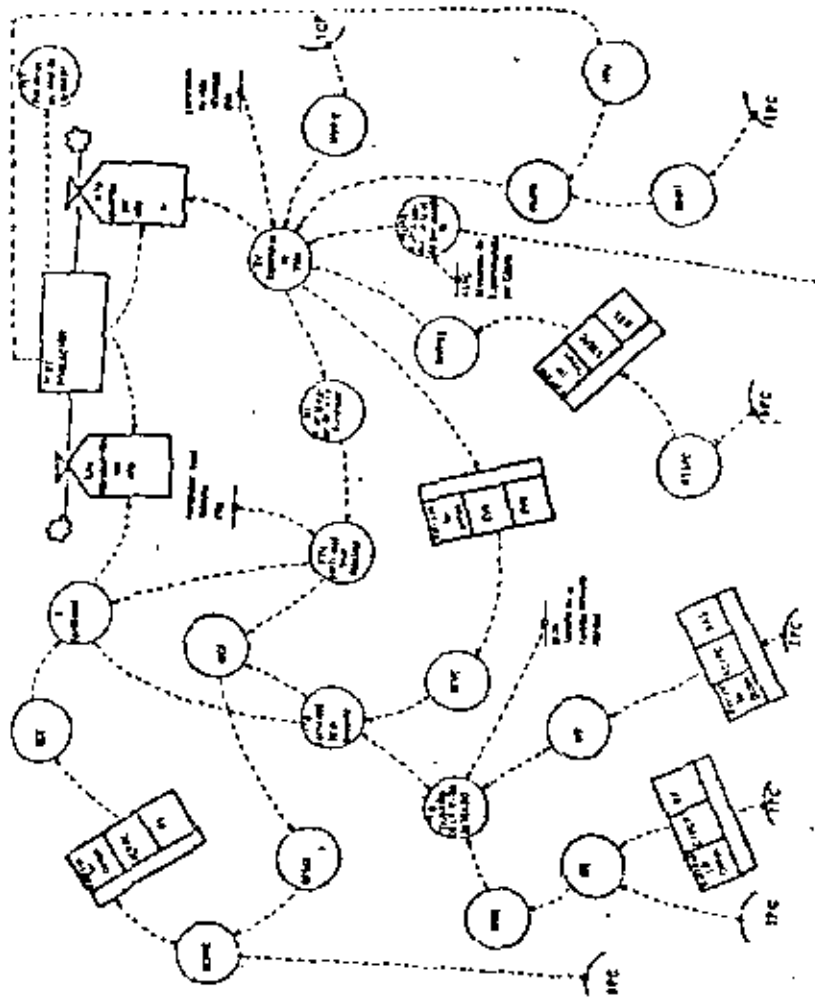


FIGURA 2.7.- DIAGRAMA DE FLUJO EN DINAMICO DEL SECTOR POBLACION.

2.4.1. CORRIDA HISTORICA.-

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

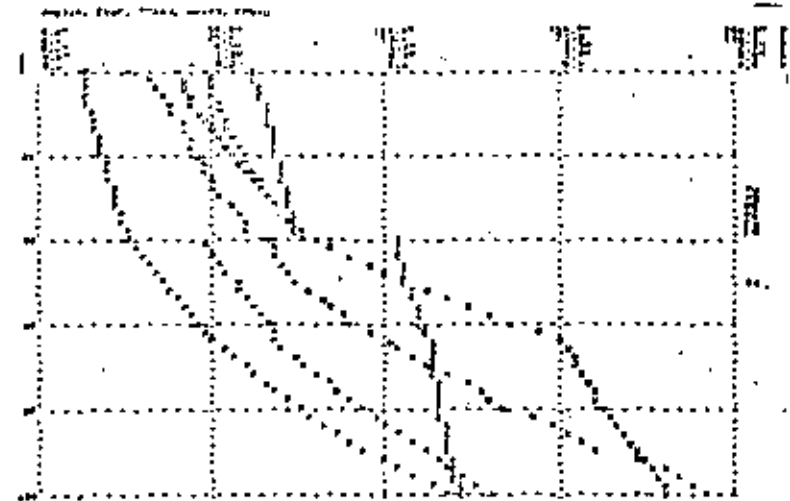


FIGURA #2.25.- Corrida Histórica del Sector de Población.

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

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

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

Se puede observar que el comportamiento de estas variables refleja cualitativamente el crecimiento demográfico en México. En 1900 debido a la inclusión de un impulso a los servicios de salud disminuyen sensiblemente las muertes por año y aumenta la esperanza de vida y los nacimientos por año.

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

2.4.2. CORRIDA QUE MANTIENE LA INDUSTRIALIZACIÓN, LOS SERVICIOS Y LA ALIMENTACIÓN CONSTANTES Y A UN BAJO NIVEL, SIN QUE HAYA CAMBIO EN LOS SERVICIOS DE SALUD EN 1910.

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

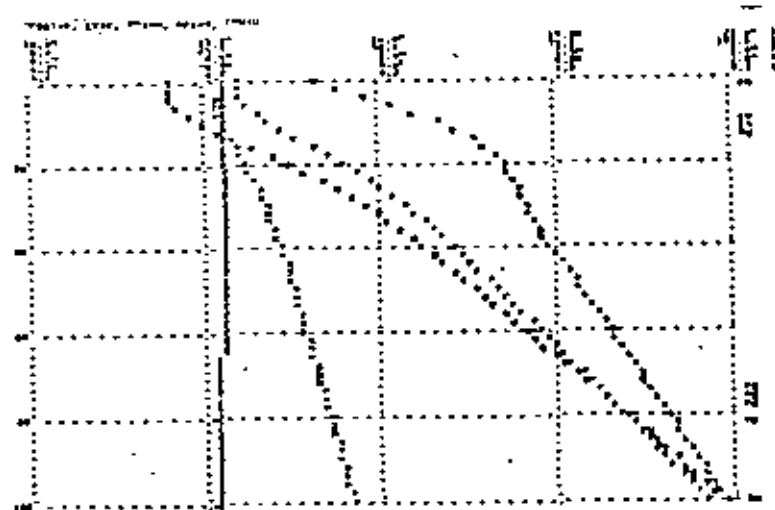


FIGURA # 2.26.- Industrialización, Servicios y Alimentación Constantes a un Valor Bajo.

POBT	(PI)	Población Total
EV	(E)	Esperanza de Vida
MPA	(MU)	Muertes por Año
NPA	(UN)	Nacimientos por Año
FPU	(U)	Fracción de Población Urbana

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

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

2.4.3. CORRIDA QUE MANTIENE LA INDUSTRIALIZACIÓN, LOS SERVICIOS Y LA ALIMENTACIÓN CONSTANTES Y A UN ALTO NIVEL.

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

2.4.4. CORRIDA SEMEJANTE A LA 2.4.2

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

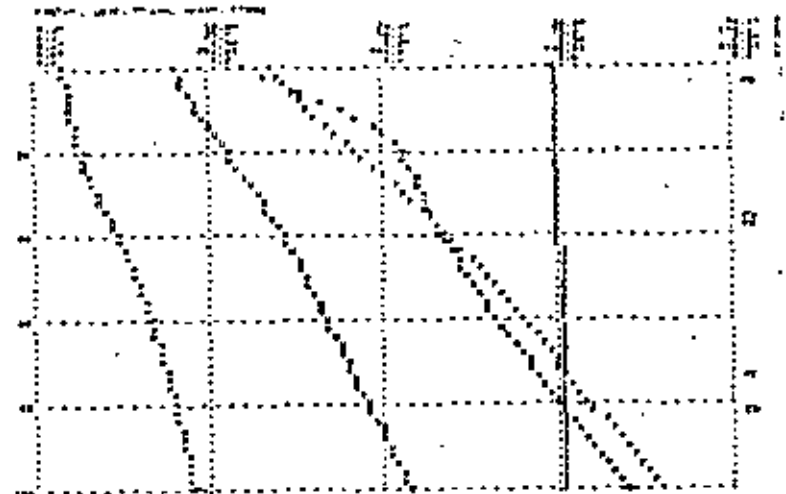


FIGURA # 2.27.- Industrialización, Servicios y Alimentación per Cápita constantes y a un valor alto.

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

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

2.4.5. PERFECTO CONTROL DE LA NATALIDAD

Los casos anteriores no se presentan en la realidad a través del país, en cambio se presenta ahora un crecimiento exponencial como el de la corrida histórica, y si queremos controlar la población y hacemos que dicho control sea perfecto (CF = 3), o sea que en realidad la tasa deseada de natalidad sea la que exige la. Observaremos que el crecimiento en México no es posible evitarlo, ya que la inercia del crecimiento mismo es tal que tan solo se amortigua en menos de 6 millones el aumento de la población para el año 2000, con respecto a la estándar (ver figura 2.24).

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

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

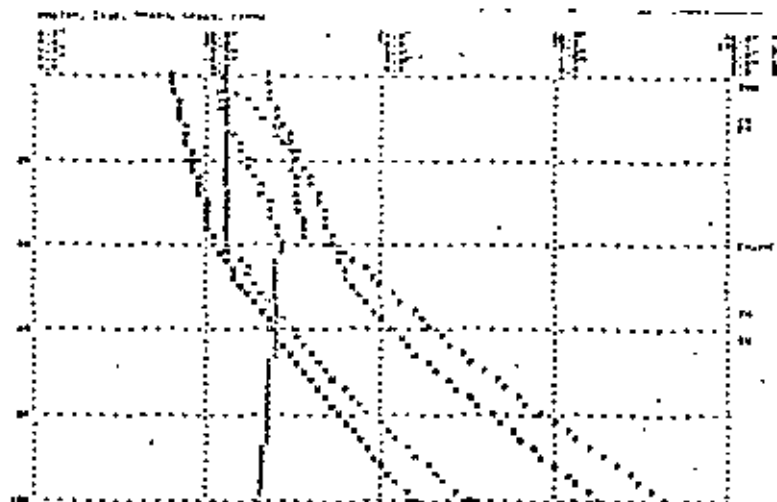


FIGURA # 2.28. - Industrialización, Servicios y Alimentos constantes con bajo valor, e impulso en los efectos de los servicios de salud en la Esperanza de Vida.

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

de interrelaciones que los reproducen en el modelo.

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

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

3.2 COMPORTAMIENTO HISTORICO

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

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

3.2.1 COMPOSICION DEL PRODUCTO NACIONAL BRUTO.

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

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

Figura 3.1 Clasificación Industrial Internacional.

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

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

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

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

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

3.3 CONCEPTOS Y DEFINICIONES

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

3.3.1 CLASIFICACION DEL CAPITAL Y DEL PRODUCTO.

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

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

producto:

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

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

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

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

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

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

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

3.3.2 EL COMERCIO EXTERIOR

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

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

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

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

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

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

3.3.3 FLUJOS BÁSICOS EN EL SISTEMA PRODUCTIVO EN MEXICO.

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

en la figura 3.2

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

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

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

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

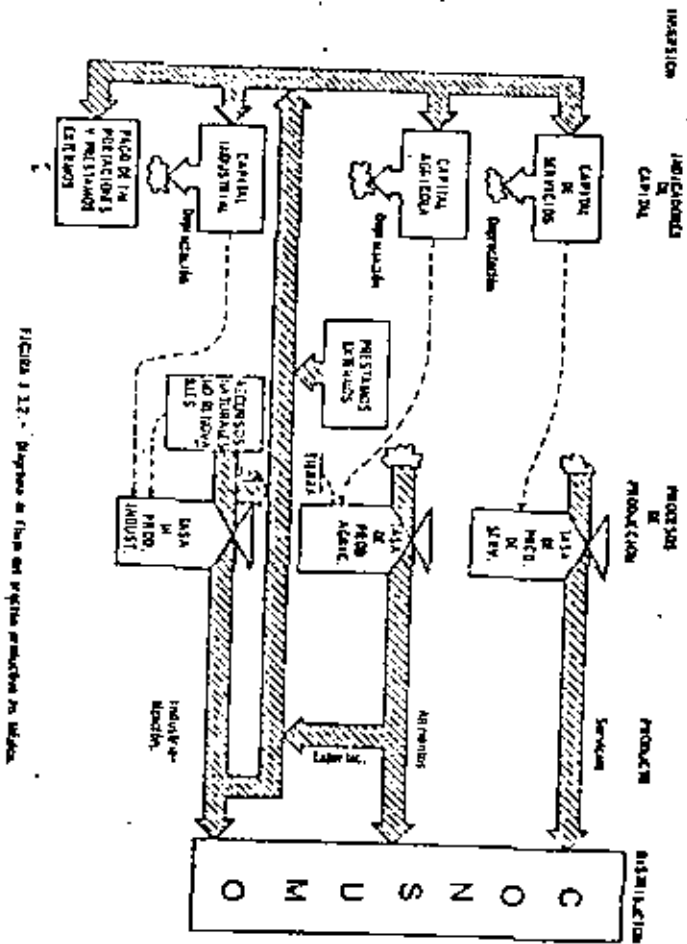


Figura 3.2 - Diagrama de flujo del proceso productivo en México.

Interno es de importación.

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

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

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

3.3.4 MEDICIÓN DEL CAPITAL Y DEL PRODUCTO.

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

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

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

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

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

3.3.5 USO DE LA INDUSTRIALIZACION EN LUGAR DEL PNB.

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

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

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

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

3.3.6 EL DESEMPLEO EN EL MODELO

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

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

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

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

3.3.7 DEPRECIACION DEL CAPITAL

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

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

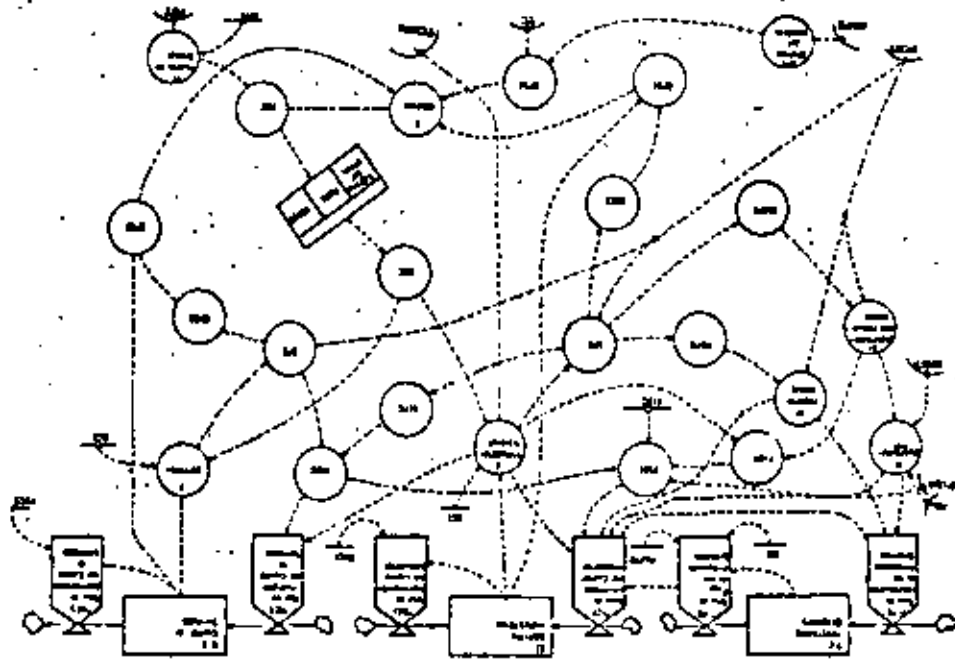


FIGURA 3.3.- DIAGRAMA DE FLUJO DEL SECTOR DE INVERSIÓN DE CAPITAL.

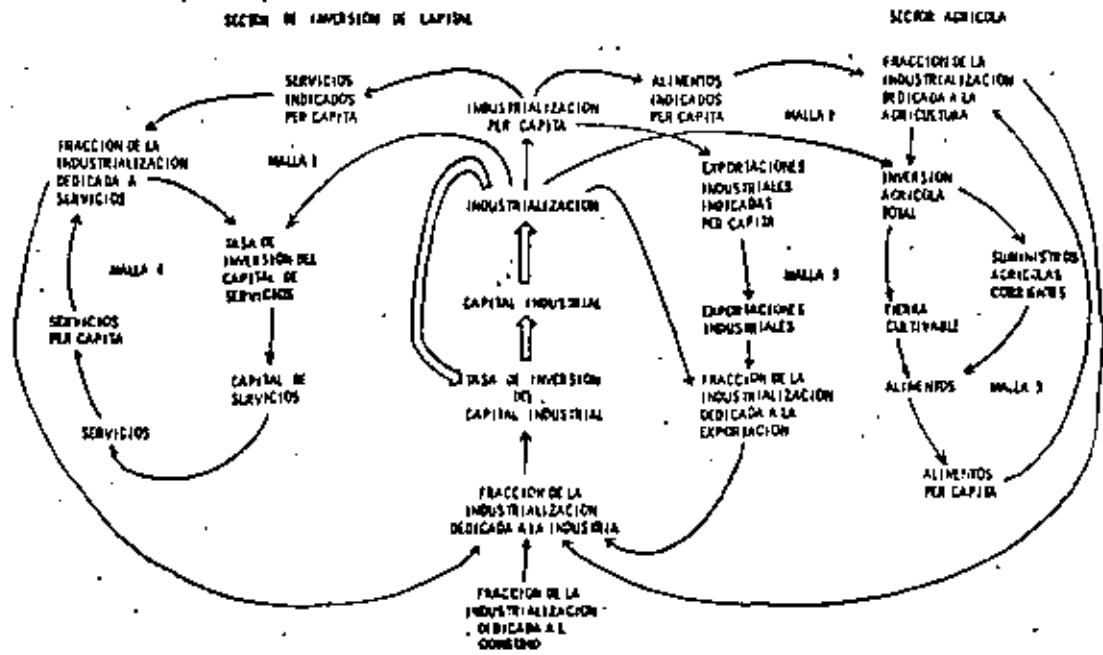


FIGURA # 3.4.- Mecanismo de Asignación que permite reproducir en el modelo cualquier patrón de desarrollo específico.

3.6 SIMULACIONES

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

3.6.1 CORRIDA HISTORICA

Para esta simulación se establecieron valores para las variables exógenas de tal manera que la población total POBT siguiera sus valores históricos, creciendo de 13.6 millones en 1900 a 62 millones en 1970, la fracción de capital dedicada a obtener recursos FCDOR se mantuvo constante a 0.05 y la fracción de la industrialización dedicada a la agricultura FIDA se conservó a 0.10. A la tie-

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

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

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

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

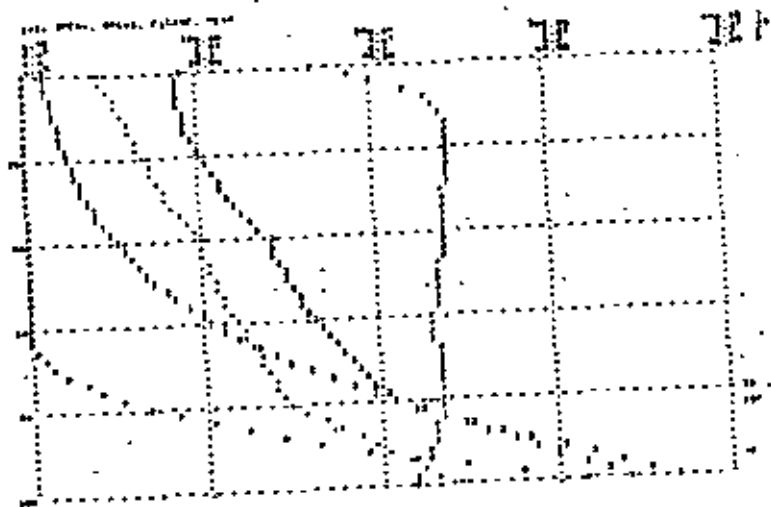


FIGURA # 3.15.- Corrida 3.1: Corrida histórica del Sector de Inversión de Capital con variables exógenas.

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

SPC (1970) = 3700 pesos por persona-año. La fracción de la industrialización dedicada a servicios varía ligeramente alrededor de 0,12, implicando que los servicios indicados per cápita SIPC son un poco mayores que SPC. Los préstamos externos PE crecen a partir de 1962, alcanzando un valor de casi 3 mil millones de pesos en 1970. El crecimiento resultante de la malla de retroalimentación positiva es claramente evidente.

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

3.5.2 PRUEBAS DE SENSITIVIDAD.

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

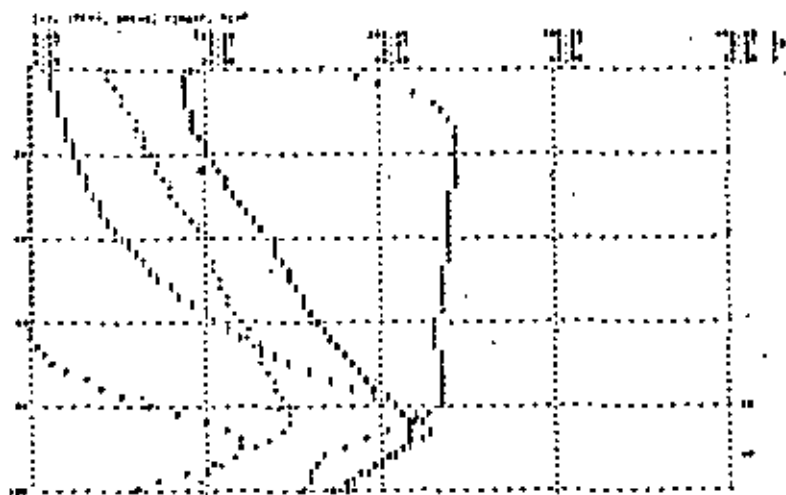


FIGURA # 3.16.- Corrida 3.2: Comportamiento del Sector de Inversión de Capital cuando el promedio de vida del Capital Industrial se incrementa de 14 a 21 años.

I (I) Industrialización
 IPC (I) Industrialización per Cápita
 SPC (S) Servicios per Cápita
 FDS (F) Fracción de la Industrialización dedicada a servicios.

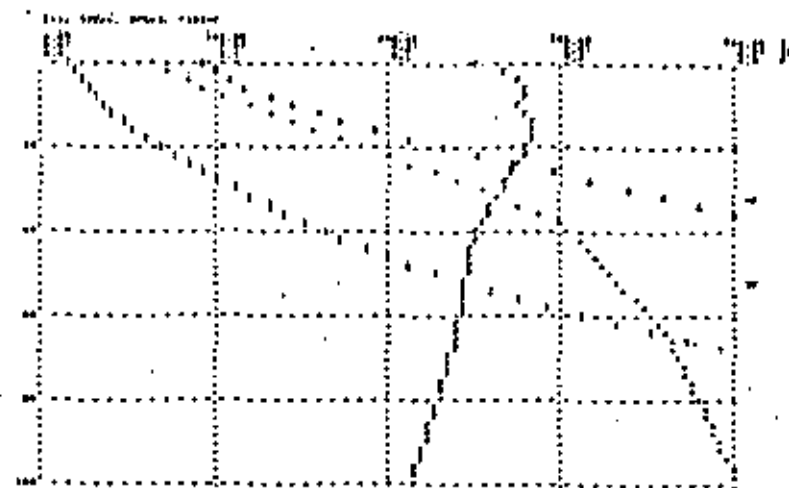


FIGURA # 3.17.- Corrida 3.3: Comportamiento del Sector de Inversión de Capital cuando la razón capital-Industrialización se disminuye de 3 a 2 años.



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

**FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE
SISTEMAS**

ALGUNOS CONCEPTOS DE SIMULACION

DR. MARCIAL PORTILLA ROBERTSON

NOVIEMBRE, 1981 .

ALGUNOS CONCEPTOS DE SIMULACION.

POR MARCIAL PORTILLA R.

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

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

1.- DEFINICIONES Y CONCEPTOS GENERALES.

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

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

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

VAMOS A DEFINIR COMO UN "MODELO" LA REPRESENTACION CUALITATIVA Y/O CUANTITATIVA DE UN SISTEMA. ESTA REPRESENTACION DEBE MOSTRAR LAS RELACIONES ENTRE LOS DIVERSOS FACTORES QUE SON DE INTERES PARA EL ANALISIS DEL SISTEMA. (2) ES MUY IMPORTANTE, CON EL OBJETO DE QUE EL MODELO SE PUEDA MANEJAR, EL SOLO INCLUIR LAS VARIABLES MAS RELEVANTES EN EL CASO DE ESTUDIO, TAL VEZ NOS PREGUNTEMOS EN ESTE PUNTO EL POR QUE HAY QUE MODELAR UN SISTEMA PARA DESPUES SIMULARLO? BIEN, SI SE QUIERE ESTUDIAR EL COMPORTAMIENTO DE UN SISTEMA BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE OPERACION TAL VES, RESULTA "COSTOSO" HACERLO EN EL SISTEMA EN LUGAR DE EN EL MODELO, EJEMPLO DE ESTO SON DECISIONES ECONOMICAS O (POLITICAS) QUE SE TOMAN EN UN PAIS SIN ENTENDER SU EFECTO DENTRO DEL SISTEMA. EXISTEN TAMBIEN RAZONES DE SEGURIDAD. POR EJEMPLO SI SE DESEA INVESTIGAR LOS EFECTOS DE CARGAS EN VIGAS PARA EDIFICIOS O PUENTES, RESULTA MUY PELIGROSO LLEVARLO A CABO EN EL EDIFICIO O PUENTE EN LUGAR DE UN ALGUN MODELO.

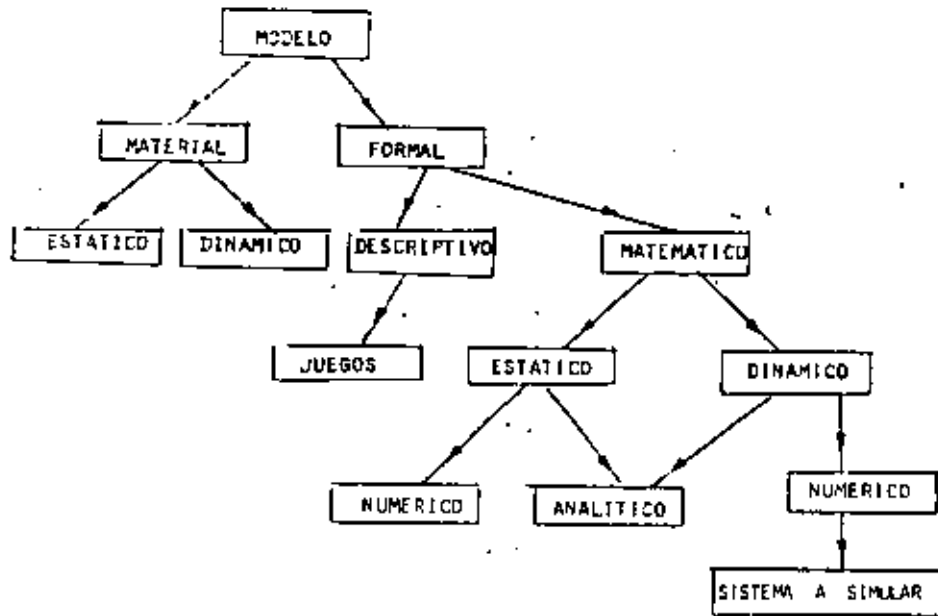
POR ULTIMO SI UTILIZAMOS MODELOS, PODEMOS PREDECIR EL COMPORTAMIENTO DEL MISMO A DIFERENTES CONDICIONES Y/O CAMBIOS QUE SE DEN EN SU MEDIO AMBIENTE. TAMBIEN SE EMPLEAN MODELOS EN EL DISEÑO DE PROTOTIPOS (I E, AVIONES, SISTEMAS ECONOMICOS) PARA ANALIZAR EL COMPORTAMIENTO DEL MISMO CON DIFERENTES CONDICIONES,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

2.- CLASIFICACION DE LOS MODELOS.

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

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

3.-



Los modelos materiales han sido muy usados por los ingenieros arquitectos y como ejemplo de estos tenemos los mapas, las maquetas y los modelos a escala. Por otra parte durante siglos los científicos y estadistas han formulado modelos, algunos matemáticos -- (leyes de Newton) y otros dados por aceveraciones lógicas (Constitucion Política) ambos modelos son del tipo formal y representan propiedades esenciales del sistema original. A continuacion en la -- figura 2.2 (que fue tomada de (2)) se hace un resumen de la clasificacion de los modelos dando un ejemplo cada uno de estos.

4.-

Los modelos estaticos son aquellos que no varian con el tiempo, a diferencia de los dinamicos, que son aquellos cuyas condiciones cambian con el tiempo. Dentro de los modelos estaticos y dinamicos se tienen modelos deterministicos probabilisticos (o estocasticos).

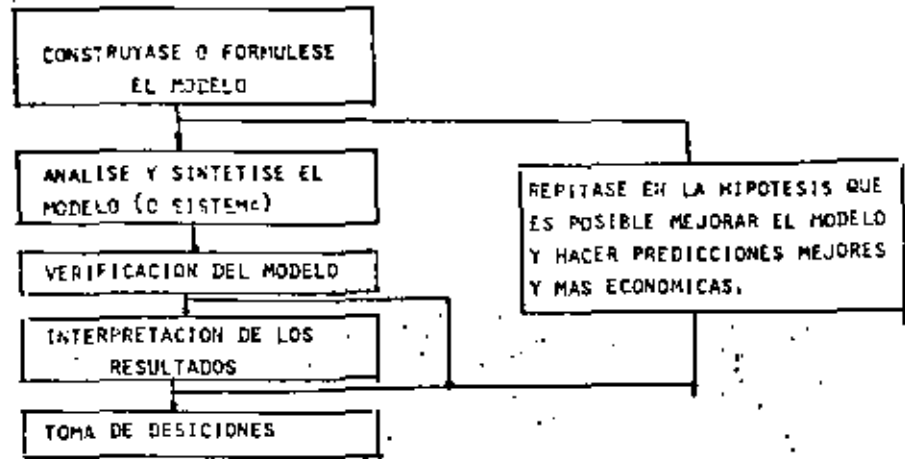
Los modelos deterministicos son aquellos cuyo resultado o salida de su actividad esta totalmente determinada en terminos de su entrada.

Los modelos estocasticos o probabilisticos, son aquellos cuya salida varia, aleatoriamente segun los efectos de las entradas que recibe.

Los modelos del tipo replica, son aquellos que conservan todas las caracteristicas de su original, los cuasi-replica, han perdido una escala, y los analogicos guardan una analogia con el modelo original, sin embargo no tienen parentesco o similitud alguna (excepto en su comportamiento).

Los modelos se pueden clasificar tambien de acuerdo a la funcion que desempeñan, esto es: los cualitativos y los cuantitativos (6), a continuacion se da un ejemplo primero de -- estos tipos.

Todo modelo que se construye debe seguir una secuela, -- a continuacion brevemente se describiran las etapas en el -- desarrollo de modelos)



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

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

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

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

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

E S T A D I S T I C A		R E P L I C A		C U A S I - H E L I C A		A N A L O G I C O		D E S C R I P T I V O		S I M U L A C I O N		F O R M A L	
D E T E R M I N I S T I C O		P R O B A B I L I S T I C O		P L A N E T A R I U M		C I R C U I T O E L E C T R I C O E N C O R R I M I E N T O A N A L O G I C O		L I B R O D E L R O J O D E M A O		T A B L A S D E D E S I C I O N E S L O G I C A S		L E Y D E O H M	
E S T A T U A		P R U E B A S D E P O S I T O S		M A P A H E T E R O G E N I C O		D A D O M O D E L A N D O R U L E T A R U S A		R E P O R T E D E L T I E M P O		P R O G R A M A P A R A J U G A R A J E D R E Z			
M O D E L O D E U N A P R E S A		M O D E L O D E G E N E T I C A		E X P E R I M E N T O D E G E N E T I C A				S I S T E M A L E G A L		A L G O R I T M O D E R U T A C R I T I C A		M O D E L O D E E C U A C I O N E S D I F E R E N C I A L E S E S T O C A S T I C A S	

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

3.- SIMULACION.

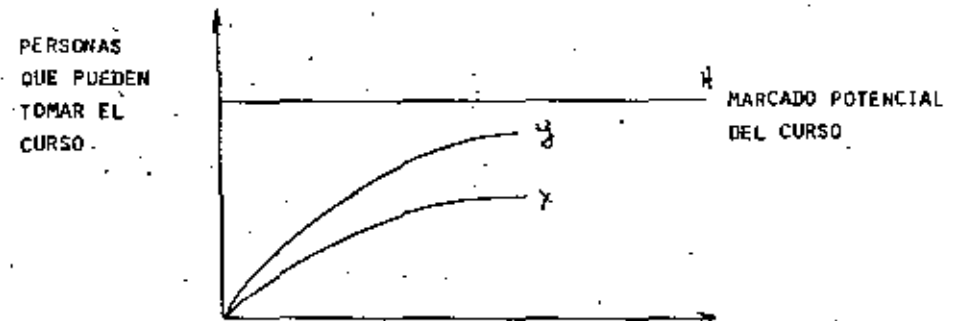
EN ESTA PARTE VAMOS A VER LA METODOLOGIA DE LA SIMULACION A TRAVES DE ALGUNOS EJEMPLOS, ASI COMO LA PARTE OPERATIVA MATEMATICA PARA LLEVAR A CABO LA SIMULACION DE UN MODELO COMO YA SE DESCRIBIO AL INICIO DE ESTE TEMÁ.

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

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

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

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



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

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

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

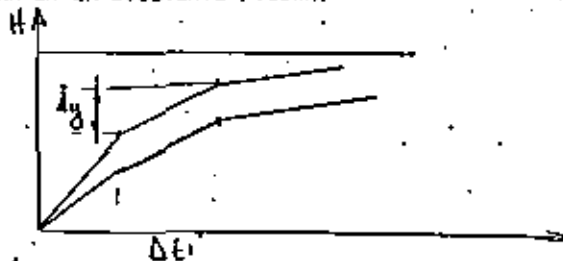
LAS "AUTORIDADES" (?) NOTAN QUE SE PUEDEN DAR UN SEGUNDO CURSO DIGAMOS 'SIMULACION DE SISTEMAS' LOS CLIENTES POTENCIALES DE ESTE CURSO SERAN LOS EJECUTIVOS Y GERENTES QUE YA TOMARON EL PRESENTE.

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

$$\dot{x} = k_2 (y - x) \quad \begin{matrix} x=0 \\ t=0 \end{matrix}$$

LAS DOS ECUACIONES CONSTITUYEN UN MODELO.

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



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

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

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

DE LAS ECUACIONES DEL MODELO PODEMOS ESCRIBIR

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

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

EJEMPLO 2

MODELO DE COBWEB.

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

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

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

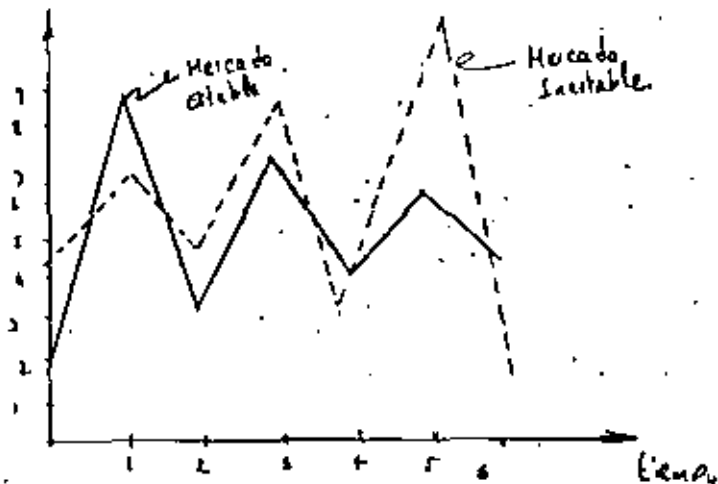
DADO UN PRECIO INICIAL P_0 , EL VALOR DE S AL FINAL DEL PRIMER INTERVALO SE PUEDE OBTENER, LO CUAL DEFINITERA EL VALOR DE Q, DADO QUE EL MERCADO ESTA LIBRE, DE ESTE NUEVO VALOR SE PUEDE OBTENER P_1 . EL VALOR PASADO SE TORNA EN VALOR USADO EN EL CALCULO DEL SEGUNDO INTERVALO, LA SIGUIENTE FIGURA NOS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

10.-

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

(a)
 $P_0 = 1.0$
 $a = 12.4$
 $b = 12$
 $c = 1.0$
 $d = 0.4$

(b)
 $P_0 = 5.0$
 $a = 10.0$
 $b = 0.9$
 $c = -2.4$
 $d = 1.2$

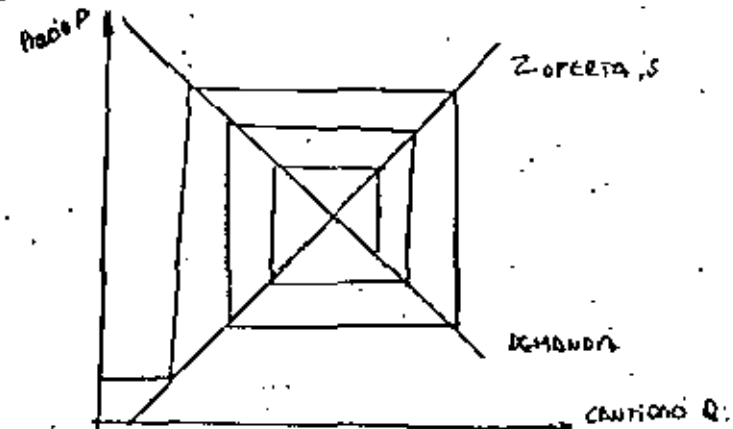


COMO SE PUEDE VER EN LA FIGURA ANTERIOR EL CASO A REPRESENTA UN MERCADO ESTABLE EN EL CUAL EL PRECIO SE ESTABILIZA DESPUES

11.-

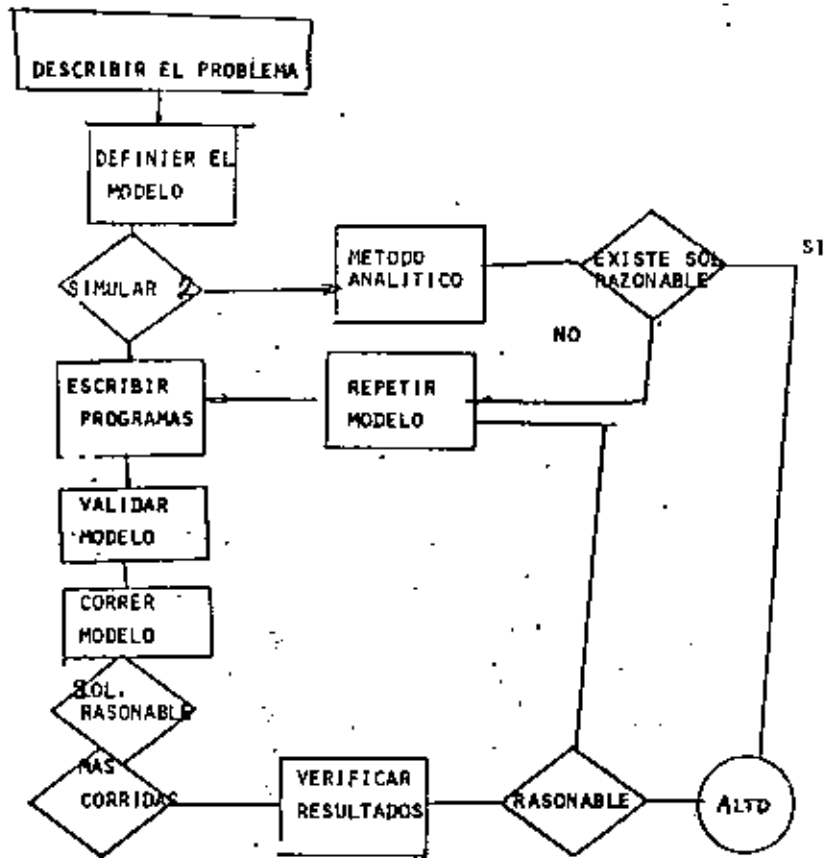
DE 5.43 UNIDADES, EL CASO (B) ES INESTABLE COMO UNA FLUCTUACION. ESTE TIPO DE MODELOS POR SU MANERA ESPECIAL DE RESOLVERSE GRAFICAMENTE (MASA ENTRETEJIDA O TELARA A) SE LLAMAN DE COBRE Y EL METODO SE ILUSTRAN EN LA SIGUIENTE FIGURA PARA EL CASO ESTABLE. LAS LINEAS PERPENDICULARES RELACIONAN LA DEMANDA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

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



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

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





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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

MODELO CORPORATIVO DE SIMULACION DINAMICA
DE TELEFONOS DE MEXICO, S.A.

DR. ENRIQUE ZEPEDA BUSTOS

18 NOVIEMBRE, 1981

2

I N D I C E

	PAG.
1.- METODOLOGIA	1
2.- EL SISTEMA Y SU ENTORNO	3
3.- EL MODELO Y SU ESTRUCTURA	5
4.- DESCRIPCION DEL MODULO DEL SISTEMA DE LARGA DISTANCIA	6
5.- USO DEL MODULO DEL SISTEMA L.D. COMO MODELO INDEPENDIENTE	18
6.- ENSAMBLE Y VALIDACION DEL MODELO CORPORATIVO	29
7.- GENERACION DE ESCENARIOS FUTUROS	32
8.- CONCLUSIONES	58
9.- BIBLIOGRAFIA	60

INTRODUCCION.

La creciente complejidad de la estructura organizacional de Teléfonos de México, S. A. y de sus procesos de toma de decisiones así como la naturaleza cambiante de su entorno tanto tecnológico como socioeconómico hacen de la planeación estratégica una función vital para la empresa. El acelerado desarrollo económico del país requiere no solo de una red telefónica extensa sino también de la variedad cada vez mayor de servicios telefónicos que pueden ser proporcionados debido al rápido avance tecnológico de las telecomunicaciones. La expansión de la red telefónica y su modernización implican la toma de la decisión correcta con respecto a los cambios tecnológicos e introducir y la adopción de políticas de crecimiento estable que garanticen la continuidad de un servicio telefónico confiable y adecuado a las necesidades del país. Los cursos de acción para lograr estas metas son múltiples y sus consecuencias (u cursos difíciles de prever y evaluar.

Para seleccionar la mejor alternativa o las políticas estratégicas más adecuadas se requiere de un modelo que permita, bajo diferentes escenarios futuros del entorno, simular sus efectos sobre el desempeño de la empresa en áreas tales como: financiamiento de los planes de expansión, capacitación y desarrollo de personal especializado, introducción de nuevos servicios, etc. La magnitud y complejidad del sistema telefónico mexicano hacen del análisis y evaluación de políticas estratégicas un proceso difícil de realizar con modelos que no involucren un enfoque global del sistema.

1.- METODOLOGIA

1.- METODOLOGIA.

06

Con el propósito de resolver la problemática planteada anteriormente se utilizó la metodología de Dinámica de Sistemas para el desarrollo de un modelo de simulación dinámica que represente la estructura de los procesos de toma de decisiones involucrados en las diferentes áreas funcionales de Teléfonos de México. El modelo se desarrolló en forma modular - construyendo modelos dinámicos para cada una de las áreas funcionales las cuales fueron probadas y validadas independientemente para ser ensambladas posteriormente en un modelo global con lo cual la validación del modelo corporativo completo se facilitó significativamente.

Una vez validado el modelo se utilizará para:

- i) Simular y analizar el desempeño general de TELMEX bajo diferentes escenarios futuros del entorno.
- ii) Simular y analizar los efectos de las políticas de crecimiento actuales.
- iii) Diseñar y probar políticas alternativas.
- iv) Evaluar y seleccionar opciones estratégicas.

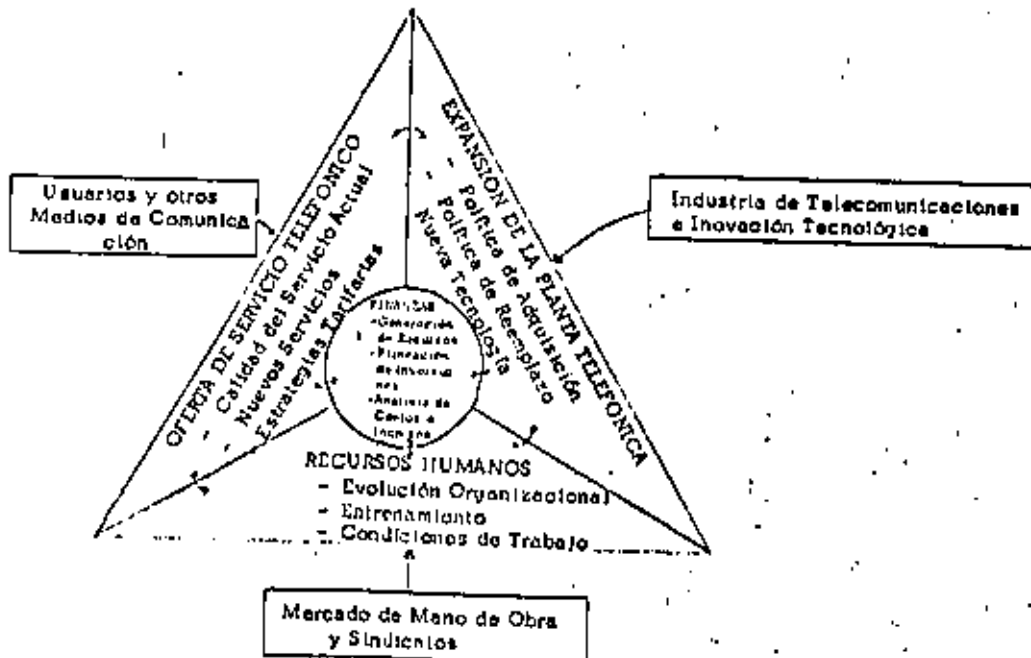
2.- EL SISTEMA Y SU ENTORNO

02

2.- EL SISTEMA Y SU ENTORNO.

03

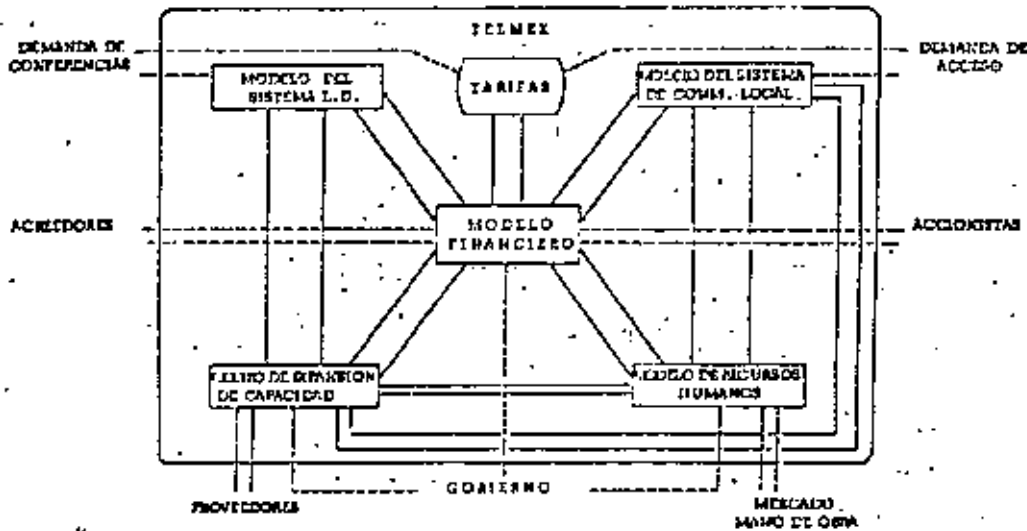
El sistema que se busca modelar para evaluar el impacto de las opciones estratégicas, es la corporación en su totalidad y se conceptualizó como sigue:



3.- EL MODELO Y SU ESTRUCTURA.

10

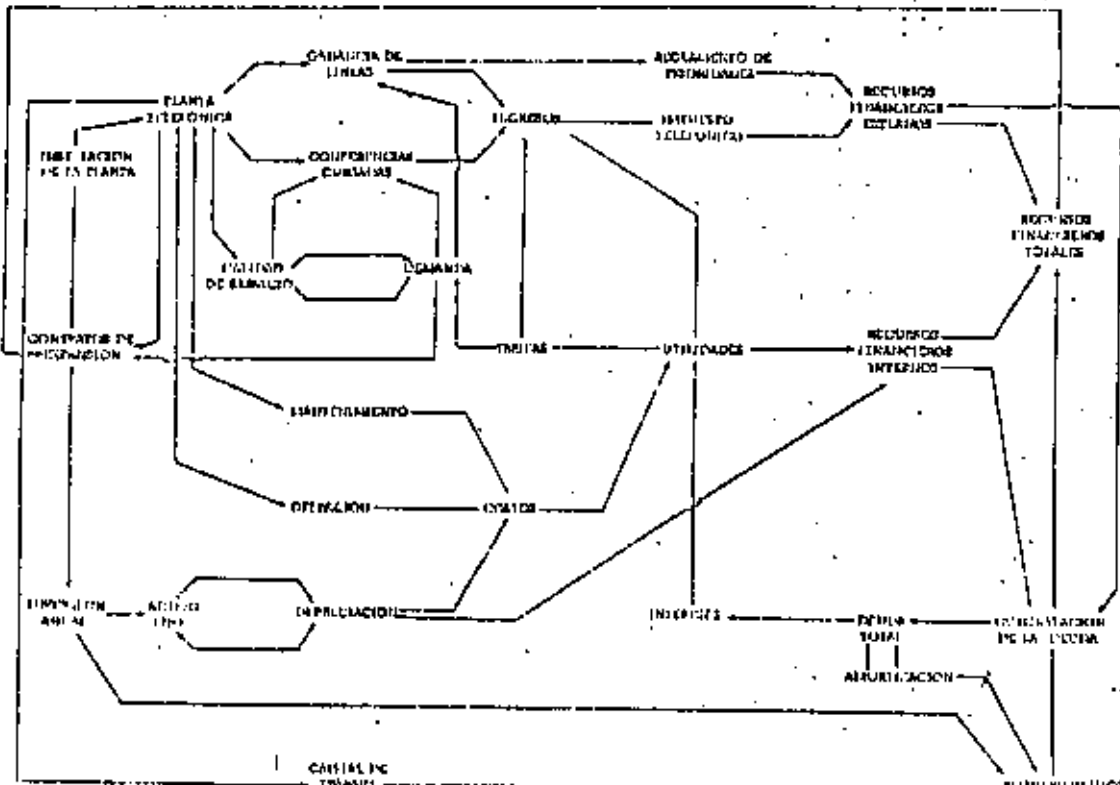
A partir de la conceptualización del sistema se desarrolló el modelo dinámico de planeación estratégica de TELMEX en forma modular. Los cinco módulos principales del sistema simulan los procesos de toma de decisiones que se desarrollan en las áreas funcionales representadas por los módulos:



El enfoque modular permite la evaluación y análisis de los efectos de políticas y decisiones estratégicas en cada una de las áreas funcionales de TELMEX.

6

La estructura general del modelo que se desarrolló está constituida por las interacciones causa-efecto entre las principales variables del sistema.



7

4.- DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO DEL
SISTEMA DE LARGA DISTANCIA.

4.- DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO DEL SISTEMA DE LARGA DISTANCIA.

4.1.- OBJETIVOS.

Los objetivos principales del Modelo Dinámico del Sistema L.D. son:

- Simular la dinámica producida por el tráfico de conferencias de L.D. a través del sistema telefónico en un horizonte a largo plazo, tomando en consideración:
 - El comportamiento de los usuarios.
 - Las leyes que norman la interacción entre usuarios y sistema.
 - La política de adquisición de capacidad de equipo L.D.
- Analizar el comportamiento del sistema ante diferentes escenarios de demanda de tráfico.
- Proponer métodos alternativos de pronóstico de tráfico a Largo Plazo que sean capaces de filtrar las variaciones cíclicas y aleatorias que se presentan.
- Proponer políticas de adquisición de capacidad lo suficientemente robustas - para responder en forma adecuada a la tendencia de crecimiento de la Demanda.
- Evaluar y seleccionar políticas de adquisición de planta L.D. como insumos - al Modelo LARDI.

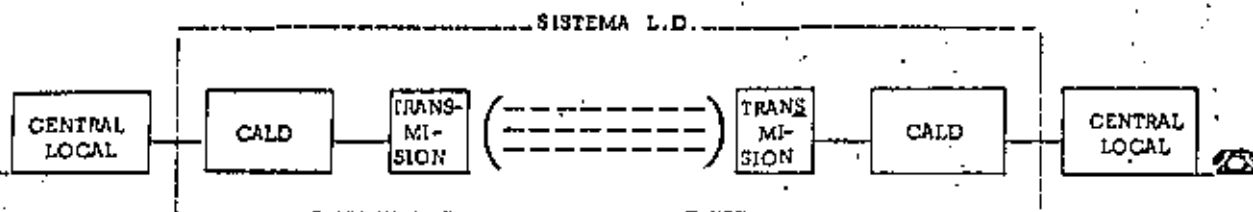
4.2.- METODOLOGÍA.

Debido a la naturaleza dinámica del comportamiento de los tres principales sectores del sistema: 1) Usuarios, 2) Planta L.D. y 3) Política de Adquisición de Telmex y de sus interacciones se utilizó Dinámica de Sistemas para construir un modelo de simulación de las características principales del comportamiento del Sistema L.D. Esto permite:

- Determinar y analizar los efectos a corto, mediano y largo plazo tanto de cambios en el entorno como de decisiones que se tomen respecto a políticas de adquisición de planta, manejo de red y calidad de servicio.
- Seleccionar la política o políticas que produzcan los mejores resultados bajo el mayor número posible de escenarios futuros del entorno.

4.3.- CONCEPTUALIZACION DEL SISTEMA L.D.

La estructura básica del sistema L.D. propuesta para la construcción del modelo dinámico se conceptualizó como sigue:

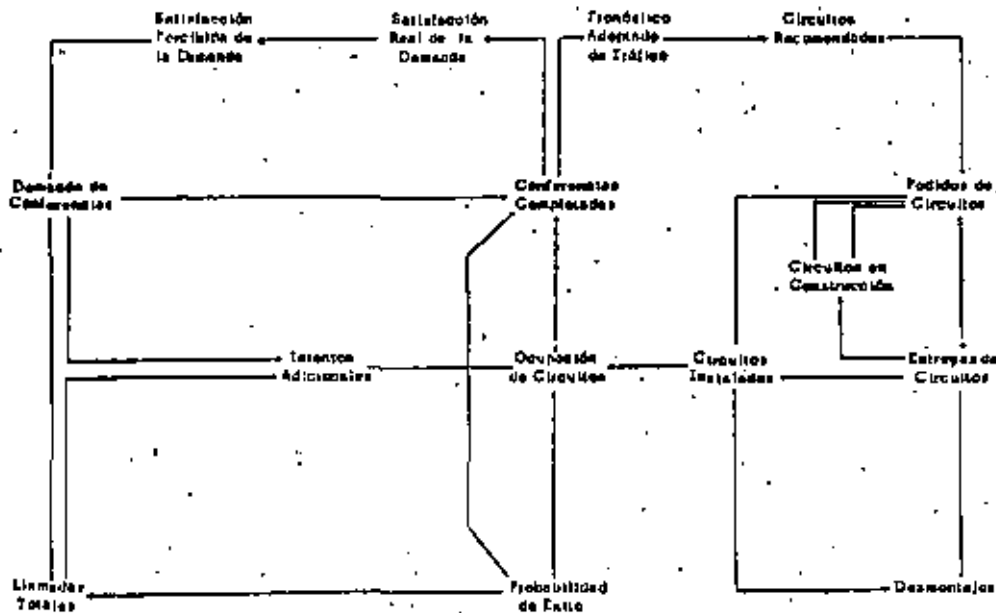


Esta conceptualización permite observar el comportamiento de una llamada telefónica en cuanto a su probabilidad de éxito a lo largo de los pasos señalados en el diagrama.

4.4. - ESTRUCTURA Y FUNCIONES DEL MODELO.

Con el fin de analizar el comportamiento del Sistema L.D. bajo la conceptualización propuesta, el modelo dinámico cuya estructura simplificada se presenta a continuación, tiene como funciones principales simular:

- Los efectos de la demanda de conferencias sobre la planta L.D.
- Reacción a corto plazo del usuario al congestionamiento de la red.
- Reacción a largo plazo del usuario al nivel percibido de satisfacción de la demanda.
- Respuesta del sistema a través de su política de adquisición.

4.5.- SUPUESTOS.

La conceptualización del Sistema L.D. está basada en los siguientes supuestos:

Comportamiento de la Demanda de Conferencias: En este caso se supone que:

- La demanda de conferencias es igual o mayor a las conferencias completadas.
- La demanda de conferencias puede crecer tanto uniformemente como presentar variaciones cíclicas o aleatorias.

Comportamiento del Usuario. Los supuestos básicos en esta área son:

- Los usuarios tienen necesidades de comunicación a larga distancia que pueden ser cubiertas por medio de la utilización del servicio telefónico.
- Aquellos que buscan resolver parte de sus necesidades de comunicación a través del sistema telefónico, lo manifiestan por medio de llamadas al sistema.
- Los usuarios reaccionan al nivel de calidad de servicio al sistema telefónico. La reacción del usuario al funcionamiento correcto del sistema se manifiesta en intentar satisfacer más necesidades de comunicación a través del sistema telefónico.
- La reacción del usuario a la pérdida de llamadas depende de su percepción de las causas: 1) Causas Externas.- Cuando el usuario percibe que el número marcado está ocupado o no contesta; 2) Causas Internas.- Cuando el usuario percibe que el sistema falla.
- La percepción del usuario de que la pérdida de llamadas es causada por el sistema se incrementa a medida de que la calidad de servicio que percibe decrece.
- La reacción del usuario a la pérdida de llamadas pasa por las siguientes etapas:

- Intentar la llamada inmediatamente
- Diferir la llamada a otro período del día
- Diferir la llamada a otro día
- Cancelar la llamada
- Intentar otra forma de comunicación ajena al sistema telefónico

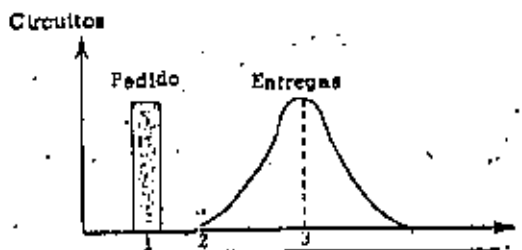
Comportamiento del Sistema. - Con respecto al sistema se consideró que :

- Para simular el comportamiento del tráfico a través del sistema local se asignó una -- probabilidad de éxito constante a los pasos de conmutación local.
- La eficiencia del grupo de los circuitos de transmisión es afectada por la intensidad de tráfico y por su agrupación. Por lo tanto la probabilidad de que una llamada tenga acceso a un circuito se determinará en función del grado de ocupación de los circuitos en un momento dado generado por conferencias en curso e intentos adicionales y al número promedio de circuitos en cada vía.
- El grado de ocupación es determinado por la relación entre el tiempo que un circuito está siendo utilizado en intentos y conferencias durante un período dado y el tiempo total del período.
- La probabilidad de que un circuito individual no esté accesible para una llamada en un momento dado está por su grado de ocupación.
- La agrupación de circuitos por vía aumenta la probabilidad de que una llamada tenga acceso a un circuito en dicha vía. Por lo tanto reduce su probabilidad de pérdida. Para el cálculo de las probabilidades por grupo de circuitos se utilizó la fórmula de Erlang.
- La probabilidad global de éxito de una llamada está compuesta por las probabilidades de éxito parciales que la llamada tenga en los siguientes pasos :
 - Conmutación en la central local del abonado A.
 - Enlace disponible para acceder su central L.D.
 - Conmutación en su central L.D.
 - Circuitos disponibles para acceder la central L.D. del abonado B.
 - Enlaces disponibles entre la central L.D. y la central local del abonado B.
 - Conmutación en la central local del abonado B.
 - Abonado B. contesta la llamada.
- Las probabilidades de éxito parciales se consideran independientes entre sí. Esto implica que las probabilidades de éxito global son el producto de las probabilidades de éxito parciales.
- Una probabilidad de éxito baja genera intentos adicionales que aumentan el congestionamiento del sistema disminuyendo aún más las probabilidades de éxito.
- No todos los intentos adicionales causan ocupación en los circuitos, sino solo aquellos cuyas probabilidades indican que el circuito está libre al llegar una llamada a este paso.

15

Política de Adquisición. - En este caso se supone que aunque los circuitos son pedidos una vez por año las entregas estarán distribuidas a lo largo del tiempo de la siguiente forma: ¹⁰⁾

20



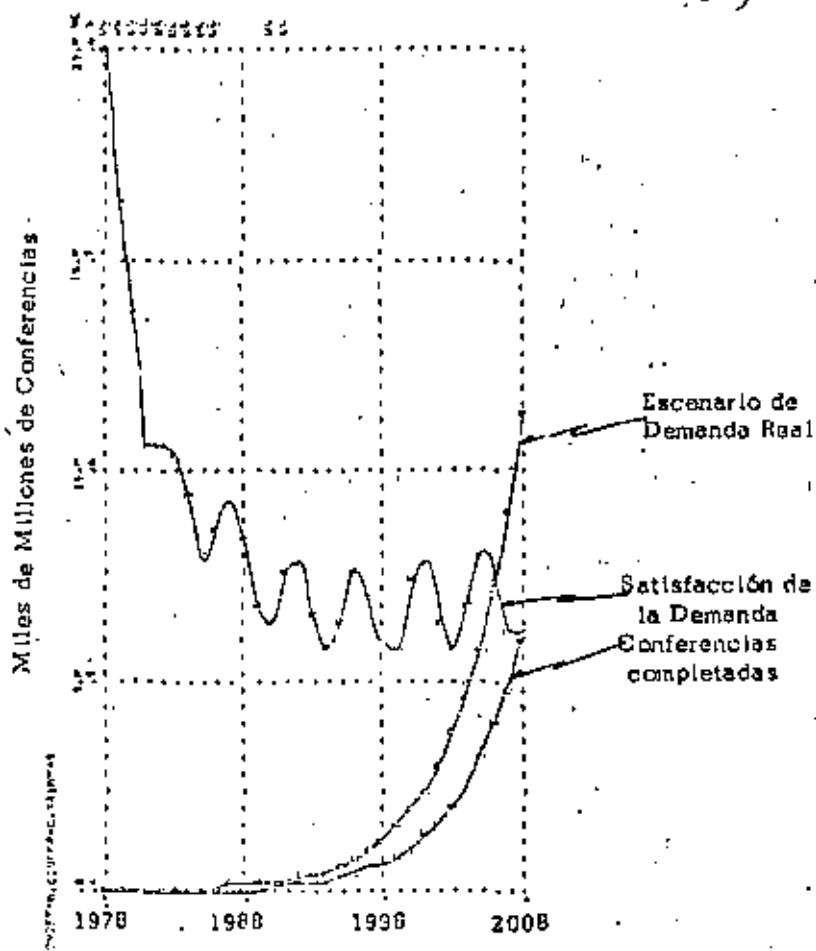
5.- USO DEL MODULO DEL SISTEMA L.D.
COMO MODELO INDEPENDIENTE.

21

5.- USO DEL MODULO DEL SISTEMA L.D. COMO MODELO INDEPENDIENTE.

El módulo del Sistema L.D. se utilizó para analizar los efectos de la política actual de adquisición de circuitos de Larga Distancia y para diseñar y probar políticas alternativas que permitan adecuar la evolución de la capacidad del sistema a la demanda real de conferencias. Para estos efectos se simuló el comportamiento del sistema durante un período de 30 años a partir de 1978 bajo un escenario de crecimiento exponencial de la demanda de conferencias y suponiendo un 80% de satisfacción de la demanda para ese año.

Como puede observarse en la gráfica que se presenta a continuación, la satisfacción de la demanda cae drásticamente de 80% en 1978, a 56% en 1985 para empezar a oscilar alrededor de 53% aproximadamente.



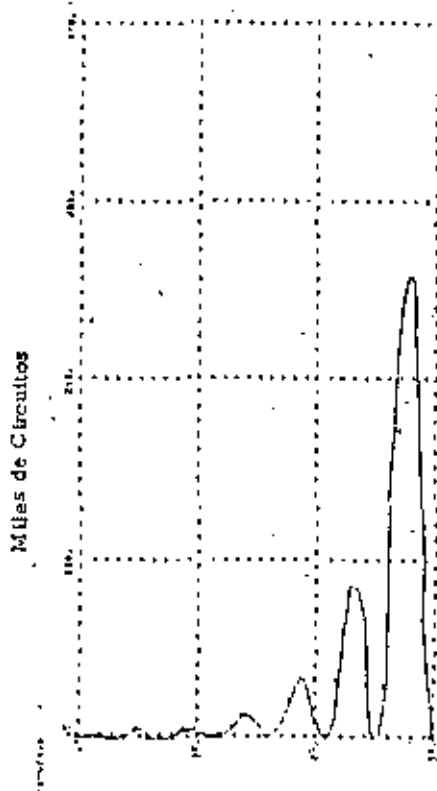
Este comportamiento es causado por dos características importantes de la política de adquisición de circuitos:

29

- (1) - Pronóstico de tráfico basado en conferencias cursadas, esto causa la caída de la satisfacción de la demanda ya que bajo condiciones de restricción de oferta el pronóstico de tráfico subestima la demanda real conduciendo a una instalación insuficiente de circuitos generando congestión en el sistema lo cual reduce el tráfico cursado y consecuentemente el pronóstico aún más - congestión.
- (2) - Estructura básica de la política de adquisición basada en la fórmula general de ajuste proporcional de las discrepancias entre la capacidad instalada y el pronóstico de tráfico.

$$\boxed{\text{PEDIDOS DE CIRCUITOS}} = \boxed{\text{CIRCUITOS RECOMENDADOS}} - \boxed{\text{CIRCUITOS INSTALADOS}} - \boxed{\text{CIRCUITOS EN CONSTRUCCION}}$$

Esto causa oscilaciones no solamente en la satisfacción de la demanda sino también en los pedidos anuales de circuitos como puede observarse en la siguiente gráfica:



PEDIDOS ANUALES DE CIRCUITOS

POLITICAS ALTERNATIVAS DE ADQUISICION DE CIRCUITOS.

Dado que el deterioro de la calidad de servicio en el sistema es causado principalmente por los efectos que sobre la capacidad de la planta tiene la política de adquisición se introdujeron cambios en su estructura con el propósito de incrementar la satisfacción de la demanda:

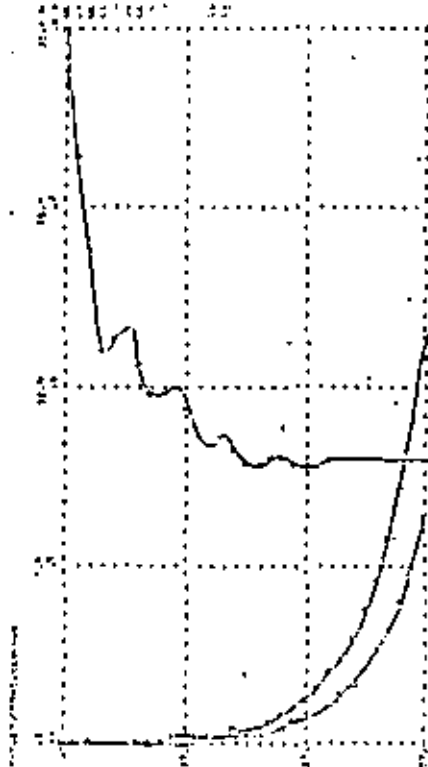
- Adecuación de los pedidos de circuitos a la tendencia general de la demanda. Esto se logró mediante el aumento de los pedidos a una cantidad de circuitos equivalente al crecimiento anual promedio del tráfico:

$$[\text{PEDIDOS DE CIRCUITOS}] = [\text{CIRCUITOS RECOMENDADOS}] - [\text{CIRCUITOS INSTALADOS}] - [\text{CIRCUITOS EN CONSTRUCCION}] + [\text{CIRCUITOS EQUIVALENTES AL CRECIMIENTO ANUAL PROMEDIO DEL TRAFICO}]$$

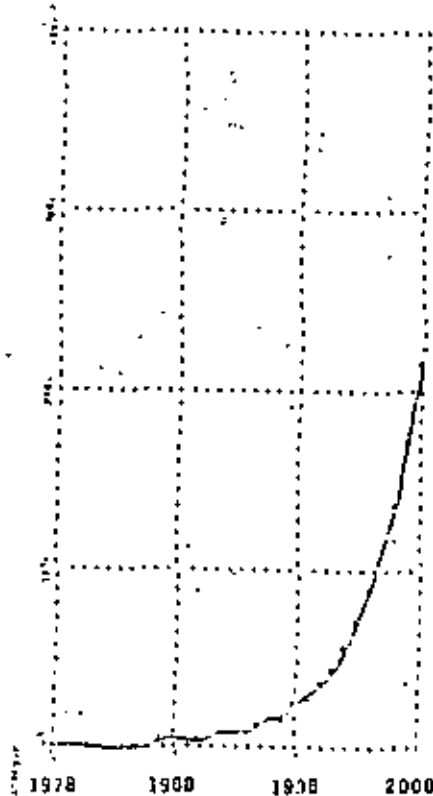
Esto produce un patrón estable de pedidos y elimina las oscilaciones de la satisfacción de la demanda y por consiguiente del sistema como puede observarse en las gráficas que se presentan a continuación. Sin embargo, la caída de la satisfacción de la demanda sigue presentandose debido a que la política no incluye ningún factor, la compensación que tome en cuenta la subestimación de la demanda real por el pronóstico de tráfico — cursado.

23

Miles de Millones de Conferencias



Miles de Circuitos



Pedidos Anuales de Circuitos

Demanda de Conferencias (D)
 Conferencias Completadas (C)
 Satisfacción de la Demanda (S)

24

Introducción de un factor de seguridad variable dependiente del nivel de calidad de servicio. Esto tiene por objeto adecuar los pedidos de circuitos a la demanda de acuerdo a una variable susceptible de ser medida ya que la estimación de la demanda real siempre involucra errores significativos. El factor de seguridad propuesto es una función del nivel de cancelación:

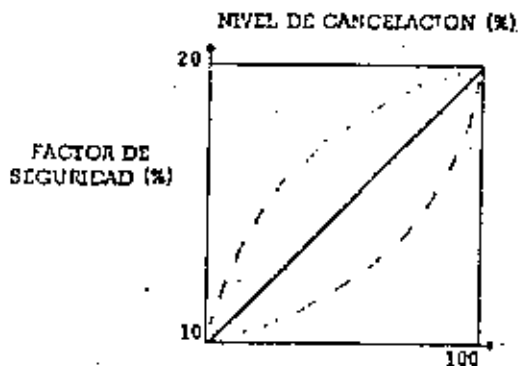
$$\boxed{\text{FACTOR DE SEGURIDAD}} = f \left(\boxed{\text{NIVEL DE CANCELACION}} \right)$$

donde:

$$\boxed{\text{NIVEL DE CANCELACION}} = \frac{\boxed{\text{LLAMADAS TOTALES}} - \boxed{\text{CONFERENCIAS COMPLETADAS}}}{\boxed{\text{LLAMADAS TOTALES}}}$$

28

La forma de la función usada para el factor de seguridad en esta prueba fué:



Sin embargo, es factible probar con el modelo otras formas de respuesta a la cancelación tales como los representados por las líneas punteadas.

La estructura propuesta para la política de adquisición es por lo tanto:

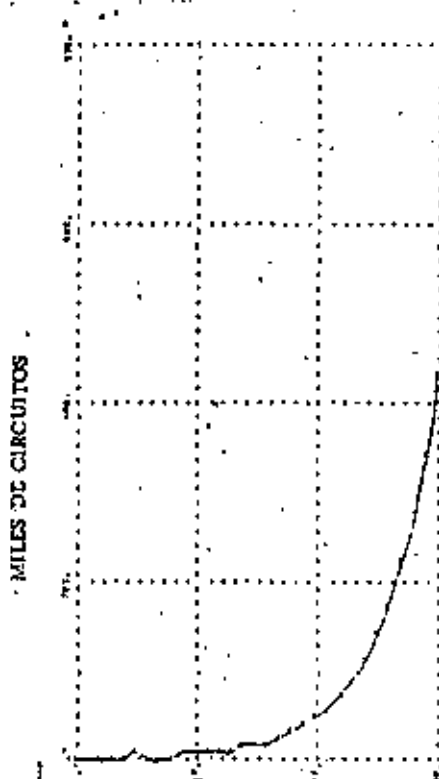
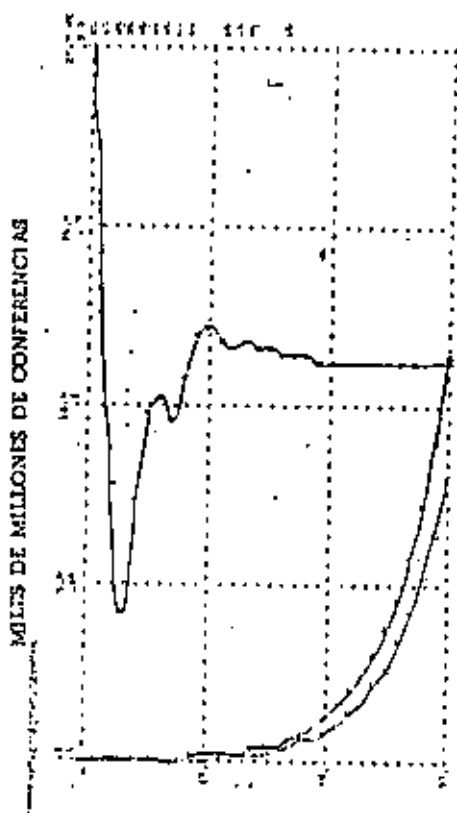
$$\boxed{\text{MEDIDO DE CIRCUITOS}} = \boxed{\text{FACTOR DE SEGURIDAD}} \times \boxed{\text{CIRCUITOS RECOMENDADOS}} - \boxed{\text{CIRCUITOS INSTALADOS}} - \boxed{\text{CIRCUITOS EN CONSTRUCCION}} + \boxed{\text{CIRCUITOS EQUIVALENTES AL CRECIMIENTO O ANUAL PROMEDIO DEL TRAFICO}}$$

29

Como puede observarse en las gráficas que se presentan a continuación, el uso de esta política mantiene estable el patrón de pedidos anuales de circuitos y mejora considerablemente la satisfacción de la demanda a largo plazo. La caída en el nivel de satisfacción en los tres primeros años (1978-81) de período se debe a los programas de expansión ya comprometidos y por lo tanto no son susceptibles de modificarse.

30

POLITICA PROPUESTA



Demanda de Conferencias (D)
 Conferencias Completadas (C)
 Satisfacción de la Demanda (S)

Pedidos Anuales de Circuitos

31

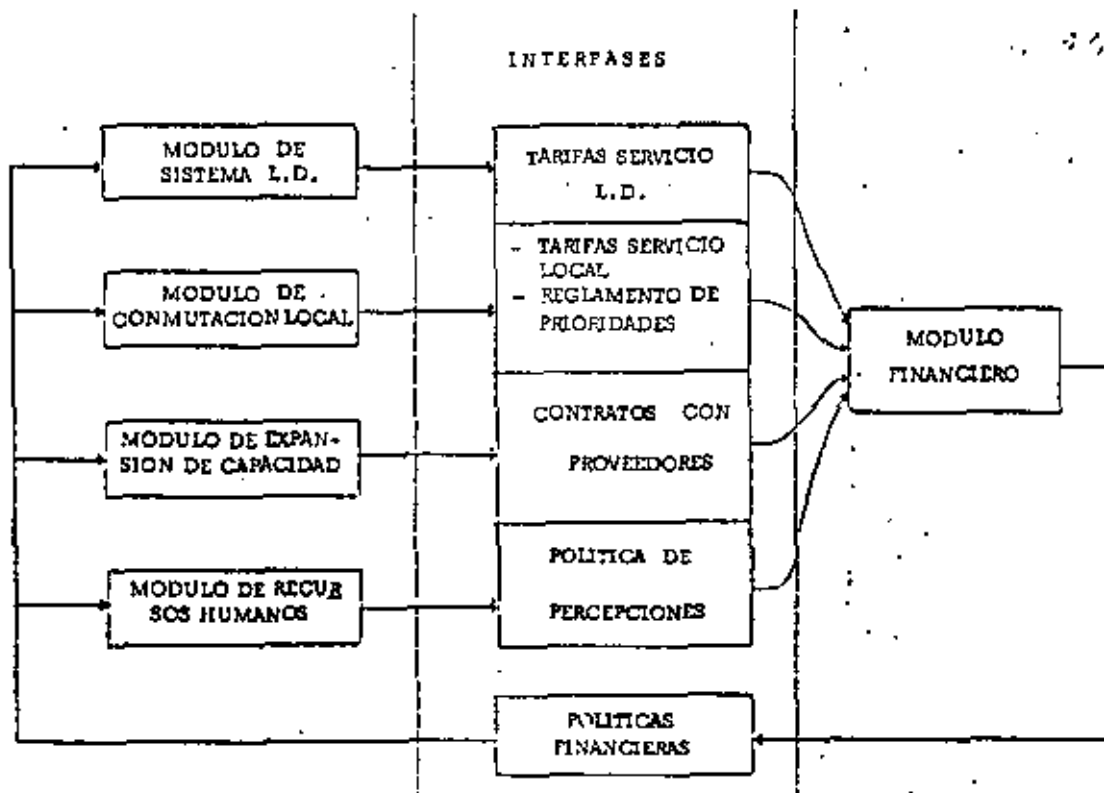
6.- ENSAMBLE Y VALIDACION DEL
 MODELO CORPORATIVO.

6.- ENSAMBLE Y VALIDACION DEL MODELO CORPORATIVO.

6.1.- ENSAMBLE.

Una vez que los módulos de cada una de las áreas funcionales fueron probados y validados independientemente se procedió a ensamblar el modelo corporativo mediante el uso de interfaces que traducen las unidades físicas generadas por los módulos de: Sistema L.D., Conmutación Local, Expansión de Capacidad y Recursos Humanos a unidades monetarias usadas en el módulo financiero asimismo se desarrolló una interfase que simula la retroalimentación financiera a los procesos de toma de decisiones representadas en los otros módulos.

En el diagrama a continuación se muestra esquemáticamente esta estructura:



6.2.- VALIDACION.

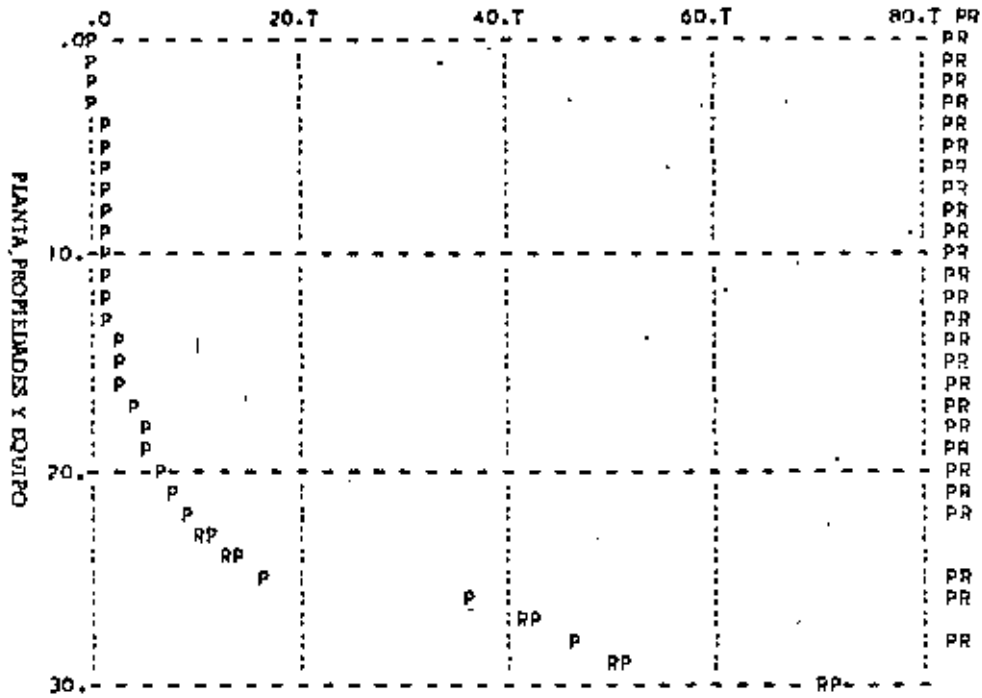
La validación del modelo completo se realizó comparando el comportamiento simulado de las principales variables del sistema con los datos históricos correspondientes al período 1950-80.

Debido a que este proceso ya se había llevado a cabo para los modelos independientes la calibración paramétrica del modelo corporativo se simplificó enormemente.

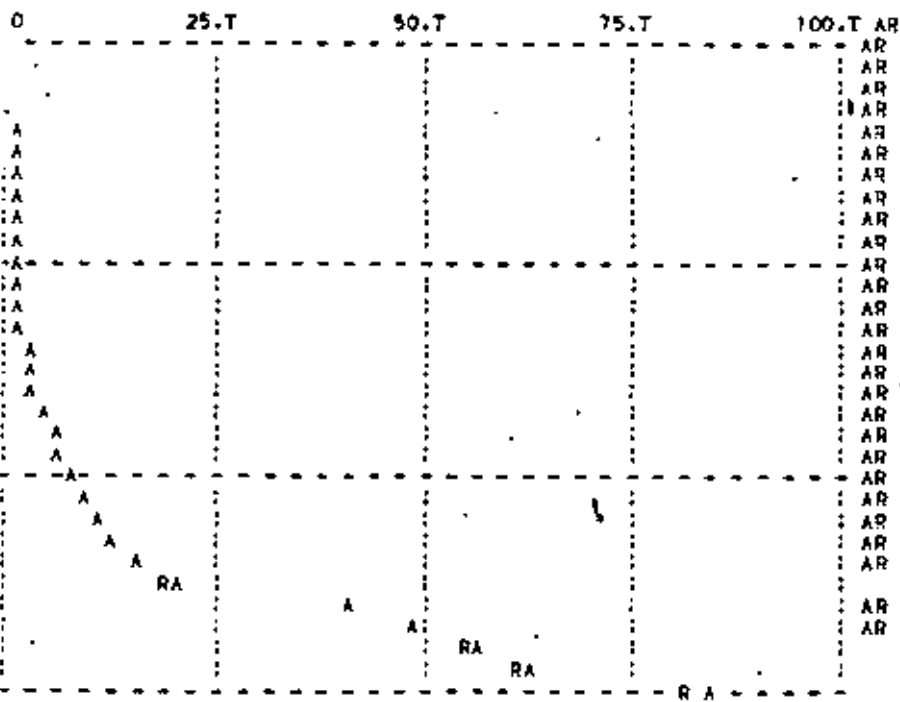
Como puede observarse de las gráficas comparativas que se presentan a continuación, los resultados demuestran que el modelo constituye una base sólida de experimentación para probar, analizar y evaluar políticas estratégicas.

PPE=P, PPER=R

56

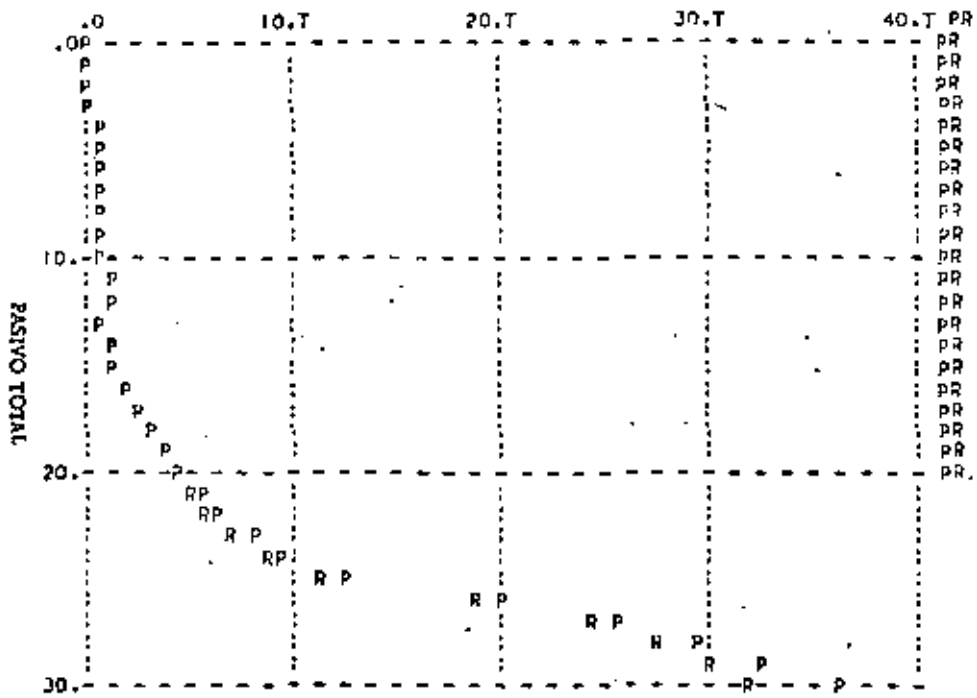


37



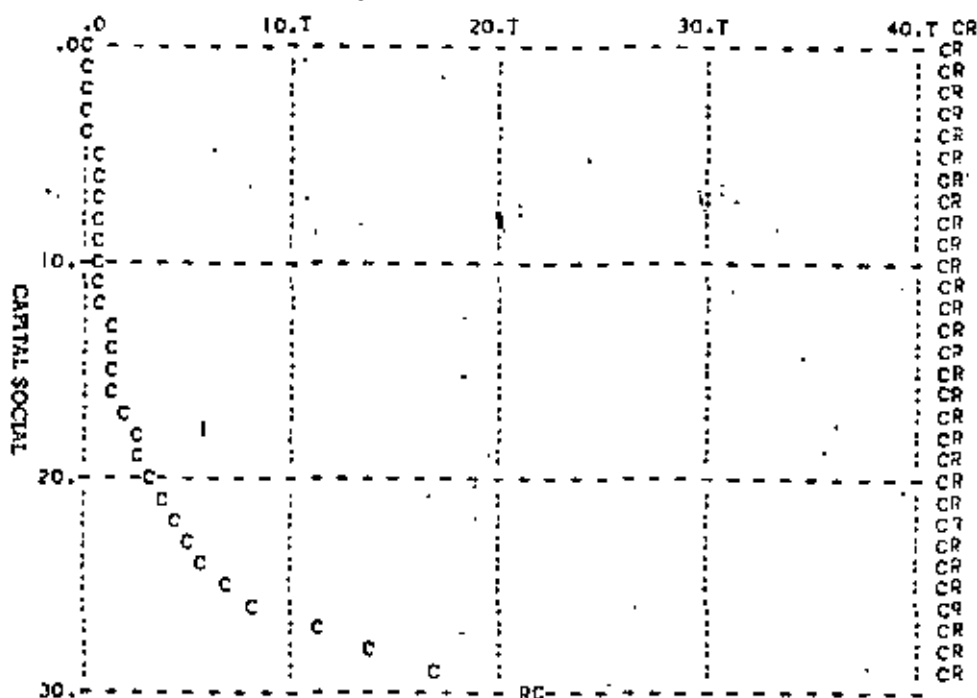
38

PT=P, PTR=R



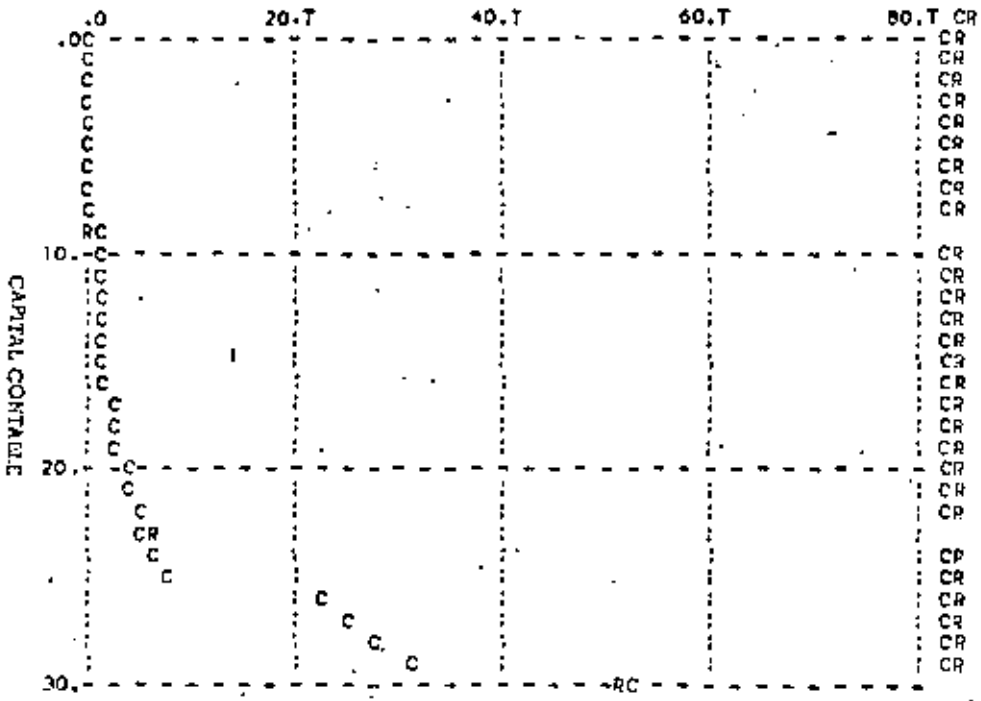
90

CS=C, CSR=R

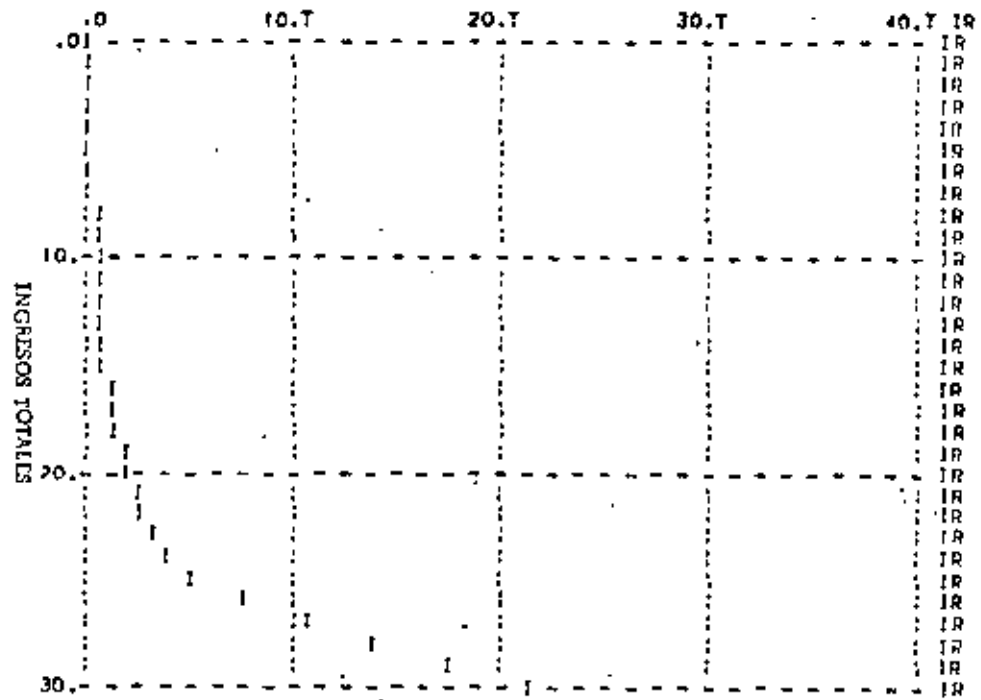


111

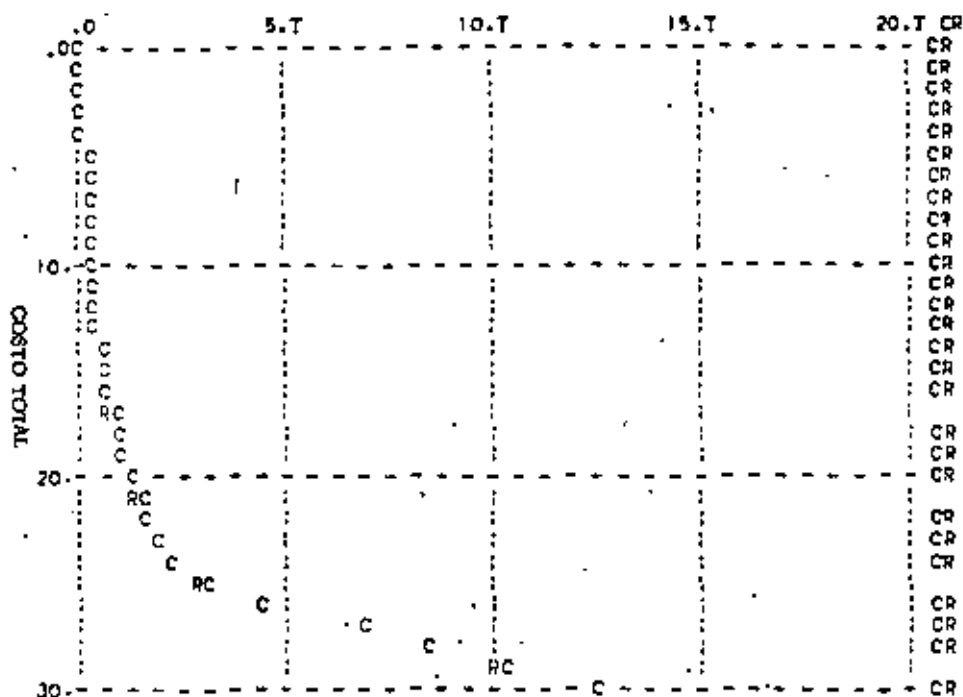
CC-C,CCR-9



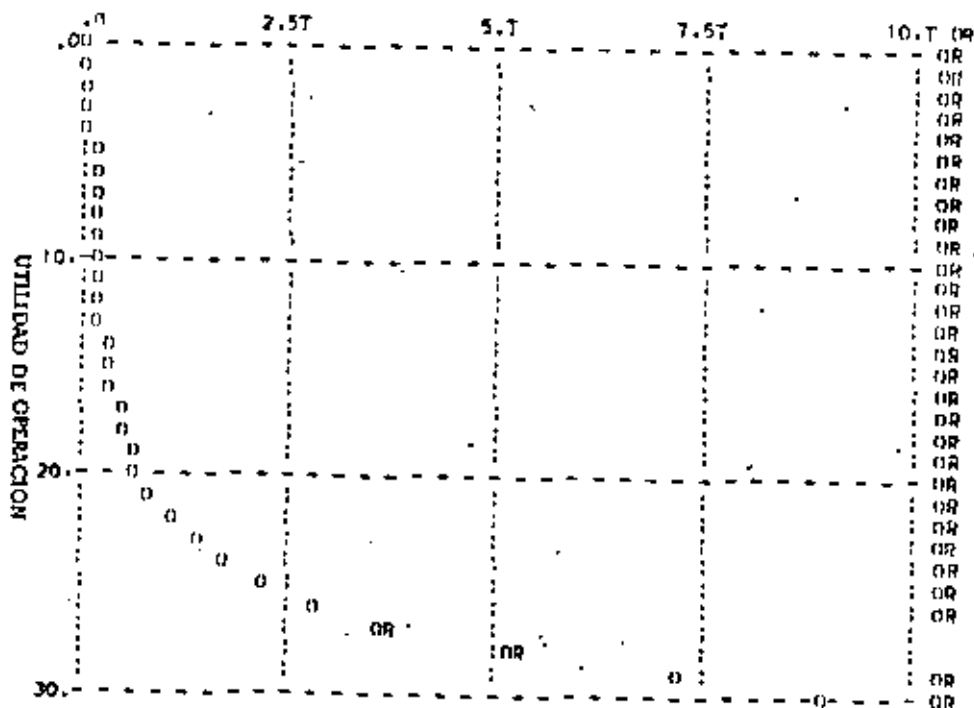
IT-1, ITR-R



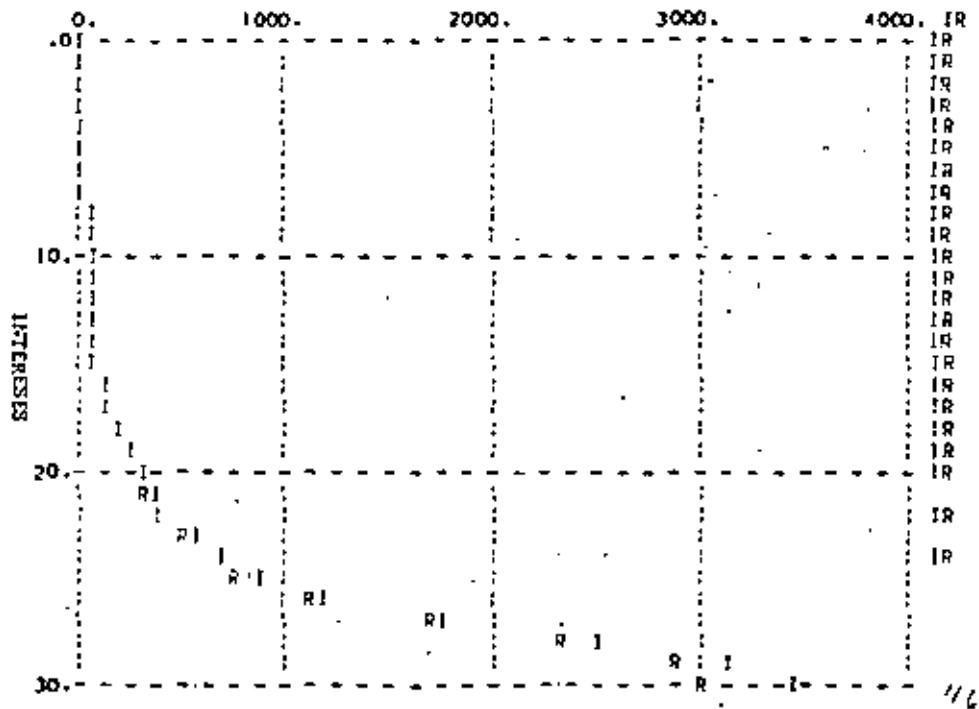
CT=C, CTR=R



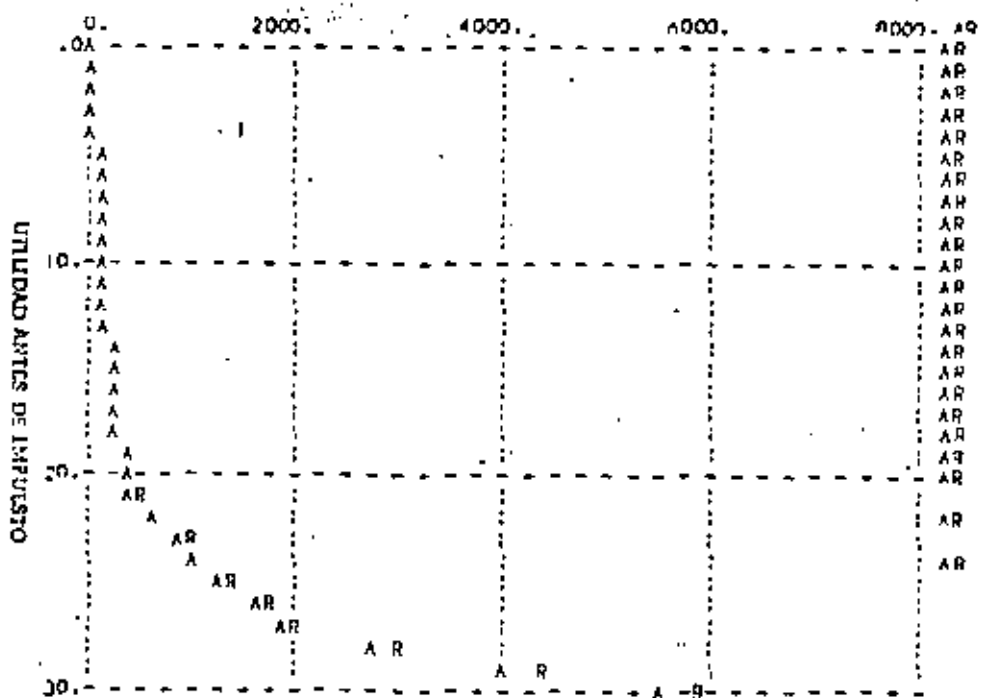
UOP=0, UOPR=9



INT=I,INTR=R

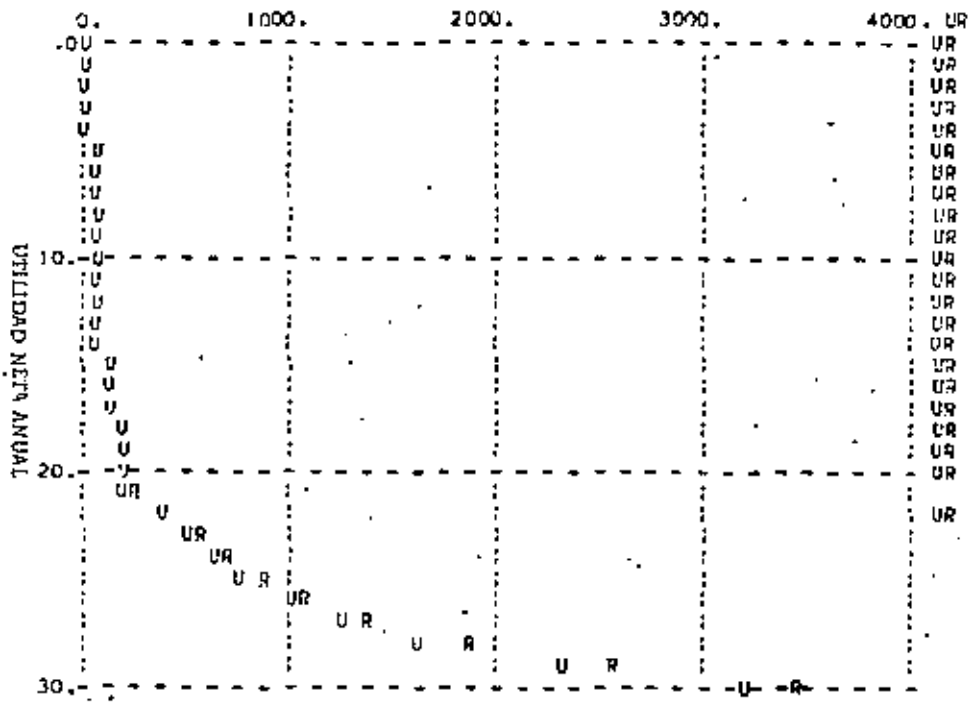


UA1=A,UAIR=R



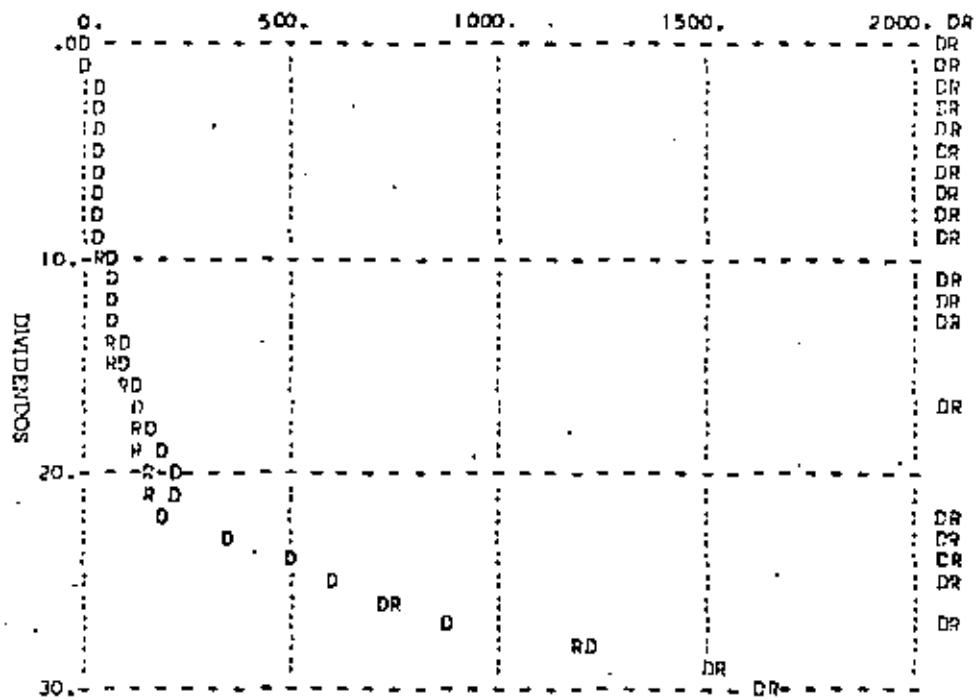
UNA=U, UNR=R

45



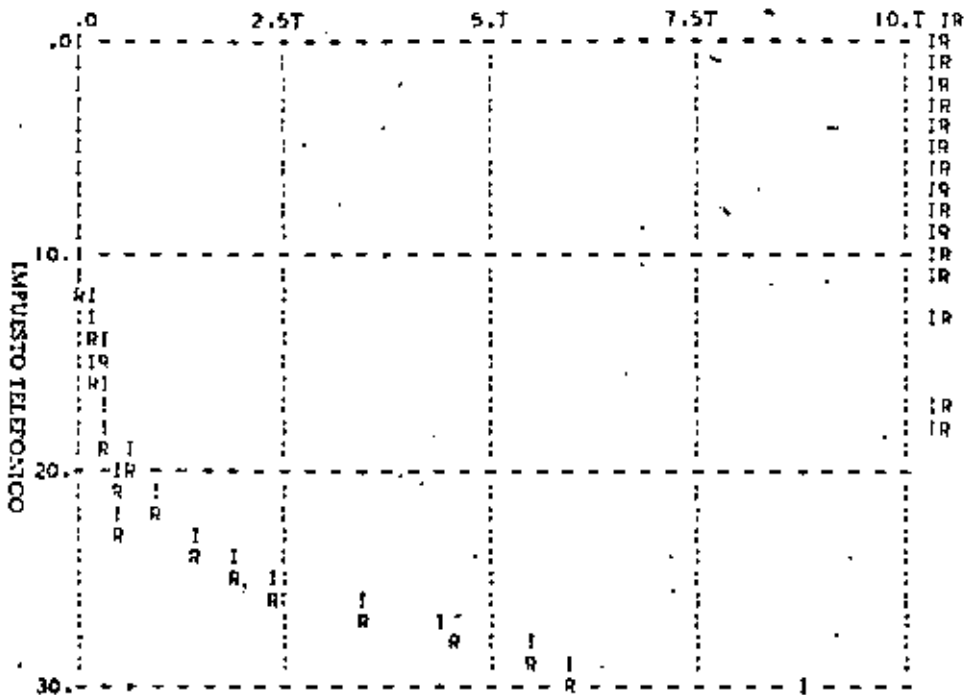
DIV=D, DIVR=R

46



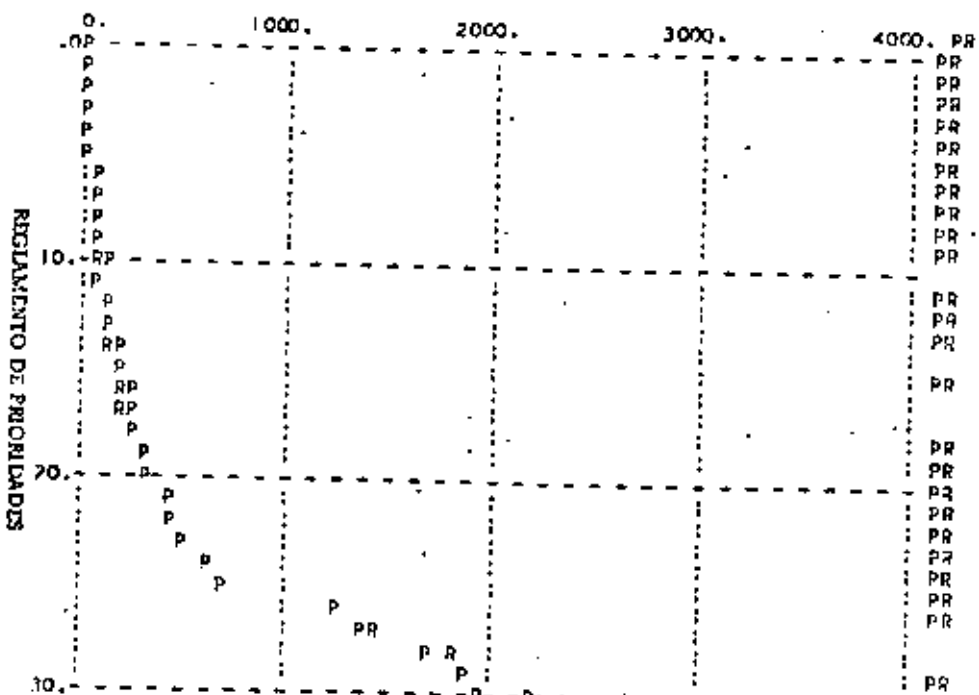
ITEL=I, ITEL=R

77

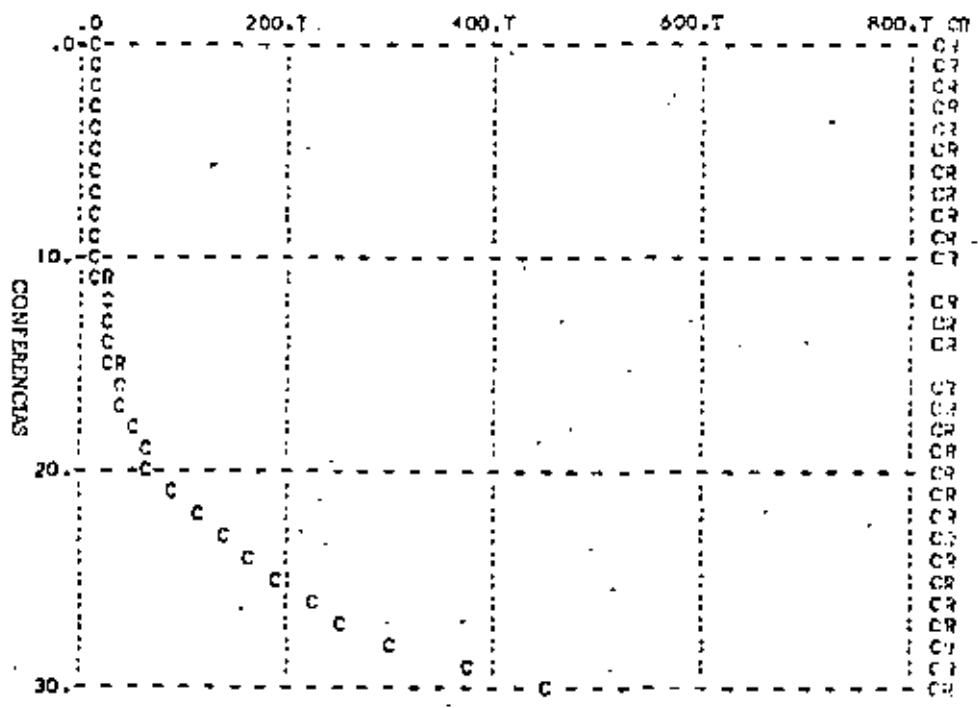


RPS=P, RPK=R

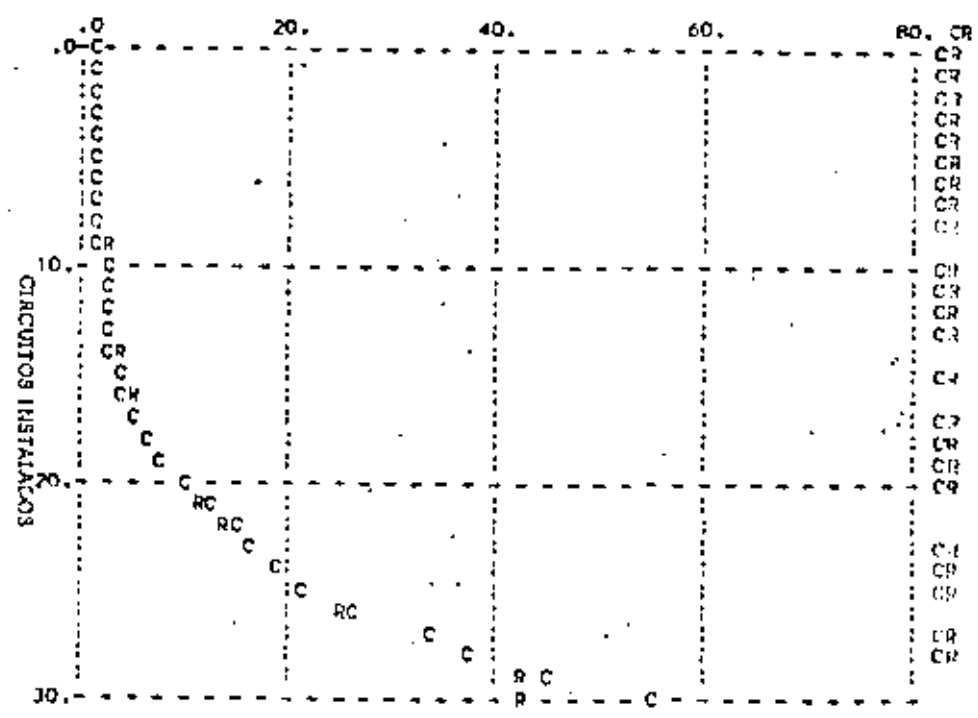
78

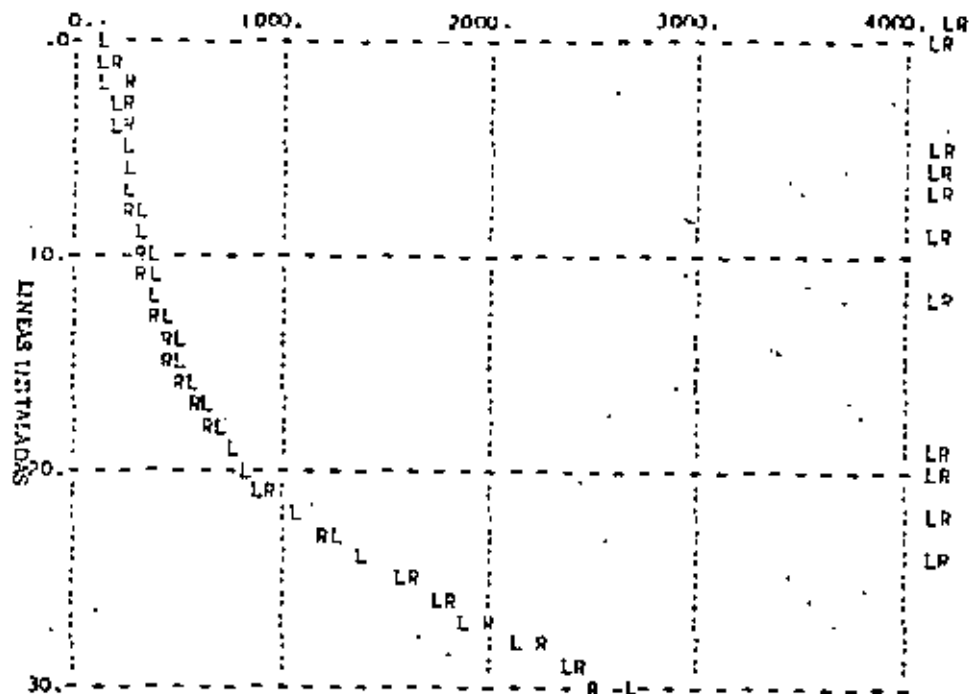


CUNFER=C,CUNFER=R



CINS=C,CIRCR=R





7.- GENERACION DE ESCENARIOS

FUTUROS

7.- GENERACION DE ESCENARIOS FUTUROS.

El Modelo Dinámico Corporativo de TELMEX se utilizó para simular diferentes escenarios futuros y analizar el desempeño de la empresa bajo esas condiciones. Los escenarios que se simularon fueron los siguientes:

- 1) Escenario SIMES: Este escenario implica continuar con las tendencias de la corrida aprobada del SIMES hasta el año 2000.
- 2) Penetración LADA acelerada: Este escenario implica incrementar el ritmo de penetración del servicio LADA de tal forma que se alcance un 99% en 1995.
- 3) Efecto de la Tecnología Digital: Este escenario simula los efectos de la penetración de la Tecnología Digital en: 1) Los costos de Mantenimiento; 2) La probabilidad de éxito de las Centrales Locales; 3) Los Ingresos por Servicio Local y 4) La productividad del personal.
- 4) Penetración LADA acelerada y efectos de la Tecnología Digital: El propósito de este escenario es analizar los efectos combinados de los dos escenarios anteriores.

A continuación se presentan los resultados de estos escenarios:

COMPARACION DE RESULTADOS DE LOS ESCENARIOS

VARIABLE RELEVANTE	UNIDADES	1980	1 9 8 0			
			SIMES	PENETRACION LADA ACELERADA	PLENO DE LA TECNOLOGIA DIGITAL	PENETRACION LADA ACCELERADA Y TECNOLOGIA DIGITAL
Activo Total	Millones de \$	83,553	14'320,000	14'150,000	14'910,000	14'950,000
Pasivo Total	Millones de \$	31,803	4'779,000	4'807,000	4'976,000	4'959,000
Capital Contable	Millones de \$	11,760	9'541,000	9'543,000	9'536,000	9,931,000
Planta, Propiedades y Eq.	Millones de \$	70,800	11'810,000	11'820,000	12'300,000	12'333,000
Pasivo a Largo Plazo	Millones de \$	20,503	4'453,000	4'430,000	4'641,000	4'643,000
Capital Social	Millones de \$	21,404	7'155,600	7'157,000	7'430,000	7'463,000
Ingresos Totales	Millones de \$	21,323	9'034,000	9'044,000	9'471,000	9'490,000
Costos Totales	Millones de \$	17,956	6'679,000	6'157,000	7'174,000	6'229,000
Utilidades Netas	Millones de \$	3,468	1'355,000	2'887,000	1'897,000	2'270,000
Conferencias L.D.	Mill. de Conf.	450	15,030	15,095	15,778	15,821
Circuitos L.D.	Miles de Cirs.	52	1,725	1,742	1,818	1,831
Conferencias/Circuitos		8,524	8,712	8,663	8,479	8,640
Satisfacción de la Dem.		.42	.38	.38	.41	.41
Líneas Instaladas	Mill. de Líneas	2.6	22.6	22.6	22.6	22.6
Conferencias/Líneas		173	663	669	690	700
Líneas/Circuito		80	13.09	12.87	12.42	12.34
Personal Total		27,568	143,400	81,350	132,000	37,010
Personal/1000 Líneas		10.6	6.35	3.60	5.44	3.41

Como puede observarse los resultados de todo escenario muestran un crecimiento considerable durante el período 1980-2000. En el Escenario SIMES, los activos totales de Telmax crecieron de 83,553 millones de pesos en 1980 a 14'320,000 millones de pesos en 2000, es decir 171 veces. Los activos fijos pasaron de 70,800 millones de pesos a 11'810,000 millones de pesos durante el mismo período ó sea 167 veces. Los pasivos a Largo Plazo crecieron 217 veces pasando de 20,503 millones de pesos en 1980 a 4'453,000 millones de pesos en 2000. Los ingresos totales se incrementaron 424 veces pasando de 21,323 millones de pesos a 9'034,000 millones de pesos en el período considerado y por consiguiente las utilidades netas crecen de 3,468 millones de pesos a 1'355,000 millones de pesos durante el mismo período.

Por otra parte, las conferencias circuitadas crecen de 450 millones en 1980 a 15,030 millones en 2000 ó sea 33 veces. El personal total aumenta 5.2 veces de 27,568 en 1980 a 143,400 en 2000. Los circuitos pasan de 52,000 en 1980 a 1'725,000 en 2000 y las líneas de 2.6 millones a 22.6 millones durante los mismos años. El personal por 1000 líneas baja de 10.6 a 6.35 en el período analizado.

En lo que respecta a los demás escenarios se puede observar que:

- 1) Se acelera la penetración del servicio LADA:
 - a) Los activos fijos aumentan ya que se requiere más equipo.
 - b) Los ingresos totales aumentan debido al mayor número de conferencias que se cursan aunque el incremento no es significativo.
 - c) Los costos totales también aumentan a causa de los mayores gastos de mantenimiento y depreciación.
 - d) El personal total solo alcanza 81,260 empleados en 2000 debido a que no se requiere el mismo número de operadoras en este caso.
- 2) Los efectos de la tecnología digital son:
 - a) Mayores activos fijos y pasivos a largo plazo que en el escenario anterior, dado que el costo de la tecnología digital es mayor.
 - b) Los ingresos y los costos también son mayores ya que se generan más ingresos - por nuevos servicios locales y L.D. y se tienen mayores costos de mantenimiento y depreciación.
 - c) Se cursan más conferencias L.D. debido a que aumenta la probabilidad de éxito en las centrales locales.
 - d) El personal total alcanza 132,000 empleados debido a que no se tiene el efecto de la penetración LADA.
- 3) Los efectos cambiados de la penetración LADA acelerada y la tecnología digital son:
 - a) Activos fijos y pasivos a largo plazo mayores aún debido a mayores inversiones y financiamientos.
 - b) Ingresos totales y costos totales también mayores ya que aumentan tanto los ingresos L.D. como los de servicio local.
 - c) Se cursan aún más conferencias que los escenarios anteriores debido a mayor probabilidad de éxito en centrales locales y menores tiempos de expedición.
 - d) El personal total solo llega a 77,010 empleados ya que no solo aumenta la eficiencia del personal de mantenimiento con la nueva tecnología sino que la penetración LADA disminuye los requerimientos de operadoras.

B.- CONCLUSIONES

B.- CONCLUSIONES.

El uso de la metodología de Dinámica de Sistemas para el desarrollo del modelo corporativo de TELMEX ha permitido identificar áreas de sistema telefónico en las que existen problemas que se pueden agravar seriamente en el futuro cercano y en las que las soluciones - que parecían más obvias no solo no resuelven el problema sino que posiblemente sean la causa de su agravamiento. Un caso muy ilustrativo de esto es la introducción del servicio LADA que se esperaba generaría más tráfico de Larga Distancia, sin embargo, al tener los usuarios mayor acceso a la red de Larga Distancia, la congestión se trasladó de las operadoras a los circuitos.

Este problema se resuelve simulando el comportamiento del tráfico L.D. y diseñando la política de adquisición de circuitos mencionada anteriormente. Una versión modificada de esta política ya está siendo utilizada en TELMEX.

9.- BIBLIOGRAFIA

9.- BIBLIOGRAFIA.

- (1) ARACIL, J.
Introducción a la Dinámica de Sistemas
Allanza Editorial, S. A. (1978)
- (2) COYLE, R.G.
Managerial System Dynamics
John Wiley & Sons Ltd. (1977)
- (3) FORRESTER, J.W.
Industrial Dynamics
The MIT Press (1972)
- (4) LIV, K.S.
"Direct-Distance-Dialing Call Completion and Customer Retrieval Behaviour", Bell Laboratories, Inc., Holmdel New Jersey, U.S.A.
- (5) ROBERTS, J.W.
"Recent Observations of Subscriber Behaviour" Centre National d' Etudes des Telecommunications, Issyles Moulinaux, Francia.
- (6) ZEPEDA, E.A.
"The Capacity Acquisition Process in U.K. Electricity Supply Industry - A System Dynamics Study. PhD Thesis, University of Bradford, Yorks, England (1978)



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

EL ENFOQUE DE SISTEMAS EN LA PLANEACION DEL DESARROLLO REGIONAL

Dr. Juan Pablo Antun

Noviembre, 1981

EL ENFOQUE DE SISTEMAS EN LA
PLANEACION DEL DESARROLLO INDUSTRIAL REGIONAL

DR. JUAN PABLO ARTUN
INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM

1981

- (1) ENFOQUE DE SISTEMAS Y PLANEACION DEL DESARROLLO INDUSTRIAL REGIONAL
- (2) PROSPECTIVA DE ESTRUCTURA INDUSTRIAL
- (3) ALGUNAS TECNICAS PARA LA PLANIFICACION DEL DESARROLLO INDUSTRIAL REGIONAL

A: ENFOQUE DE SISTEMAS

1. INTERDISCIPLINA
2. NUEVA DISCIPLINA *
3. PRESUNCION DE OTRA **

* KLIR E., *System Methodology: from youthful to useful*, en *Proceedings of The International Congress on Applied Systems Research and Cybernetics (Acapulco 14-16 december 1981)*, Pergamon Press, Toronto, 1981.

** ISARD W., *General Theory: social, political, economic and regional with particular reference to decision-making analysis*, MIT Press, Cambridge, Mass., 1969.

B. OBJETO FOCAL: DESARROLLO INDUSTRIAL REGIONAL

1. SISTEMA *
2. RED-SISTEMICA **
3. CONJUNTO BORROSO ("FUZZY SETS") ***

* CHADWICK G.F., *Una visión sistémica del planeamiento*, Gustavo Gili, Barcelona, 1972.

** CAAYAJAL R., *The system's paradigm crisis and the emergence of new (non)symmetric-netfields*, Documento Interno, IIMAS, UNAM, Comunicación personal, México, 1981.

*** PONSARD C., *Esquisses de simulation d'une économie régionale: l'apport de la théorie des systèmes flous*, IMEPIB, Faculté des Sciences Economiques-Gestion, Dijon, 1976.

C. PLANEACION DEL DESARROLLO

1. PLANEACION PROSPECTIVA

.DESEABILIDAD

.FACTIBILIDAD

2. DESARROLLO

.ETICIDAD

ACRECENTAR + DISTRIBUIR

.IDEOLOGIA

D. BUSQUEDAS DE UNA NUEVA DISCIPLINA

1. SISTEMA REGIONAL *

2. CIENCIA REGIONAL **

3. ANALISIS ESPACIAL CONTESTATARIO ***

* KUKLINSKI A., Estudios regionales: Quo vaditis?, en Revista Interamericana de Planificación, Vol. XIII, N° 52, México, 1979.

** Consultar la revista periódica Pepeas, The Regional Science Association, Cambridge, Mass., USA.

*** Consultar los trabajos de CORACCIO J.L., entre ellos: Posibilidades y dificultades de un análisis espacial contestatario, en Demografía y Economía, XI, 2, El Colegio de México, 1977; Sobre la problemática de la Planificación regional en América Latina, en Revista Interamericana de Planificación, XII, 52, México, 1979; y los documentos del Grupo de Trabajo sobre la Cuestión Regional en América Latina, Sociedad Interamericana de Planificación, México 1978-1980.

② PROSPECTIVA DE ESTRUCTURA INDUSTRIAL

A. ESTILO PROSPECTIVO VS ESTILO RETROSPECTIVO

„PASADO
„PRESENTE
„FACTORES Y PODER
„INSTRUMENTOS DISPONIBLES Y
FACTIBLES DE CREAR
„CONSENSO DE FUTURO

B. ESCENARIO

-PONER EN PERSPECTIVA
-ESCENARIFA

(ARGUMENTO + ESCENA)

② PROSPECTIVA DE ESTRUCTURA INDUSTRIAL

C. PLANEACION PROSPECTIVA *

1. FASE DEFINICIONAL:

PRESENTACION EXPLICITA
DEL MODELO DE LA REALIDAD
(OBJETO + MEDIO AMBIENTE +
INSTRUMENTOS)

2. FASE NORMATIVA:

COMO SE QUIERE QUE SEA EL
FUTURO Y COMO SE QUIERE
LLEGAR A EL (VALORES)

3. FASE DE FACTIBILIDAD *

DETERMINACION FUTUROS FACTIBLES
QUE CUMPLAN CON LOS VALORES
LA FASE NORMATIVA

* SACHS W. Diseño de un futuro para el futuro, Fundación Javier Barros Sierra, México, 1978.

4. FASE DECISIONAL

SE ADOPTA UN ESCENARIO FACTIBLE

5. FASE INSTRUMENTAL

DISEÑO DE INSTRUMENTOS Y DE LA
ESTRATEGIA DE EMPLEO DE ESTOS

Y ADENAS

6. RELACION DE CONTROL

MECANISMO DE REVISION Y AJUSTE DE
Y ENTRE LAS FASES (REPLANTEO DEL
MODELO DE LA REALIDAD Y DE LA FACTI-
BILIDAD DE ESCENARIOS)

D. ELEMENTOS BASICOS

ESTRUCTURA INDUSTRIAL: ES EL CONJUNTO DE ACTIVIDADES
PRODUCTIVAS DEL SECTOR INDUSTRIAL Y SUS CARACTERISTICAS
INTERNAS, Y DE LAS RELACIONES DE ELLAS ENTRE SI Y CON LOS
OTROS SECTORES ECONOMICOS.

ENFOQUE PROSPECTIVO:

1. DEFINIR UN FUTURO DESEADO (DEFINICIONAL *NORMATIVA)

.PRO-
.FIJO

2. DISEÑAR ESCENARIOS ALTERNATIVOS FACTIBLES
(NORMATIVA *FACT)

.DIAGNOSTICO PROSPECTIVO

3. ADOPTAR UN ESCENARIO FACTIBLE (DECISIONAL)
.CRITERIOS (VALORES *UTILIDAD *COSTO)

4. PROPONER UNA ESTRATEGIA DE DESARROLLO (INSTRUMENTAL)
.INSTRUMENTOS

C2) PROSPECTIVA DE ESTRUCTURA INDUSTRIAL

E. DISEÑO DE ESCENARIOS DE ESTRUCTURA INDUSTRIAL

1. CRITERIOS PARA DEFINIR CONTENIDO

- GRUPOS DE ACTIVIDAD
- METAS VALORES PRODUCCIÓN BRUTA TOTAL
- CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL DEL EMPLEO
- DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE ESTABLECIM
- GRADO DE INTEGRACIÓN INDUSTRIAL

2. CRITERIOS PARA EL PROCESO DE DISEÑO

- USO DEL MARCO NORMATIVO NACIONAL
- PARTICIPACIÓN DE LA COMUNIDAD LOCAL

C3) ALGUNAS TÉCNICAS PARA LA PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO INDUSTRIAL REGIONAL *

OBJETIVOS:

1. EL IMPULSO, EL DESARROLLO Y LA CONSOLIDACIÓN DE LA PEQUEÑA Y MEDIANA INDUSTRIAS REGIONALES
2. EL APROVECHAMIENTO EFICIENTE DE LOS RECURSOS REGIONALES (NATURALES Y HUMANOS)
3. EL FOMENTO A LA INTEGRACIÓN HACIA LOS INSUMOS Y HACIA LOS PRODUCTOS DE LA INDUSTRIA REGIONAL

"... LA ÓPTICA DE FUTURO PARA VER EL PASADO Y EL PRESENTE".

* ANTON J.P., Manual de Estudios y Proyectos para Desarrollos Industriales, Parte III: Estrategias de Desarrollo, Instituto de Ingeniería-SAHOP, México, 1981.

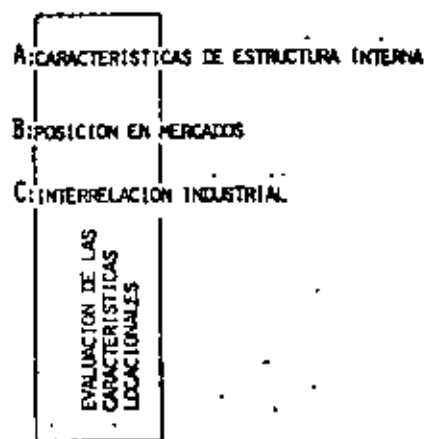
HIPOTESIS ACERCA DE QUE
INDUSTRIAS PUEDEN PROMOVERSE

- HIPOTESIS 1 :
DESARROLLO DE LAS TRADICIONALES
EN QUE SE ESPECIALIZA LA REGION
- HIPOTESIS 2 :
EXPANSION DE LAS ACTUALES MAS
DINAMICAS
- HIPOTESIS 3 :
IMPULSO A LAS QUE DEMOSTRAN
SER COMPETITIVAS
- HIPOTESIS 4 :
FOMENTO DE LA INTEGRACION HACIA
INSUMOS Y HACIA PRODUCTOS
- HIPOTESIS 5 :
PROMOCION DE AGUPAMIENTOS CON
FUERTES RELACIONES TECNICAS INTERNAS

DIAGNOSTICO PROSPECTIVO
DE LA ESTRUCTURA INDUSTRIAL

CONOCIMIENTO DE LAS CARACTERISTICAS DE LOS
COMPONENTES DE LA ACTIVIDAD INDUSTRIAL Y
SUS RELACIONES QUE PERMITEN EVALUAR LA
FACTIBILIDAD DE ESCENARIOS FUTUROS DE AQUELLA.

PROBLEMAS EN EL DIAGNOSTICO PROSPECTIVO



(3) ALGUNAS TECNICAS PARA LA PLANIFICACION DEL DESARROLLO INDUSTRIAL REGIONAL

A) CARACTERISTICAS DE ESTRUCTURA INTERNA

AL. INDICADORES DESCRIPTIVOS

INFORMACION BASICA (GRUPOS Y SUBGRUPOS DE ACTIVIDAD, NUMERO DE ESTABLECIMIENTOS, PERSONAL OCUPADO, SUELDOS Y SALARIOS, CAPITAL EN ACTIVOS FIJOS, PRODUCCION BRUTA TOTAL, COMPRAS, VALOR AGREGADO, ETC.)

IMPORTANCIA RELATIVA DEL VALOR AGREGADO GENERADO (BASE)

GRADO DE DIVERSIFICACION POR GRUPO DE ACTIVIDAD (DIVERS)

NIVEL DE CONCENTRACION POR TAMAÑO MEDIO DE ESTABLECIMIENTOS MEDIDO EN VALOR AGREGADO POR GRUPO DE ACTIVIDAD (CONCEN)

TASA COMPLEJA DE CRECIMIENTO NORMALIZADA (CRECINP)

NOMBRE	CARACTERIZACION DE LA ESTRUCTURA INDUSTRIAL REGIONAL	DEFINICION OPERACIONAL
BASE	Rapidez de las actividades	$\frac{VA_1 / VA_0}{P_1 / P_0}$ <p>(valor agregado industrial) normalizado según cambios nominales</p>
DIVERS	Grado de diversificación según grupos de actividad	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{VA_i}{VA} \right)^2$ <p>(1) = número de grupos industriales que han surgido hasta el 1965 del valor agregado industrial en la zona (n)</p>
CONCEN	Nivel de concentración de la producción según subactividades	$\frac{\sum_{i=1}^n VA_i^2}{VA^2}$ <p>(suma de cuadrados de producción de los principales grupos de actividad, para el 1965)</p>
CRECINP	Densidad de actividad productiva	$\frac{VA_1 / VA_0}{P_1 / P_0} \cdot \frac{P_0}{P_1}$ <p>(Producción real por establecimiento según grupos industriales normalizada según variación del índice de precios)</p>
DIVERS	Entrenamiento del personal de planes de desarrollo específica	$\frac{VA_1 / VA_0}{P_1 / P_0} \cdot \frac{P_0}{P_1}$ <p>(suma de cuadrados de producción normalizada según variación del índice de precios)</p>

INDICADORES DE LA ESTRUCTURA INDUSTRIAL

(3) ALGUNAS TÉCNICAS PARA LA PLANIFICACION DEL DESARROLLO INDUSTRIAL REGIONAL

A: CARACTERISTICAS DE ESTRUCTURA INTERNA

A2. ESPECIALIZACION

INDICE DE CARACTERIZACION LOCAL

El índice de caracterización local ICL_i mide la importancia de la variable en el grupo de actividad respecto de todos los grupos de actividad en la localidad de manera relativa a la importancia registrada por el mismo grupo a nivel de toda la nación.

Mattila & Thompson "The Measurement of the Economic Base of the Metropolitan Areas", en Gibbs (ed) Urban Research Methods, Van Nostrand, New York, 1961.

1. Definición

$$ICL_i = \frac{v_i / v_{...}}{V_i / V_{...}}$$

- i actividad industrial
- v_i valor de la variable del grupo de actividad i en la localidad
- v valor de la variable en todos los grupos de actividad en la localidad
- V_i valor de la variable del grupo de actividad i en todo el país
- V valor de la variable en todos los grupos de actividad en todo el país

ii. Usos

* Para medir la especialización de una localidad:

si la variable es el valor de la producción bruta total, y es $ICL_i > 1$, entonces i es actividad "básica"

** para analizar otros problemas puede usarse:

PROBLEMÁTICA DE ANÁLISIS	USAR COMO VARIABLE
"productividad global"	valor agregado valor bruto
"productividad de la mano de obra"	valor agregado No. empleados
"nivel de remuneración de la mano de obra"	salarios pagados No. empleados
"nivel indicativo de concentración"	valor agregado No. establecimientos

A: CARACTERÍSTICAS DE ESTRUCTURA INTERNA

A3. DINÁMICA Y COMPETITIVIDAD

ANÁLISIS DE CAMBIO Y PARTICIPACIÓN *

El análisis de cambio y participación permite analizar los componentes involucrados en una tasa de crecimiento; componente de participación en el crecimiento del conjunto al cual pertenece la variable, componente de participación en el crecimiento del universo al cual pertenece el conjunto, y, componente de crecimiento diferencial por la muestra (en el sentido locacional).

* HIRSCH, I W "Urban Economic Analysis", Mc Graw Hill, New York, 1973

1. Definiciones

$$r_{i_1}(t_1, t_2) = \frac{v_i(t_2) - v_i(t_1)}{v_i(t_1)} = CPN(t_1, t_2) + CPS_i(t_1, t_2) + CPC_i(t_1, t_2)$$

donde:

$r_{i_1}(t_1, t_2)$ tasa de crecimiento de la variable en la localidad en el período de t_1 a t_2

$CPN(t_1, t_2)$ componente de participación nacional en el período de t_1 a t_2

$CPS_i(t_1, t_2)$ componente de participación sectorial del sector i en el período de t_1 a t_2

$CPC_i(t_1, t_2)$ componente de posición competitiva del sector i en la localidad respecto todo el país en el período de t_1 a t_2

Y:

$$CPN(t_1, t_2) = \frac{V(t_2) - V(t_1)}{V(t_1)}$$

$$CPS_i(t_1, t_2) = \frac{V_i(t_2)}{V_i(t_1)} \cdot \frac{V(t_1)}{V(t_2)}$$

$$CPC_i(t_1, t_2) = \frac{v_i(t_2)}{v_i(t_1)} = \frac{V_i(t_2)}{V_i(t_1)}$$

$v_i(t_1)$ valor de la variable del grupo de actividad i en la localidad, en el tiempo t_1

$v_i(t_2)$ idem, en el tiempo t_2

$V_i(t_1)$ valor de la variable del grupo de actividad i en el país, en el tiempo t_1

$V_i(t_2)$ idem, en el tiempo t_2

$V(t_1)$ valor de la variable en todos los grupos de actividad en el país en el tiempo t_1

$V(t_2)$ idem, en el tiempo t_2

el lado izquierdo de la fórmula es la tasa de crecimiento de la variable en el grupo de actividad i en la localidad en el período que va de t_1 a t_2 .

el lado derecho de la fórmula contiene tres componentes:

"participación nacional" $CPN(t_1, t_2)$ es la componente de la tasa en cuestión que se debe a la tasa de crecimiento de toda la actividad industrial en el país

"participación sectorial" $CPS_i(t_1, t_2)$ es la componente de la tasa en cuestión que se debe al crecimiento diferencial del grupo de actividad i en el país respecto a la tasa de crecimiento de toda la industria en el país.

"posición competitiva" $CIC_i(t_1, t_2)$ es la componente de la tasa en cuestión que se debe al crecimiento diferencial del grupo de actividad i en la localidad respecto de la tasa de crecimiento del mismo grupo de actividad i , en el país.

ii) Usos

*Identificación de actividades "botrices"

**Otros:

Análisis	Problemática
$CPN(t_1, t_2) < 0$	detector de crisis a nivel nacional (al menos en $t_1 < t < t_2$)
$CPS_i(t_1, t_2) < 0$	detector de crisis en sector industrial i (idem)
Si $CPN(t_1, t_2) +$ $CPS_i(t_1, t_2) +$ $CIC_i(t_1, t_2) < 0$ pero $CIC_i(t_1, t_2) > 0$	detector de menor fragilidad del grupo de actividad i en la localidad que en el país (idem)

iii) Nomenclatura

Para facilitar el uso de los componentes en la interpretación de las tasas de crecimiento se adoptará:

$$r_{1i}(t_1, t_2) = \frac{v_i(t_2) - v_i(t_1)}{v_i(t_1)}$$

$$r_{0i}(t_1, t_2) = \frac{v_i(t_2) - v_i(t_1)}{v_i(t_1)}$$

$$r_0(t_1, t_2) = \frac{V(t_2) - V(t_1)}{V(t_1)}$$

donde

$r_{1i}(t_1, t_2)$ tasa de crecimiento de la variable v_i en la localidad para el grupo de actividad i en el período de t_1 a t_2 .

$r_{0i}(t_1, t_2)$ idem, pero en el país.

$r_0(t_1, t_2)$ idem. (en el país), pero para todos los grupos de actividad.

iv) dinámica

Primero, considérese el problema de la dinámica local, analizando la primera componente CPN (t_1, t_2) que mide la participación nacional en el crecimiento del sector i en la localidad.

Siendo:

$$r_{1i}(t_1, t_2) = \frac{v_i(t_2) - v_i(t_1)}{v_i(t_1)}$$

$$r_0(t_1, t_2) = \frac{V(t_2) - V(t_1)}{V(t_1)} \times \text{CPN}(t_1, t_2)$$

Entonces:

a) si $r_{1i}(t_1, t_2) > \text{CPN}(t_1, t_2)$ se dirá que el grupo de actividad será "matriz de primer orden" en la localidad i ; b) si $1 < \text{CPN}(t_1, t_2) < r_{1i}(t_1, t_2)$ se dirá que i es una actividad "matriz de primer orden-básica".

Nótese que si i es matriz de primer orden significa que en la localidad ha crecido más que toda la industria en el contexto del país.

v) competitividad

Ahora, concéntrese el interés en la tercera componente que mide la posición competitiva del grupo de actividad i en la localidad l .

Siendo:

$$CPC_i(t_1, t_2) = \frac{V_i(t_2)}{V_i(t_1)} - \frac{V_f(t_2)}{V_f(t_1)}$$

Si:

$CPC_i(t_1, t_2) > 0$ se dice que i es una actividad "nutriz de segundo orden," y se entenderá que el grupo i ha crecido más rápido en la localidad que en toda la nación, y que sugiere que la localidad tiene alguna ventaja comparativa para realizar i (o que la tuvo cuando se instaló ahí la última empresa de esa actividad).

Ovviamente lo anterior tiene que ser analizado con una perspectiva amplia: si se estudia una industria de bienes de consumo no-duradero en una localidad con una tasa de crecimiento poblacional más alta que la nacional, debido, por ejemplo, a una fuerte componente migratoria, es probable que $CPC_i(t_1, t_2) > 1$ para algún período de tiempo en que las empresas incrementen su capacidad productiva para seguir más cerca la demanda sostenida.

Nótese, por otro lado, que si $CPC_i(t_1, t_2) < 0$, lo que se genera es incertidumbre sobre la actividad: nadie diría que i es un mal negocio en la localidad, sino que habría que averiguarlo si lo es o no; si i es un grupo relevante habría que ver por qué no crece al menos como a nivel nacional, del análisis puede concluirse que o bien es posible promover i , o que tiene restringidas posibilidades de desarrollo. (Como ejemplo de esto último, considérese i = industrialización del pescado, l = Pátzcuaro: nadie duda que i será un grupo relevante en l , pero como existe un deterioro de las condiciones ecológicas del lago y por otro lado un crecimiento de la actividad a nivel nacional, será $CPC_i(t_1, t_2) < 0$).

Otra cuestión importante que puede analizarse con $CPC_i(t_1, t_2)$ es la de las tasas de crecimiento: el análisis podría haber mostrado que $T_{1i}(t_1, t_2) < 0$ lo cual señala que en la actividad i ha habido una seria crisis; pero conviene ver cómo ha sido la crisis de i en el país; es decir como es $T_{0i}(t_1, t_2)$. Ovído, si $T_{1i}(t_1, t_2) > T_{0i}(t_1, t_2)$ la crisis de i en la localidad ha sido menos grave; y entonces, tal vez la localidad es un buen sitio para i porque allí es "menos frágil"... conclusión bastante diferente si el análisis hubiera considerado sólo a $T_{1i}(t_1, t_2)$.

i	$T_{1i}(t_1, t_2)$	$CPC(t_1, t_2)_i$	
> 1			BÁSICA
	$> CPC(t_1, t_2)$		MATRIZ DE 1er ORDEN
		> 0	MATRIZ DE 2o. ORDEN

Para el análisis de factibilidad de escenarios alternativos se considerará que, salvo restricciones de insumos, pueden desarrollarse:

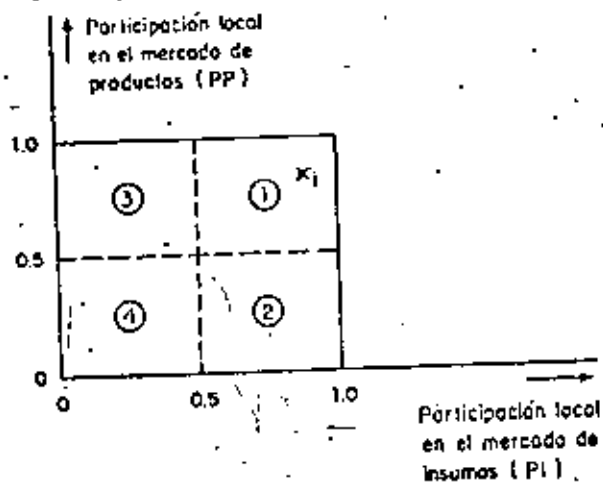
- (i) las actividades básicas,
 - (ii) las actividades motrices,
- y en mayor medida,
- (iii) las actividades básicas y motrices

Una manera de realizar estimaciones es el uso de proyecciones; se recomienda: (a) proyectar T_{1i} con base en dos períodos censales, (b) superponer las proyecciones con base en T_{0i} , T_{0i} , $(T_{1i} - T_{0i})$, (c) con base en lo anterior, definir dos niveles, uno optimista y otro pesimista de los valores proyectados para VAI (valor agregado industrial) y VBP (valor bruto de la producción), y (d) estimar, con base en los valores medios por establecimiento, calculados para los dos períodos censales, el número de unidades productivas (similar tecnología y relación capital trabajo). Si bien toda extrapolación es arriesgada, para el caso de grupos de actividad donde prevalezcan la mediana y pequeña empresa, pueden adoptarse los valores obtenidos como un horizonte razonable.

(3) ALGUNAS TÉCNICAS PARA LA PLANIFICACION DEL DESARROLLO INDUSTRIAL REGIONAL

B: POSICION EN MERCADOS

El diagrama siguiente permite analizar la posición en mercados de una actividad i



donde $PI = \frac{\text{insumos comprados localmente}}{\text{insumos totales comprados}}$

$PP = \frac{\text{productos vendidos localmente}}{\text{productos totales vendidos}}$

• KIPPU CONSULTANTES, "Estudios Económicos para el establecimiento de Zona Franca - El Exportación en Costa Rica", Corporación Zona Franca de Exportación, San José, 1979 (mimeo)

- (1) si i está en los cuadrantes 1 ó 2, ($PI > 0.5$), la industria es orientada regionalmente por insumos
- (2) si i está en los cuadrantes 1 ó 3, ($PP > 0.5$), la industria es "orientada regionalmente por productos"
- (3) si i está en el cuadrante 1, ($PI > 0.5$; $PP > 0.5$), la industria compra y vende en la localidad, o sea es una industria "netamente regional"
- (4) si i está en el cuadrante 2, ($PI > 0.5$; $PP < 0.5$), la industria compra en la localidad pero vende fuera, o sea es una industria "regional exportadora"
- (5) si i está en el cuadrante 3, ($PI < 0.5$; $PP > 0.5$), la industria vende en la localidad pero compra fuera, o sea es una industria "regional importadora"
- (6) si i está en el cuadrante 4, ($PI < 0.5$; $PP < 0.5$) la industria compra y vende poco en la localidad, en general se trata de una industria "maquiladora".

A partir de este análisis se conocerá la "confiabilidad relativa" (como contrario a "fragilidad relativa") de un grupo industrial relevante i en una localidad. Nótese que:

- . en (3) es una industria que depende de la demanda local (p.e. puede ser que crezca a una tasa parecida a la población en el largo plazo) y de que la reserva de los recursos locales que emplea sea suficiente
- . en (4) es una industria que depende del mercado externo y de la posición competitiva de sus productos
- . en (5) es una industria orientada a demandas de consumo regional, frágil del lado de insumos; su dependencia tal vez existe porque traer el producto terminado de otro lado es más caro que llevar los insumos y hacerlo allí (p.e. algo que involucre hidratar, o por un esquema de tarifas de transporte).
- . en (6) es una industria bastante "volatilizable" porque casi no compra (por ejemplo sólo "trabajo") ni vende nada en la región, y un cambio en las pocas ventajas comparativas de la región respecto al exterior de ella pueden afectar su permanencia en el futuro.

El análisis del diagrama de posición en mercado permite promover actividades industriales en la región con base en las existentes y en las factibles.

Si analizamos los ejemplos presentados en los diagramas.

- . en (3), conviene recomendar:
 - un aprovechamiento óptimo los recursos (materiales y humanos) locales
 - mejorar la competitividad del producto (por ejemplo vía innovación tecnológica) para ganar mercados (de productos) extrarregionales.
- . en (4), conviene recomendar:
 - un análisis de la confiabilidad de insumos locales
 - una evaluación del mercado (de productos) extrarregional para mantener la competitividad del producto
 - investigar posibilidades de integrar "hacia adelante" (es decir hacer nuevos productos con base en los producidos), buscando un mercado local para los nuevos productos

en (5), conviene recomendar:

- un análisis de las posibilidades de integración local del producto (incorporación de insumos locales o integración "hacia atrás")
- evaluar la confiabilidad de las fuentes de insumos extrarregionales

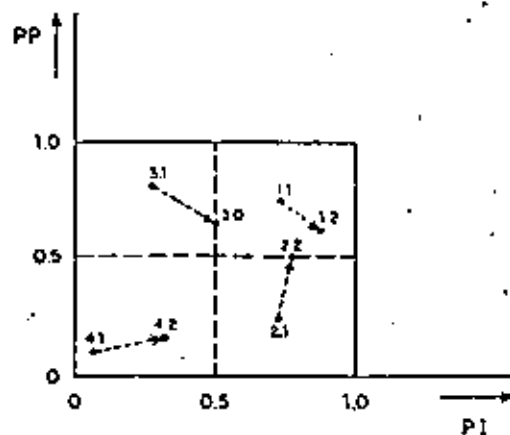
en (6), conviene recomendar:

- un análisis de las condiciones que han conducido a la localización y desarrollo de la actividad y una evaluación de la conservación de ellas para el corto/medio plazo
- estudiar las posibilidades de desarrollar una industria satélite (productora de insumos por subcontratación)

Si aceptamos como hipótesis que es conveniente:

- (i) promover el aprovechamiento óptimo de los recursos locales,
- (ii) producir productos regionales competitivos fuera de la región,
- (iii) integrar hacia "atrás" y hacia "adelante" la producción local, y
- (iv) promover la industria satélite en condiciones de subcontratación de la maquiladora.

Esto puede visualizarse en los "desplazamientos" en el diagrama siguiente:



C3) ALGUNAS TÉCNICAS PARA LA PLANIFICACION DEL DESARROLLO INDUSTRIAL REGIONAL

C: INTERRELACION INDUSTRIAL

CONCEPTOS BASICOS

TANTO LAS TEORIAS DE LOCALIZACION INDUSTRIAL COMO LAS DE DESARROLLO SOSTIENEN QUE LO "ATRACTIVO" DE UNA REGION QUE PERMITE "ATRAER" INDUSTRIAS NO RADICA SOLAMENTE EN FACTORES GEOGRAFICOS Y SOCIOECONOMICOS TANTO AISLADAMENTE SINO EN EL CONJUNTO Y EN LAS ECONOMIAS EXTERNAS QUE EXISTE O PUEDE EXISTIR CON BASE EN LA ESTRUCTURA INDUSTRIAL ACTUAL O FACTIBLE A CORTO PLAZO.

UN GRUPO DE INDUSTRIAS COMPLEMENTARIAS EN TERMINO DE SUS RELACIONES TECNICAS ES UNA DE LAS BASES MAS SOLIDAS PARA INICIAR UN PROCESO AUTOSOSTENIDO DE CRECIMIENTO: LA IMPORTANCIA Y VARIEDAD DE LOS LAZOS INTERINDUSTRIALES HACIA "ATRAS" (INSUMOS) Y HACIA "ADELANTE" (PRODUCTOS) - GENERA ECONOMIAS DE ESCALA (ECONOMIA INTERNA EN EL NIVEL DE PRODUCCION) Y DE AGLOMERACION (ECONOMIA EXTERNA EN EL NIVEL DE RELACIONES TECNICAS).

C3) ALGUNAS TÉCNICAS PARA LA PLANIFICACION DEL DESARROLLO INDUSTRIAL REGIONAL

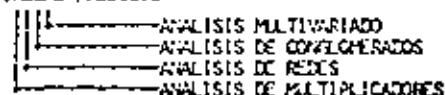
C: INTERRELACION INDUSTRIAL

PROBLEMAS

1. IDENTIFICAR AGRUPAMIENTOS DE ACTIVIDADES ASOCIADAS A UNA INDUSTRIA NUCLEO
2. ESTIMAR EL EFECTO MULTIPLICADOR EN LA REGION DEL DESARROLLO DE UNA ACTIVIDAD INDUSTRIAL

TÉCNICAS PARA RESOLVERLOS

MATRIZ INSUMO-PRODUCTO



C3) ALGUNAS TÉCNICAS PARA LA PLANIFICACION DEL DESARROLLO INDUSTRIAL REGIONAL

C: INTERRELACION INDUSTRIAL

INSUMO-PRODUCTO

ES UNA TÉCNICA QUE PERMITE ESTUDIAR LA ESTRUCTURA DE LAS INTERRELACIONES EXISTENTES ENTRE DIVERSOS CLIENTES (SECTORES) CON UN SISTEMA PRODUCTIVO (ACTIVIDAD ECONOMICA), Y MEDIR LAS INTERDEPENDENCIAS TANTO DE LOS ELEMENTOS DE ENTRADA (INSUMOS) ENTRE SI, COMO DE ESTOS CON LOS ELEMENTOS DE SALIDA (PRODUCTOS).

INSUMOS SON TODOS LOS ELEMENTOS UTILIZADOS POR UNA UNIDAD DE PRODUCCION PARA PRODUCIR PRODUCTOS COMO RESULTADO DE APLICAR A LOS DIVERSOS PROCEDIMIENTOS TECNICOS PARTICULARES.

EL MODELO DE INSUMO-PRODUCTO QUE SE PRESENTARA COMO ILUSTRACION ES SIMPLIFICADO TANTO QUE SE SUPONDRÁ

-ABIERTO
-ESTATICO

Considérese la tabla 1:

- la matriz (I) de "transacciones intersectoriales" propriamente dicha, que muestra las relaciones de producción existentes entre las distintas actividades económicas en que se clasifica (sectores) a los agentes productivos;
- la matriz (II) de "demanda final" por sectores económicos de origen de la producción; y,
- la matriz (III) de "distribución del ingreso" según factores, clasificada por sector económico que los utiliza.

Los totales de cada fila y de su correspondiente columna deben ser iguales, y miden, respectivamente, el valor de la producción según ventas (fila), según costos (columna). Cada vector fila establece que el valor de la producción sectorial equivale a la suma de las ventas intermedias y finales; cada vector columna explica el valor de la producción sectorial por adición de consumos primarios (del mismo sector), intermedios y remuneración a los factores productivos.

Considérese ahora la tabla 2 donde a_j es el producto del sector s_j de la economía, w_{ij} la demanda intermedia sobre el sector s_i del sector s_j , y f_{ij} las demandas finales sobre el sector s_i . A $M = (w_{ij})$ se le denomina "matriz de transacciones intersectoriales" y registra el valor de las ventas y compras entre los sectores de producción porque w_{ij} es el producto del sector s_j que es usado como insumo del sector s_i . Para fijar ideas véase la tabla 3. Al arreglo $A = (a_{ij})$, tal que $w_{ij} = a_{ij} a_j$, se le denomina "matriz de coeficientes técnicos" y registra la cantidad de cada in-

Tabla 1.
EL MODELO DE INSUMO-PRODUCTO

SECTORES DE INSUMOS	UTILIZACIÓN INTERMEDIA		UTILIZACIÓN FINAL							EXPORTACIONES	TOTAL	PIBPP BRUTO TOTAL			
	SECTORES DE PRODUCCIÓN							INTERNA							
	1	2	3	.....	71	72	TOTAL	CONSUMO PRIVADO	CONSUMO GOBIERNO GENERAL				INVERSIÓN VIEJANA	SUBTOTAL	
SECTORES DE FLUJO DE BIENES Y SERVICIOS															
1 AGRICULTURA															
2 GANADERIA															
3 SILVICULTURA															
4 CAZA Y PESCA															
5 CARBÓN Y DERIVADOS															
.....															
.....															
.....															
.....															
.....															
73 SERVICIOS MEDICOS															
74 SERVICIOS DE ESPARCIMIENTO															
75 OTROS SERVICIOS															
IMPORTACIONES															
SUBTOTAL	INSUMOS DE BIENES Y SERVICIOS						CONSUMO FINAL	INVERSIÓN PARA VIEJANA	BIENES Y SERVICIOS IMPORTADOS	EXPORTACIONES	DEMANDA FINAL TOTAL	VALOR BRUTO DE PRODUCCION			
VALOR AGREGADO BRUTO															
1 REMUNERACION DE ASALARADOS															
2 SUPERAVITE BRUTO DE EXPLOTACION															
3 IMPUESTOS INDIRECTOS NETOS DE SUBSIDIOS															
TOTAL	VALOR BRUTO DE PRODUCCION														

FUENTE: SPP, 'Matriz de Insumo-Producto de México, año 1970', SPP/Banco de México/Naciones Unidas-IMUD, México, 1979.

Tabla 2.
MATRIZ INSUMO-PRODUCTO

	DEMANDA INTERMEDIA				DEMANDA FINAL				VALOR DE PRODUCCION
	SECTORES			TOTAL	CONSUMO		FORMACION DE CAPITAL	TOTAL	
	S ₁	S ₂	..... S _n		PRIVADO	PUBLICO			
S ₁	w ₁₁	w ₁₂	..... w _{1n}	$\sum_{j=1}^n w_{1j}$	f ₁₁	f ₁₂	f ₁₃	$\sum_{j=1}^n f_{1j}$	$\sum_{j=1}^n w_{1j} + \sum_{j=1}^n f_{1j}$
S ₂	w ₂₁	w ₂₂	..... w _{2n}	$\sum_{j=1}^n w_{2j}$	f ₂₁	f ₂₂	f ₂₃	$\sum_{j=1}^n f_{2j}$	$\sum_{j=1}^n w_{2j} + \sum_{j=1}^n f_{2j}$
.....
S _n	w _{n1}	w _{n2}	..... w _{nn}	$\sum_{j=1}^n w_{nj}$	f _{n1}	f _{n2}	f _{n3}	$\sum_{j=1}^n f_{nj}$	$\sum_{j=1}^n w_{nj} + \sum_{j=1}^n f_{nj}$
SUBTOTAL	$\sum_{i=1}^n w_{i1}$	$\sum_{i=1}^n w_{i2}$	..... $\sum_{i=1}^n w_{in}$	$\sum_{i=1}^n w_{i1}$	$\sum_{i=1}^n f_{i1}$	$\sum_{i=1}^n f_{i2}$	$\sum_{i=1}^n f_{i3}$	$\sum_{i=1}^n f_{i1}$	$\sum_{i=1}^n w_{i1} + \sum_{i=1}^n f_{i1}$
Sectores	y ₁₁	y ₁₂	..... y _{1n}	$\sum_{j=1}^n y_{1j}$					
Insumos									
Productos									
Beneficios	y ₂₁	y ₂₂	..... y _{2n}	$\sum_{j=1}^n y_{2j}$					
SUBTOTAL	$\sum_{i=1}^n y_{i1}$	$\sum_{i=1}^n y_{i2}$	..... $\sum_{i=1}^n y_{in}$	$\sum_{i=1}^n y_{i1}$					
INSUMO TOTAL	q ₁	q ₂	..... q _n	$\sum_{i=1}^n q_i$					

FUENTE: SPP, 'Matriz de Insumo-Producto de México, año 1970', SPP/Banco de México/Naciones Unidas - IMUD, México, 1979.

surto (fracción de producto del sector s_j) que compra determinado sector s_j por unidad de producción; se admite como hipótesis básica una relación lineal entre insumos y producción. Véase, para fijar ideas, la tabla 4.

Se puede definir q_i la producción de cada sector s_i en función de las demandas intermedia q_j y final f_i , obteniéndose el sistema:

$$q_1 = a_{11} q_1 + a_{12} q_2 + \dots + a_{1n} q_n + f_1$$

$$q_2 = a_{21} q_1 + a_{22} q_2 + \dots + a_{2n} q_n + f_2$$

$$\dots$$

$$q_n = a_{n1} q_1 + a_{n2} q_2 + \dots + a_{nn} q_n + f_n$$

(por simplificación $f_i = \sum f_{ij}$)

que en forma matricial se escribe

$$q = Aq + f \quad (1)$$

Dado que la matriz A de coeficientes técnicos es conocida y los valores del vector f de demanda final son, en general, datos, resolviendo el sistema de ecuaciones (1) para el vector q de productos, se tiene:

$$q = (I-A)^{-1} f$$

donde $(I-A)^{-1}$ se denomina "matriz inversa de Leontieff"

Nótese que cada columna de la matriz inversa $(I-A)^{-1} = [a_{ij}]$ muestra los requerimientos totales, tanto directos (insumos primarios e intermedios) como indirectos (remuneración a los factores productivos), por unidad de demanda final total; así se tiene, por ejemplo, que f_{11} unidades de demanda final del sector S_1 requerirán la producción de $f_{11} a_{11}$ unidades de S_1 ; $f_{11} a_{21}$ de S_2 ; ... $f_{11} a_{n1}$ unidades de S_n . Por consiguiente, el valor bruto de producción (VBP) necesario para satisfacer un vector C de demanda final se estima mediante la multiplicación matricial:

$$q^e = (I-A)^{-1} C \quad (2)$$

Por otro lado, como las columnas de la matriz de insumo-producto representan los gastos de cada sector, es posible expresar el precio de cada producto en función del precio de los insumos primarios e intermedios y la remuneración a los factores productivos, y escribir una serie de ecuaciones que muestren cómo se determina el valor de producción de cada sector económico desde el punto de vista de dichos precios. Para ello se llamará p al vector de precios por unidad de producción. El valor p_i del sector s_i depende, entonces, del precio de cada uno de los insumos que intervienen en su producción y del coeficiente técnico correspondiente, de forma que:

$$p_i = a_{1i} p_1 + a_{2i} p_2 + \dots + a_{ni} p_n + B_i \quad (3)$$

donde B_i representa los coeficientes técnicos correspondientes a la remuneración de los factores productivos y al consumo intermedio importado.

Como lo anterior es aplicable a todo sector s_i , se obtiene el sistema de ecuaciones:

$$P_1 = a_{11} P_1 + a_{21} P_2 + \dots + a_{n1} P_n + B_1$$

$$P_2 = a_{12} P_1 + a_{22} P_2 + \dots + a_{n2} P_n + B_2$$

$$P_n = a_{1n} P_1 + a_{2n} P_2 + \dots + a_{nn} P_n + B_n$$

que en forma matricial se escribe

$$p = A'p + B' \quad (4)$$

donde p es el vector de valores por unidad de producción, A' es la transpuesta de la matriz A y B' es la transpuesta del vector B

Si el sistema (4) se resuelve para p , se tendrá:

$$p = (I - A')^{-1} B' \quad (5)$$

Nótese que para calcular el efecto que sobre el valor de cada producto causa una variación porcentual ϵ en los componentes de B , se introduce este cambio en la ecuación (5), resultando

$$p^* = (I - A')^{-1} \epsilon B' \quad (6)$$

donde el vector p^* contiene los nuevos precios por unidad de producción.

(5) ALGUNAS TÉCNICAS PARA LA PLANIFICACION DEL DESARROLLO INDUSTRIAL REGIONAL

C1: ANÁLISIS DE AGLOMERACIONES INDUSTRIALES *

Quando se procura el desarrollo industrial en una región, uno de los problemas relevantes, es la identificación de la estructura industrial a promover: una adecuada "mezcla" de actividades industriales es siempre

* Para una revisión actualizada, véase:

CZAMANSKI, S; de Q. ABLAS, L A "Identification of Industrial Clusters and Complexes: a comparison of methods and findings", *Urban Studies*, Vol. 16, 1979, p 61-80

Consúltese también:

CZAMANSKI, S "Some evidence of the strengths of linkage between groups of related industries in urban-regional complexes", *Papers of the Regional Science Association*, Vol 27, 1971, p 137-50

LEVER, W F "Industrial Movement, Spatial Association and Functional linkages", *Regional Studies*, Vol 6, 1972, p 371-384

RDEPKE, M; ADAMS, D; WISEMAN, R "A new approach to the identification of industrial complexes using input-output data", *Journal of Regional Science*, Vol 14, No 1, 1974, p 15-29

CZAMANSKI, S "Study of Clustering of Industries", Institute of Public Affairs, Dalhousie University, Halifax (Canada), 1974.

CZAMANSKI, S "Study of Spatial Industrial Complexes", Institute of Public Affairs, Dalhousie University, Halifax (Canada), 1976

CZAMANSKI, D; CZAMANSKI, S "Industrial Complexes. Their Typology, structure and relation to regional development", *Papers of the Regional Science Association*, Vol 38, 1977

ZIMMERMAN, J B "Analyse de la dominance économique: une modèle de la dominance par l'offre a partir des données d'un tableau d'échanges inter-Industriels", *Revue d'Économie Politique*, Vol 89, no 4, 1979, p 518-543

menos frágil a los imponderables si implica un importante flujo intersectorial de bienes intermedios producidos localmente y un aprovechamiento racional de los recursos propios de la región. Es por tanto de mayor interés analizar agrupamientos de industrias relacionadas, y su factibilidad de localizarse en la región, que el análisis y promoción de industrias relativamente aisladas en términos técnicos.

Para resolver el problema de identificar agrupamientos industriales existen tres enfoques básicos, que son de alguna forma complementarios:

a) el análisis multivariado, b) el análisis de conglomerados, y c) el análisis de grafos. Aquí se propone una, que es combinación de los dos primeros.

El punto de partida es el análisis de los flujos o transacciones intersectoriales en la matriz de insumo-producto a nivel nacional. Para medir el grado de relación entre pares de sectores (industrias) tanto del lado de la oferta como la demanda se calculan los siguientes coeficientes

* Para una discusión estimulante acerca de la validez y el alcance de estos enfoques, véanse:

LATHAM, V R "Needless complexity in the identification of Industrial Complexes", *Journal of Regional Science*, Vol 16, No. 1, p 45-55

CIAMANSKI, S "Needless complexity in the identification of Industrial Complexes: a Comment", *Journal of Regional Science*, Vol 17, No 3, 1977, p 455-457

LATHAM, V R "Needless complexity in the identification of Industrial Complexes: A Reply", *Journal of Regional Science*, Vol 17, No 3, 1977, p 459-461

$$a_{ij} = \frac{w_{ij}}{\sum_j w_{ij}} \quad ; \quad a_{ji} = \frac{w_{ji}}{\sum_i w_{ji}}$$

$$b_{ij} = \frac{w_{ji}}{\sum_j w_{ij}} \quad ; \quad b_{ji} = \frac{w_{ij}}{\sum_i w_{ji}}$$

donde w_{ij} , w_{ji} e W_i "matriz de transacciones" del modelo insumo-producto a nivel nacional.

Nótese que "ij" es el lado de la oferta (s_i vende a s_j) y que "ji" es el lado de la demanda (s_j compra a s_i). Los primeros dos coeficientes expresan la importancia relativa de las relaciones de la industria proveedora, y los dos últimos, la del sector comprador. Definiendo dos niveles arbitrarios a^* y b^* : si $a_{ij} \geq a^*$, s_j es una industria "dependiente"; y si $b_{kj} \geq b^*$, s_k es una industria "complementaria". Por otro lado, obsérvese que los denominadores de los cuatro coeficientes representan el total de los flujos o transacciones intersectoriales, el cual no incluye la demanda final, es decir no son el producto/insumo total del sector proveedor/demandante.

El paso siguiente es la construcción de una "matriz triangular" E, con elementos e_{ij} , definidos de acuerdo a:

$$e_{ij} = \max(a_{ij}, a_{ji}, b_{ij}, b_{ji}) \quad \forall i > j$$

$$e_{ij} = 0 \quad \forall i \leq j$$

Ahora, usando dos pasos complementarios, se pueden definir agrupamientos industriales:

- (I) Identificación de un único lazo importante de un sector respecto cualquiera de los otros sectores.

Usando los vectores columna e_j , puede verse que s_j tendrá un lazo importantes con s_k si $e_{kj} = \max_i e_{ij}$. Como esta exploración se realiza para todos los s_j podrán definirse de manera preliminar los agrupamiento.

- (II) Identificación de similitudes en el perfil de proveedores y de clientes.

Con base en cuatro coeficientes de correlación se puede describir el grado de similitud de la estructura insumo-producto de dos sectores industriales s_k y s_l :

$$r_1 (a_{jk}; a_{il}) \quad r_2 (b_{ki}; b_{li})$$

$$r_3 (a_{jk}; b_{li}) \quad r_4 (b_{ki}; a_{il})$$

Entonces; si r_1 es alto (o significativo) s_k y s_l tienen estructura de insumo similares (compran sus insumos de los mismos productos); si r_2 es alto, s_k y s_l tienen estructuras de producto similares (venden sus productos a los mismos clientes); si r_3 es alto, los proveedores de s_k son usuarios de los productos de s_l ; y, si r_4 es alto, los usuarios de los productos de s_k son proveedores de s_l .

Con estos cuatro coeficientes de correlación, puede construirse una matriz R^* , donde

$$r_{ij}^* = (r_{1ij} / r_{2ij} / r_{3ij} / r_{4ij})$$

o sea una matriz $n \times 4n$, siendo n el número total de sectores. Recuérdese que el elemento de la primera submatriz mide el grado de similitud de dos sectores (industrias) s_k y s_l en sus patrones de compra; mientras que la segunda, los de venta; la tercera y cuarta submatriz, por otro lado, correlaciona los proveedores de una industria respecto de los clientes de la otra.

Puede ahora definirse R , con elementos

$$r_{ij} = \max (r_{1ij}, r_{2ij}, r_{3ij}, r_{4ij})$$

donde se selecciona el coeficiente de correlación más alto entre s_k y s_l .

La etapa final es una análisis de componente principal*. Para ello

* Para fundamentos teóricos consúltese:

NARMAN, H. H. *Modern Factor Analysis*, The University of Chicago Press, Chicago, 1970 (cap 12)

Para la realización del cálculo usando programas de biblioteca en computador (disponibles en UNAM, IPN y El Colegio de México), consúltese:

HIL, H et al. *Statistical Package for Social Sciences*, McGraw Hill, New York, 1975 (cap 24)

PADUA, J. "Paquete estadístico para las Ciencias Sociales (SPSS): oferta y condiciones para su utilización e interpretación de resultados". Cuadernos de CES, Vol 12, Centro de Estudios Sociológicos, El Colegio de México, México, 1978 (cap 11)

se define una matriz de covarianza K

$$K = E (R - \bar{R}) (R - \bar{R})^T$$

y se transforma ésta, en otra X según

$$x = D \left(\frac{1}{\gamma_i} \right) X D \left(\frac{1}{\gamma_i} \right)$$

donde D es la matriz diagonal de las desviaciones estándar de las r_{ij} .
Para identificar de todo el conjunto de industrias el subgrupo correspondiente a un agrupamiento se aplica un procedimiento iterativo (rotación ortogonal equimax): todas las industrias que tengan un vector fila o columna nulos (o sea todos los s_{ij} para los cuales o bien $r_{ik} = r_{kj} = 0$ ($i = 1, \dots, n$)) se remueven de X, y el proceso se repite hasta no retener ningún vector nulo.

Para interpretar la significación relativa de los lazos existentes entre las industrias que se retienen en X:

(i) se usan los autovalores de la matriz, calculados según

$$(X\alpha - \lambda\alpha) = 0$$

$$(X - \lambda I)\alpha = 0$$

$$|X - \lambda I| = 0$$

donde: α = vector (o vector característico),

y: λ = autovalor (o raíz característica); y,

(ii) un "índice de asociación" que se adoptará como

$$C_i = \frac{\lambda_i}{\sum \lambda_i} \cdot 100$$

cada C_i "grande" indica la existencia de un agrupamiento.
Nótese que los autovalores λ_i pueden interpretarse como varianzas y determinan el grado de afinidad entre industrias que forman un subsistema, si los autovalores se normalizan haciendo $a_i a_i' = 1$.

En síntesis, cada factor resultante del análisis sectorial implicará un agrupamiento de industrias con base en relaciones técnicas y según la situación de toda la industria a nivel nacional.

Adviértase que los agrupamientos industriales fueron identificados a nivel global nacional y no tienen ninguna referencia a una variable espacial (es decir no están asociadas a ninguna región del territorio).

Las características propias de la región

y los prospectos de inversión públicos y privados definirán las posibilidades de establecer algún conjunto de industrias que puedan haberse identificado como formando parte de un agrupamiento industrial, es decir que poseen una estructura de relaciones técnicas; en este caso es de interés evaluar la factibilidad del conjunto de actividades que lo integran, y de ser así promoverlas.

02: IDENTIFICACIÓN DE NUEVAS INDUSTRIAS *

Cuando se dispone de una matriz de insumo-producto regional, y se analiza la fila correspondiente a "importaciones", puede identificarse la naturaleza de la demanda (consumo extra regional) de la industria local. A partir de ésta, pueden considerarse las características locacionales de las industrias que proveen esos insumos y las posibilidades de establecerlas en la región. Un retorno a la matriz de insumo-producto regional permite evaluar los impactos sectoriales de la nueva demanda que generarán estas nuevas industrias.

Si además está disponible una matriz de insumo-producto nacional con coeficientes actualizados al año de la matriz regional, pueden diseñarse multiplicadores de atracción sectorial según un modelo basado en la hipótesis de que la importancia de una relación espacial entre sectores de la economía se basa no sólo en lazos financieros sino fundamentalmente en costos de comunicación y transporte; entonces, se promoverán aquellas industrias con los multiplicadores más altos y que presentan las tasas de crecimiento mayores.

* KLASSEN, L. Méthodes de sélection d'industries pour les régions en stagnation (introduction aux études de possibilités), OCDE-Organisation de Coopération et de Développement Economique, Paris, 1967.

KLASSEN, L. Some further consideration on Attraction Analysis, Netherlands Economic Institute, 1974.

KLASSEN, L.; VAN VICKEREN, A. C. Interindustry Relations: an attraction model, Netherlands Economic Institute, 1975.

Esta hipótesis se introduce en una reformulación de la matriz de insumo-producto según:

$$\bar{p} = (I - \hat{D}A - L)^{-1} f$$

donde p, I, A, f retienen su significación, y D es la matriz diagonal de "coeficientes de atracción del lado de la demanda" y L es la matriz de los "coeficientes de peso de los lazos del lado de la oferta" que miden la "atracción locacional" entre los sectores industriales sobre la base de integración hacia adelante (productos/productos intermedios) y hacia atrás (insumos/insumos intermedios).

En el modelo, desarrollado por el Instituto de Investigaciones Económicas de Holanda, cada elemento de la matriz D representa la atracción del lado de la demanda de la industria sobre los consumidores (medido en costos relativos de comunicación y transporte), mientras que cada elemento de L representa la atracción del lado de la oferta (en igual tipo de medida relativa), para cada par de sectores industriales s_1, s_2 ponderado por un coeficiente que relaciona los lazos hacia atrás y hacia adelante de esos sectores. La suma de los coeficientes (atracción/demanda, atracción/oferta para cada sector se normaliza a la unidad.

(3) EFECTOS MULTIPLICADORES REGIONALES*

Cuando se dispone de una matriz de insumo-producto regional, ésta es una herramienta adecuada para el análisis de impacto económico consecuencia de la introducción (o cierre) de una industria o de una modificación de las condiciones de infraestructura (p.e. la construcción de un puente, un parque industrial, etc). Con base en la matriz regional -elaborada con censos o con técnicas alternativas (ver anexo IIc)- pueden diseñarse y calcularse indicadores de efectos multiplicadores en la región que estimen el impacto sobre un sector de la economía, el perfil del empleo, el contenido de la demanda importada (extrarregional), etc. La interpretación del impacto económico permite evaluar estrategias alternativas de promoción industrial en el análisis prospectivo.

Entre los tipos de multiplicadores clásicos, pueden considerarse:

(1) Multiplicador de producto (o columna)

* RICHARDSON, H. Regional Economics, University of Illinois Press, Urbana, 1979

LATHAM, W; HENICOPERY, H. "Methods for calculating Regional Industry Impact Multipliers". Growth and Change, vol. 15, 1974, p 2-9

LIDENT, J. "Regional multiplier analysis: a demometric approach". Environment and Planning, Vol 10, 1978, p 537-560

BARREARD, J; BALLMAN, R J. "Test of Regional Intersectoral Flows Analysis Multipliers", Journal of Regional Science, Vol 19, No 2, 1979, p 201-215

El multiplicador de producto para un sector industrial s_j mide la suma de requerimientos directos (insumos primarios e intermedios) e indirectos (remuneración a los factores productivos) para producir una unidad adicional de producto destinada a la demanda final.

Formalmente, se define como:

$$N \text{ producto}_j = \sum_{i=1}^n a_{ij} ; a_{ij} = (I-A)^{-1}$$

es decir, la suma de las entradas en la columna bajo el sector s_j en la matriz inversa de Leontieff

(2) Multiplicador de ingreso

Existen varios tipos de multiplicadores de ingreso; aquí se presenta el comentario designado como tipo I, que mide la relación entre los cambios directos e indirectos en el ingreso respecto del cambio directo, resultantes de un incremento unitario en la demanda final de un sector s_j .

Formalmente, se define como:

$$N \text{ ingreso(I)}_j = \sum_{i=1}^n a'_{ij} \gamma_{ij}$$

* RICHARDSON, H. Input-Output and Regional Economics, Weidenfeld and Nicolson, London, 1972.

donde

$$a_{ij} \in (I-A)^{-1} \text{ (matriz inversa de Leontieff)}$$

$$Y_{ij} \in (III) \text{ (matriz de distribución del ingreso ver tabla 1 y 2)}$$

es decir, el cambio directo e indirecto en el ingreso se obtiene primero multiplicando cada elemento de la columna bajo el sector s_j en la matriz inversa de Leontieff por cada elemento de la matriz de distribución del ingreso (ver tabla 1, matriz (III)) de los correspondientes sectores industriales s_i proveedores, y luego sumando estas multiplicaciones sobre el conjunto de éstos.

(3) Multiplicador de empleo

Es frecuente, en análisis de impacto regional, el interés en estimar el efecto sobre el perfil del empleo de las políticas de desarrollo industrial. Para esto puede usarse también la matriz de insumo producto regional en combinación con una investigación estadística (en general usando regresión lineal) sobre las relaciones entre empleo y producción en cada sector industrial s_j de interés y los s_i proveedores de aquél.

Puede estimarse con base en algún análisis estadístico (a nivel de la nación),

$$E_i = a + b P_i + F_i$$

donde E_i es el empleo y P_i la producción total del sector s_i (obviamente,

te, siempre existirá un error de aproximación que depende de las diferencias tecnológicas existentes entre establecimientos del sector s_i a nivel de la nación), y F_i la pendiente de la recta.

Entonces, el multiplicador de empleo, (llamado de tipo I), se define formalmente como

$$M_{\text{empleo}}(I)_j = \sum_{i=1}^n F_i a_{ij}; a_{ij} \in (I-A)^{-1} \text{ (matriz inversa de Leontieff)}$$

es decir, que dada las pendientes F_i de las funciones empleo vs. producción de los sectores s_i proveedores de s_j , el cambio directo e indirecto en el empleo generado por cambios unitarios en la producción de s_j es la suma de las multiplicaciones de F_i por los elementos columna en la matriz inversa de Leontieff bajo el sector s_j , sobre todos los sectores proveedores.

Adviértase que las experiencias con $M_{\text{empleo}}(I)_j$ indican que las estimaciones son bastante aproximadas si la mayoría de los sectores proveedores s_i son intensivos en mano de obra, y de menor confiabilidad si esto no es así; además, si la matriz de insumo-producto regional o local es sobre un área "muy pequeña", lo que se manifiesta en que la fila de las importaciones (o "pérdidas regionales") es relevante frente a las filas s_j , las estimaciones pueden ser erróneas.

Anexo (A)

REFERENCIA SOBRE

TÉCNICAS DE CONSULTA A EXPERTOS

INTRODUCCION

Consulta a expertos

La consulta a expertos, o con informantes calificados, es una actividad frecuente cuando se evalúa un proyecto o se diseñan estrategias para su desarrollo futuro.

Un "experto" es alguien que sabe sobre un problema, porque lo afecta, o porque lo ha estudiado, o porque se considera que tiene capacidad para reflexionar sobre él.

Al tiempo de diseñar las condiciones para una mayor eficiencia del proyecto la consulta es imprescindible, y generalmente se emplea para:

(i) la definición de escenarios deseados

o sea, la forma en que la comunidad local cree que se materializarían sus expectativas sobre el desarrollo industrial regional; y,

- (ii) la identificación de los condicionantes para alcanzarlos es decir, que habría que hacer para que el parque industrial fuera un verdadero agente de apoyo que permitiera alcanzar el desarrollo industrial regional deseado.

El problema que se presenta al evaluador en esta situación es doble:

- (i) ¿a quién considerar "experto"?
- (ii) ¿con qué técnicas realizar la consulta?

La materia de consulta puede indicar como resolverlo; dejemos para más adelante el análisis de las técnicas, y véase ahora como conformar el universo para de ahí seleccionar los "expertos".

Universo de expertos

Si el interés se fija en la determinación de escenarios, podrán ser "expertos": los empresarios líderes en la región, la CÁMARA local, el Comité de Promoción del Desarrollo Socioeconómico del Estado, los empresarios instalados en el parque industrial y la gerencia de éste.

Si en cambio el interés se fija en la identificación de los condicionantes para alcanzar el escenario deseado, podrán ser "expertos": los mencionados antes, la delegación local de NUFINSA en el Programa de Apoyo Integral a la Pequeña Industria (PAI), los gerentes de la banca privada, funcionarios de los fondos de fomento (FONEP, FOGAIM, FONIN) y eventualmente, la-

investigadores/docentes de la Universidad/Instituto Tecnológico y la delegación del CONACYT. En algunos casos, conviene también considerar empresarios foráneos en empresas líderes cuyo giro se considera factible promover y establecer en el parque industrial.

Criterios para selección de expertos

Entre los criterios¹ para seleccionar un experto considérense:

- a) el conocimiento que tenga de la materia sobre la cual se va a consultar (este conocimiento se puede apreciar por la experiencia anterior en cuestiones de proyección y por el acuerdo básico que exista con otros expertos)
- b) la capacidad para aplicar sus conocimientos a la previsión (o predicción) del futuro
- c) el grado de confiabilidad (consistente en su ventaja comparativa respecto a los demás expertos respecto alguna a escala de valoración)
- d) el grado de afectabilidad (consistente en su relación con el problema y de qué manera éste le afecta respecto a alguna escala de valoración)

¹ HELMER, G.; RESCHER, M. "On the Epistemology of the Inexact Sciences", *Management Science*, vol 6, N° 1, p. 25-52, 1959.

2. REFERENCIA SOBRE TÉCNICAS?

Para consultar a expertos se han desarrollado varias técnicas. Aquí se presentarán algunas referencias, accesibles en México, en relación a tres, consideradas principales.

(A) KJ

Fue elaborado y desarrollado por el antropólogo japonés Jiro Kawakita, de quien lleva sus iniciales, es un método que permite organizar y relacionar una gran cantidad de datos, en forma lógica y sistemática a través de procesos de análisis y síntesis de información que van configurando diagramas de conjuntos. De dichos conjuntos se obtienen las "esencias", utilizando la técnica del Iyosatsu japonés, es decir, la expresión de ideas en frases cortas, pero llenas de significado; de este modo se obtienen los temas o asuntos de interés de una situación dada, así como un panorama general que la describe.

Combinado con técnicas de entrevista directa y libre en la adquisición de información, resulta un procedimiento útil, pues facilita la obtención del conocimiento que las personas puede proporcionar (el conocimiento experiencial) y la comprensión de la percepción que éstas tienen de su situación o de algún asunto específico.

² Los documentos que se citan se encuentran en la Biblioteca de la Coordinación de Sistemas del Instituto de Ingeniería-UNAM.

En particular consúltense:

ELIZONDO, J.; GUADA, L.; ORTEGA, A. "Colaboración del Instituto de Ingeniería en el Plan Educativo del Estado de Morelos - Anexo 1: Manual de Aplicación del Método KJ para ser aplicado en el Diagnóstico del Sistema Educativo del Estado de Morelos", Proyecto B141, Instituto de Ingeniería-Secretaría de Educación Pública, Abril 1979.

ELIZONDO, J.; GUADA, L. "Participación de la Comunidad en el Plan Director de Cozumel", Proyecto 7005, Instituto de Ingeniería-Gobierno del Estado de Quintana Roo, septiembre 1977.

(B) TKJ

Fue desarrollado por Shunpei Kobayashi de la Sony Co. con base en la técnica KJ. Permite identificar problemas y proponer soluciones mediante un procedimiento de dinámica de grupos. El grupo de expertos no conviene que exceda en número de 10.

El TKJ es un método sistémico, creativo y participativo que permite a un grupo transformarse en equipo al encaminar los esfuerzos personales en una meta compartida ("estándarte"): identificar un problema, proponer una estrategia para solucionarlo y establecer un compromiso para ejecutar esta.

El Centro de Investigación Prospectiva de la Fundación Javier Barros Sierra, A.C. ha aplicado esta técnica en sus investigaciones sobre el futuro de México.

En particular, consúltense:

LARA ROSANO, F., "La Técnica TKJ de Planeación Participativa" Cuadernos Prospectivos, No. A 6, Fundación Javier Barros Sierra, A.C., México, 1977.

KOBAYASHI, S., "Administración Creativa", Editora Técnica, S.A., México, 1972.

(C) DELPHI

La Técnica Delphi (DELPHOS) toma su nombre de las consultas que los antiguos griegos hacían al oráculo de Delfos. Indica, pues, la acción de acudir a un experto para pedir consejo sobre algún asunto, especialmente si éste se refiere al futuro. La consulta se lleva a cabo a través de la aplicación de una serie de cuestionarios progresivos, donde las respuestas se retroalimentan a los expertos encuestados. La gran diferencia con TKJ radica en que se excluye la confrontación directa de los participantes. El número de cuestionarios oscila entre tres y cinco.

Esta técnica ha sido utilizada en diversos problemas y en diferentes ámbitos nacionales. Existe mucha documentación tanto sobre la técnica en sí como sobre sus aplicaciones a casos específicos.

En particular, consúltense:

RAMIREZ, F.J. "La Técnica Delphi", Cuadernos Prospectivos, No. A 5, Fundación Javier Barros Sierra, A.C., México, 1977.

DALKEY, N.; HELMER, O. "An Experimental Application of the Delphi Method to the use of Experts", Management Science, Vol. 9, No. 4, p. 458-467, 1963

LISTONE, M. & TUROFF, M. (ed) "The Delphi Method: Technique and Applications", Addison-Wesley Publishing Co., Reading, Mass., 1975

SACKMUN, M. "Delphi Assessment: Expert Opinion, Forecasting and Group Process", USAF Project Rand, R-1283-PR, Rand Corporation, Santa Monica, Calif, 1974

ETO, M. "Target setting by Delphi Method in Regional Planning" en HASEGAWA, T. & INOUE, K. (eds). IFAC Workshop on Urban, Regional and National Planning (UNRENAP) Kyoto, 5-6 August 1977, p. 61-63, Pergamon Press, Oxford, 1978.

KENDALL, J. "Variations of Delphi", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol 11, p. 75-85, 1977.

DAJANI, J.; SINGOFF, M.; TALLEY, W. "Stability and Agreement Criteria for the Termination of Delphi Studies", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol 13, p. 83-90, 1979

Anexo (B)

REFERENCIA SOBRE

ANÁLISIS DE IMPACTO CRUZADO

1. INTRODUCCION

Una desventaja en las técnicas de consulta a expertos -como TXJ o DELPHI- es que tienden a tratar cada componente del análisis como una variable independiente. Es decir, que si se analizan las condiciones para hacer más eficiente un proyecto -p.e. un parque industrial- se evalúan cada una de éstas sin tener mucho en cuenta las interrelaciones entre éstas.

Una situación deseable es conocer la "condicionalidad" de las condiciones entre sí. Por ejemplo: sea A una condición poco probable que ocurra, según señalan los expertos, aunque impulsaría definitivamente el proyecto, sea B otra condición, por ejemplo muy asociada al nivel político, que tiene una cierta probabilidad de ocurrencia; sería importante conocer que posibilidades hay que ocurra A si B realmente ocurre, porque podría ser conveniente concertar esfuerzos en lograr B, si A ocurriera posteriormente con relativa facilidad. (y sabiendo que ésto es algo que es importante para el desarrollo del proyecto).

la técnica que se ha desarrollado para estudiar estos problemas se denomina análisis de impacto cruzado o análisis de probabilidad de segundos momentos para proyección de eventos interrelacionados.

2. REFERENCIA SOBRE IMPACTO CRUZADO

Una publicación reciente de la Coordinación de Sistemas del Instituto de Ingeniería es una excelente introducción:

LARA ROSANO, F. "Aplicación de la teoría probabilista de segundos momentos a la proyección de eventos interrelacionados", Publicación Serie Añul No 436, Instituto de Ingeniería-UNAM, 1981.

Consúltese también:

COPDON, J. J. & HAYWARD, H. "Initial Experiments with the Cross-Impact Matrix Method of Forecasting", *Futures*, Vol 1, p. 100-116, 1968

TURDFF, M. "An Alternative Approach to Cross-Impact Analysis", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol 3, p. 309-339, 1972

DALKEY, H.C. "An Elementary Cross-Impact Model", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol 3, p. 341-351, 1972

HELMER, O. "Cross-Impact Gaming", *Futures*, Vol 4, p. 149-167, 1972

DUVAL, A.; FONTENLA, F.; GARUS, A. "Cross-Impact: A Handbook on Concept and Applications", Bataille Memorial Institute, Geneva, 1974

BLOOM, M.F. "Deterministic Trend Cross-Impact Forecasting", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol 8, p. 35-74, 1975

JACKSON, J.E. & LAWTON, W.H. "Some Probability Problems Associated with Cross-Impact Analysis", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol 8, p. 263-273, 1976

MITROFF, I.-I. & TURDFF, M. "On the Distance Between Cross-Impact Models: A set of metric measures for Cross-Impact Analysis", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol 8, p. 275-283, 1976

MITCHELL, R.; TYDEMAN, J.; CURNOW, R. "Scenario Generation: Limitations and Developments in Cross-Impact Analysis", *Futures*, Vol 9, p. 205-215, 1977

BLOOM, M. "Time-Dependent Event Cross-Impact Analysis: Results from a New Model", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol 10, p. 181-201, 1977

KAYA, Y.; ISHIKAWA, M.; HORI, S. "A Revised Cross-Impact Method and Its Applications to the Forecast of Urban Transportation Technology", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol 14, p. 243-257, 1979.

Anexo (C)

REFERENCIA SOBRE

TÉCNICAS NO CENSALES PARA LA

ELABORACION DE UNA MATRIZ INSIRO PRODUCTO REGIONAL

Para una referencia general véase:

BRDAG BENT, T A *Somehow on the Construction and Use of Small Area Input-Output Tables*, Center of Environment Studies, London, 1979

Consúltense también:

MORRISON, W; SMITH, P "Nonsurvey input-output techniques at the small area level: an evaluation", *Journal of Regional Science*, Vol 14, No 1, 1974, p 1-14

MC NEPAMIN, D G; HARRIS, J E "An appraisal of nonsurvey techniques for estimating regional input-output models", *Journal of Regional Science*, Vol 14, No 2, 1974, p 191-205

SMITH, P; MORRISON, W *Simulating the Urban Economy: Experiences with Nonsurvey Input-Output Techniques*, Pion, London, 1974.

KIPNIS, B A "Local vs national coefficients in constructing regional input-output tables in small countries: a case study in Northern Israel", *Journal of Regional Science*, vol 16, No 1, 1976, p 93-99

MORRISON W; SMITH, P "Input-Output in Urban and Regional Planning: A Practical Guide", *Progress in Planning*, Vol 7, Part 2, 1977, p 59-151 (Chapter 7: Alternative Approaches to the Production of Regional Input-Output Tables, p 121-122)

JUAN P. ANTUN

Ingeniero (Buenos Aires, 1971).

Doctorado en Estudios Urbanos (Grenoble, 1979).

Trabajó en Philips, General Electric, CIITZA, Cordsariat
a l'énergie atomique y Naciones Unidas.

Fue experto de la Comisión Económica para América Latina
y consultor en el Programa de Naciones Unidas para el
Medio-ambiente.

Ha participado como docente en la Universidad de Buenos
Aires (Argentina), la Université des Sciences Sociales de
Grenoble (Francia) y la Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Xochimilco (México).

Actualmente es jefe de proyectos en problemas de desarrollo
regional en la Coordinación de Sistemas del Instituto de In-
geniería - IIRAM.

versión xerográfica
de actas proyectados
en la conferencia
y notas complementarias



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

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

DR. JORGE DIAZ PADILLA

NOVIEMBRE, 1981

C O N T E N I D O

	Págs.
1. INTRODUCCION.....	1
2. EL PROBLEMA DE LA EVALUACION DE PROYECTOS DE DESARROLLO URBANO.....	4
3. METODOLOGIA PARA EVALUAR PROYECTOS DE DESARROLLO URBANO.....	13
4. APLICACION.....	24
CONCLUSIONES.....	43
ANEXO.....	45

LA EVALUACION DE PROYECTOS URBANOS COMO UN PROBLEMA DE TOMA DE DECISIONES BAJO OBJETIVOS EN CONFLICTO ¹

Ing Sergio del Río Herrera ²
 Dr Jorge Díaz Parilla ³

El proceso de evaluación en todo problema decisional, tiene como objetivo principal el asignar una medida a un conjunto de proyectos, planes, programas, alternativas, etc. De tal forma que tales medidas permitan establecer un orden jerárquico entre los elementos del conjunto, reflejando así la "efectividad" asociada con cada uno de ellos. La evaluación y jerarquización de proyectos, dentro del proceso de Planeación del Desarrollo Urbano, presenta serias dificultades, debido principalmente a la completa naturaleza de dicho proceso.

Si se considera a los Sistemas Urbanos formados por tres subsistemas principales: Físico, Económico y Social, la sola definición de los componentes e interrelaciones de dichos subsistemas, en particular el económico y el social, presenta grandes problemas no sólo debido a la necesidad de considerar aspectos de diferente índole, como son los financieros, económicos, políticos, sociales, etc. (presentando así objetivos múltiples que se cuantifican en forma diferente y por consiguiente no comparables entre sí), sino que por otra parte, muchos aspectos no tienen valor monetario y por tanto el enfoque tradicional de costo beneficio no es aplicable.

En efecto, la evaluación de proyectos de planeación urbana requiere de una metodología mucho más completa que el análisis costo beneficio, y no ha sido, sino hasta los últimos años que se han empezado a utilizar en la solución de problemas reales, técnicas tales como: Teoría de Decisiones, Análisis de Atributos Múltiples, Teoría de la Utilidad, etc. (aunque las aplicaciones realizadas a la fecha se han orientado básicamente a sistemas hidráulicos y de transporte).

Por otra parte, la Dirección General de Centros de Población (DGCP), dependiente de la SAHOP, tiene como uno de sus objetivos fundamentales el formular acciones concretas correspondientes al Sector Asentamientos Humanos, para los centros de población del país. Lo anterior plantea el problema de manejo de información necesaria para poder realizar diagnósticos y, con base a estos, formular acciones en materia de desarrollo urbano.

Ante esta situación, la DGCP, durante el período comprendido entre 1977 y 1980, concibió y desarrolló el Sistema de Información de Diagnóstico Continuo para el Desarrollo Urbano (SIDDU), este sistema de información, que actualmente se está computando, posibilita la realización de diagnósticos urbanos de los centros de población en forma rápida, simple, eficiente y continua.

Debido al alto número de centros de población existentes, se ha planteado como primera etapa, analizar exclusivamente los centros con poblaciones entre 2 500 y 300 000 habitantes y posteriormente abarcar las restantes de manera gradual.

¹ Trabajo presentado por el primer autor para obtener el grado de Maestro en Ingeniería en la Facultad de Ingeniería, UNAM, México, D.F., 1982.
² Arq. de Proyectos, PDA Consultores.
³ Director General, PDA Consultores.

El SIDDU, tal y como se ha planteado permite ser usado de la siguiente manera:

Banco de Información:

Como banco de información consiste en el almacenamiento estructurado de la información urbana de los centros de población del país, en forma tal que sirva para su consulta, de acuerdo a los fines específicos del usuario.

Diagnóstico Urbano:

El SIDDU proporciona un diagnóstico de la problemática urbana de las localidades del país a través de tablas de resultados. (Ver Anexo)

Se debe mencionar que una característica principal de este sistema de información es la posibilidad de captar, para cada centro de población, los *problemas sentidos por la comunidad* (Ver Anexo), aspecto que juega un papel muy importante para el desarrollo de la metodología a presentar en este estudio.

En este trabajo, *aprovechando el contenido y estructura de la información captada en el SIDDU*, se presenta y discute la *litolista* de algunas técnicas y herramientas, que sin pretender establecer una metodología única para la evaluación y jerarquización de alternativas de desarrollo urbano, se considera redundan en modelos de evaluación, útiles, pragmáticos y fáciles de utilizar para la jerarquización de proyectos de desarrollo urbano.

Se debe señalar, que para efectos de este estudio se consideró una clase particular de proyectos, dentro del proceso de planeación del desarrollo urbano, con las siguientes características:

- *Proyectos donde las inversiones son relativamente pequeñas, aplicados a centros de población de tamaño reducido y donde la información es escasa y parcial.*

Tomando en cuenta lo anterior, las hipótesis, en las cuales se apoya el modelo decisional utilizado para efectos de la metodología propuesta, son las siguientes:

- modelo decisional de tipo aditivo.
- cada par de atributos considerados preferencialmente independientes.
- no se considera la incertidumbre en el problema.

En la metodología, la determinación de prioridades para un conjunto de programas de inversión

o proyectos, se obtiene considerando dos objetivos básicos:

- el *impacto de desarrollo económico* asociado a los proyectos.
- el *impacto de desarrollo social* asociado a los mismos.

Para lo anterior, las acciones o proyectos de inversión pueden ser identificados a través de perfiles de desarrollo urbano (para esto se consideró la estructura y contenido de la información captada en el SIDDU).

Una vez conocidos dichos perfiles, a través de agregaciones se obtiene el perfil medio correspondiente a cada localidad o conjuntos de ellas.

Por último, se obtiene una tabla que refleja el orden prioritario de cada proyecto para diferentes políticas de desarrollo.

En la parte final de este trabajo se presenta una aplicación de la metodología, considerando para ello un conjunto de *proyectos ficticios*.

El problema que se analiza consiste en la evaluación y jerarquización de cinco proyectos de inversión en materia de desarrollo urbano y considera un conjunto de quince centros de población. Para esto se muestra el nivel actual de desarrollo socioeconómico (definido en base a 10 indicadores) de cada centro de población.

Asimismo, se presentan las funciones de valor de los indicadores usados en el análisis del problema, así como los vectores de ponderación económica y social.

Por último, la aplicación de la metodología con la información antes mencionada, reduce en una tabla de resultados que muestra el orden prioritario de cada proyecto para diferentes políticas de desarrollo.

En la parte final del trabajo, se presenta un Anexo, en el cual se explica brevemente las características generales y usos actuales del SIDDU, así como un *questionario de campo típico*, que se aplica a cada centro de población incluido en el sistema, por medio del cual se recopila la información, base del Sistema.

2. EL PROBLEMA DE LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE DESARROLLO URBANO (UN PROBLEMA DE OBJETIVOS MÚLTIPLES)

Una dificultad que se presenta durante el proceso de evaluación es la de comparar entre sí diferentes alternativas o programas de desarrollo, que redundan en consecuencias de muy diversa naturaleza. ¿Cómo se podría comparar por ejemplo, dos proyectos de inversión para un centro de población, uno de los cuales dirigido fundamentalmente a programas educativos y otro a servicios de salud pública? ¿Cómo se podría establecer que el plan P_1 , con el cual se logra atender I_1 (P_1) alumnos e I_2 (P_1) pacientes, es más conveniente que el plan P_2 con el cual se satisface la demanda de I_1 (P_2) alumnos e I_2 (P_2) pacientes?

Si además se considera un mayor número de alternativas enfocadas a la satisfacción de diversas necesidades (como podría ser: agua potable, drenaje, pavimentación, mercados, etc.), y dirigidas no solamente a un centro de población, sino a un gran número de ellos, la complejidad del problema se vuelve evidente.

Es claro que la situación ideal sería la de maximizar simultáneamente los beneficios generados por cada proyecto, sin embargo, por razones obvias esto no se puede lograr sin elevar también el costo incurrido al proporcionar los servicios en cuestión. Ante restricciones de tipo presupuestal, es necesario sacrificar la consecución de algunos objetivos por la de otros, y seleccionar aquel curso de acción que él o los decisores consideren como el mejor para el presupuesto disponible.

En el contexto de la planeación urbana, los objetivos involucrados se miden por medio de atributos no directamente comparables entre sí, y por lo tanto, es necesario establecer metodologías para efectuar racionalmente las comparaciones requeridas y para cuantificar la importancia relativa de los objetivos múltiples que se pretenden lograr.

Para la solución práctica de este tipo de problemas, se han desarrollado varios métodos, los cuales redundan en respuestas aproximadas, pero útiles desde el punto de vista de aplicaciones reales.

2.1 EL PROBLEMA DE OBJETIVOS MÚLTIPLES PARA EL CASO DE DOS ATRIBUTOS

El problema anterior se puede visualizar fácilmente para el caso de dos dimensiones, es decir, cuando sólo se tiene dos objetivos:

Sea I_1 un índice que representa una medida del objetivo *proporcionar servicios de esparcimiento* a los habitantes de algún centro de población en particular (I_1 expresado como el "número de metros cuadrados de parques por habitante", "número de campos deportivos construidos", "número de asientos de cine por habitante", etc.) o la una medida de efectividad de un segundo

objetivo: *proporcionar servicios de salud pública* a los habitantes del centro de población en cuestión (I_2 expresado como "número de habitantes por médico", "número de camas de hospital por habitante", etc.).

Las diferentes alternativas (o proyectos de inversión) dirigidos hacia la satisfacción de tales objetivos, generarán diferentes pares de valores para los anteriores índices, los cuales se pueden graficar en un sistema coordenado I_1, I_2 , tal y como se muestra en la Fig. 1.

En la figura, si $\underline{I}(P_1) = (I_1(P_1), I_2(P_1))$ representa el vector de *efectividad* correspondiente al proyecto P_1 , puede observarse que la alternativa P_1 (cuya medida de efectividad asociada es $\underline{I}(P_1)$) resulta ser más atractiva que la P_2 , dado que con la primera se logra un mayor nivel de salud pública y se tiene el mismo grado de beneficio en cuanto a esparcimiento. Se dice entonces que $\underline{I}(P_1)$ *domina* a $\underline{I}(P_2)$ o bien que el proyecto P_1 *domina* al proyecto P_2 .

Sin embargo, la comparación entre los proyectos P_1 y P_2 no resulta sencilla, dado que en general, los indicadores I_1 e I_2 no pueden compararse directamente.

El conjunto de proyectos que no son dominados definen la curva \underline{I} (ver Fig. 1). Dicha curva se conoce como *frontera eficiente* y representa la frontera del conjunto de proyectos factibles. Cualquier punto localizado por arriba de la curva \underline{I} represente una *solución no factible*, y por consiguiente, los puntos que definen la curva dominan al resto de los puntos (o proyectos) factibles, siendo entonces los más eficientes.

En la misma figura se muestran las llamadas *curvas de indiferencia*, que representan combinaciones de los índices I_1 e I_2 , ante los cuales el decisor resulta ser indiferente.

En general, si se conocen estas curvas, resulta sencillo calcular la equivalencia entre los atributos en cuestión. La hipótesis en este caso es la siguiente: *aquellas combinaciones que se encuentran en alguna curva de indiferencia, como por ejemplo la CI_2 de la Fig. 1, producen un mayor nivel de satisfacción que aquellas combinaciones que se encuentran localizadas a la izquierda y por debajo de la primera, por ejemplo la CI_1 de la misma figura.*

Por lo tanto, la solución del problema está dada por el punto de tangencia entre las curvas de indiferencia y la frontera eficiente. En el caso ilustrado, la solución o alternativa más atractiva, corresponde al proyecto P_4 (ver Fig. 1).

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

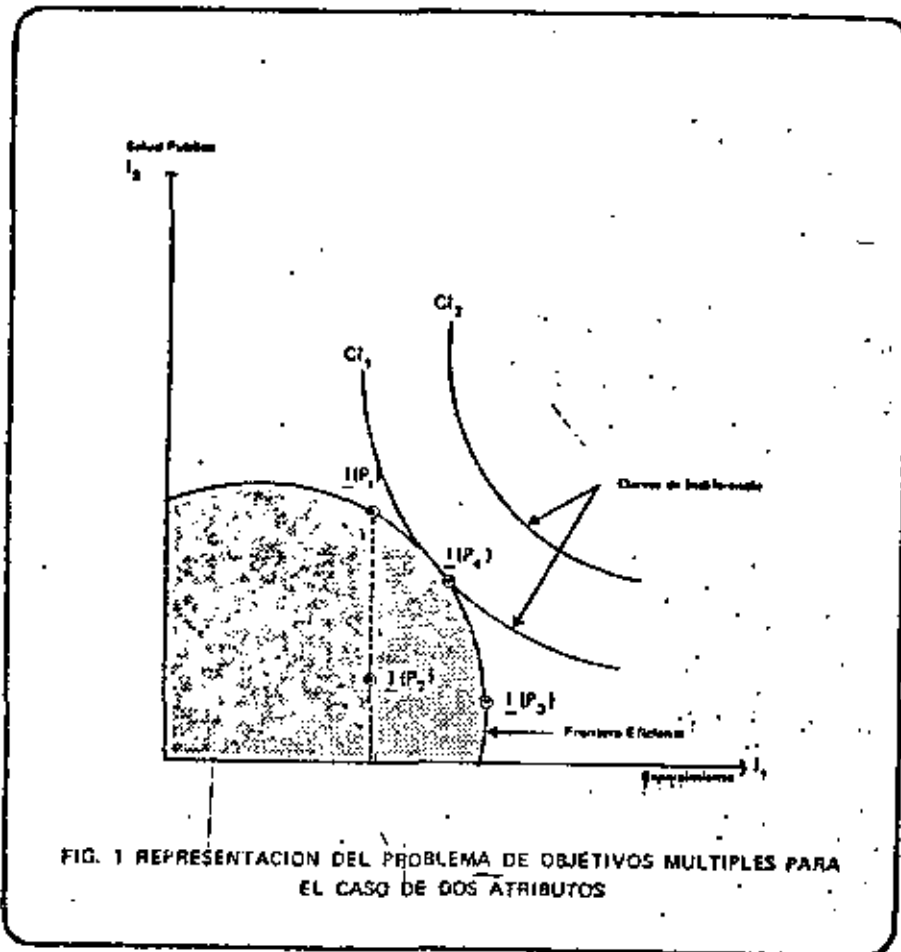


FIG. 1 REPRESENTACION DEL PROBLEMA DE OBJETIVOS MULTIPLES PARA EL CASO DE DOS ATRIBUTOS

Si $I(P_i) = \{I_1(P_i), I_2(P_i), \dots, I_n(P_i)\}$ representan un punto en el espacio de evaluación, entonces el problema consistirá en asignarle a dicho punto una medida de la eficiencia global del proyecto que representa. Para esto, será necesario (como se verá más adelante) cuantificar la importancia relativa de cada uno de los atributos y posteriormente, combinar las medidas de efectividad correspondientes.

En la mayoría de los casos el problema dista mucho de ser un problema sencillo, pues aún en el caso de dos atributos, no es fácil obtener las curvas de indiferencia. Obviamente, para el caso de más de dos atributos, el problema se complica aún más.

Sin embargo, para la solución práctica de este tipo de problemas, se han desarrollado varios métodos, los cuales redundan en respuestas *aproximadas*, pero *útiles* desde el punto de vista de las aplicaciones reales.

2.2 PERFILES DE EFICIENCIA. EL CASO DE TRES OBJETIVOS

Para efectos de ilustración, considérese la evaluación de diferentes planes de inversión para desarrollar los siguientes aspectos en un centro de población específico:

1. Servicios Urbanos: agua potable, drenaje, energía eléctrica, etc.
2. Equipamiento Urbano: educación, salud, mercados, instalaciones deportivas, etc.
3. Condiciones del desarrollo urbano: carreteras, pavimentos, líneas de autobuses, etc.

(se debe mencionar, que en realidad el problema es mucho más complejo, ya que deben considerarse más categorías y la asignación de recursos para cada clase de servicios en cada categoría, constituye a su vez, otro problema de objetivos múltiples, por simplicidad se exponen sólo los aspectos anteriormente mencionados).

Suponiendo como objetivos globales los de *obtener el máximo nivel de desarrollo* (satisfacción de demanda de cada uno de los aspectos anteriores, el problema de evaluación de diferentes proyectos se puede modelar en tres dimensiones.

Si se define una *medida de efectividad* I_j ($j=1,2,3$) para cada uno de los objetivos, las alternativas de inversión P_i ($i=1,2,\dots,m$) se pueden calificar por medio de sus *perfiles de eficiencia*, los cuales no son más que una representación gráfica de los valores que toman los índices I_j ($i=1$). En la Fig. 2 se muestran, de manera esquemática, los *perfiles de eficiencia* para tres alternativas.

De la figura puede observarse que las alternativas P_1 y P_2 dominan a P_3 pero de las dos primeras no se sabe cuál es la mejor.

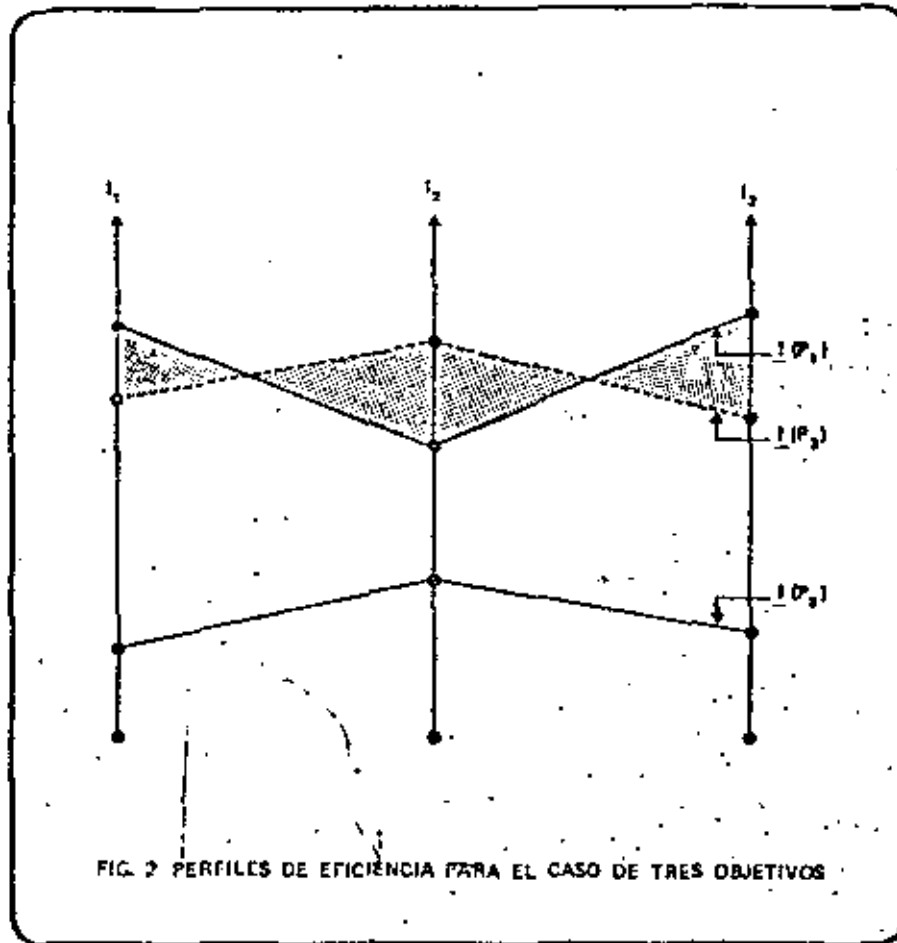


FIG. 2 PERFILES DE EFICIENCIA PARA EL CASO DE TRES OBJETIVOS

2.3 LA TEORÍA DE DECISIONES EN LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE DESARROLLO URBANO.

La decisión correspondiente al problema que se menciona en el punto anterior, se puede obtener teóricamente, utilizando técnicas desarrolladas en el campo de la *Teoría de la Utilidad*, pero en la actualidad se tienen dificultades para la implementación formal de las soluciones propuestas.

Sin embargo, en forma paralela se han venido desarrollando algunos métodos prácticos, los cuales se apoyan en diferentes *hipótesis simplificatorias*:

cada par de atributos son *preferencialmente independientes*¹ reduciéndose, por lo tanto, el modelo a uno de *tipo aditivo* en el cual se establece que el "valor" que se puede asociar a cada proyecto P_i : $V(I_i, P_i)$, se puede expresar como una combinación convexa del valor de cada atributo: $V(I_j, P_i)$, ponderada por un valor λ_j que refleje su *importancia relativa* con respecto a los demás atributos.

Es decir:

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

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

donde p es el número de indicadores involucrados.

2.3.1 OBTENCIÓN DE LA FUNCIÓN DE VALOR (LA TÉCNICA DE LOS VALORES MEDIOS)

Las funciones $V(I_j, \cdot)$ miden el valor que representan cambios marginales en cada uno de los atributos y reflejan la estructura de preferencias del decisor. Estas funciones se pueden obtener de manera relativamente sencilla por medio de la técnica conocida como de *valores medios*.

Para ilustrar dicha técnica, se discute un ejemplo en el cual, durante el proceso de evaluación se considera el servicio de agua potable y se contemplan varias alternativas de desarrollo del servicio en una cierta localidad tomando en cuenta de manera explícita, la posibilidad de "no inversión".

1. Se dice que dos atributos son *preferencialmente independientes*, si los cambios marginales de un atributo y para "mantener" cambios asociados en otro indicador I_j que interpretamos de los valores de cambio tomar los valores marginales.

Para acotar la función del valor del servicio en cuestión, se asignó de manera arbitraria el valor 0 al nivel más desfavorable desde el punto de vista de desarrollo (en este caso, asociado con la alternativa de "no inversión"), y el valor 1 al nivel de desarrollo más favorable.

Por ejemplo, si el nivel de desarrollo se mide a través del atributo "porcentaje de población beneficiada" y la alternativa P_1 ofrece el indicador más favorable con $I(P_1) = 40\%$ entonces, $V(I(P_1)) = 1$, como se muestra en la Fig. 3.

Los valores intermedios de la función de valor se pueden leer por medio de juicios de preferencia del decisor.

Es decir, si por ejemplo el decisor resulte ser indiferente con el cambio de $I = 0\%$ a $I = 10\%$, que con el cambio de 10% a 40% , entonces el valor correspondiente para el nivel $I = 10\%$ es $V(I = 10\%) = 0.5$ (el cual representa el valor medio de la función de valor).

El procedimiento anterior se puede repetir, considerando ahora los niveles $\{I = 0\%, I = 10\%\}$ a $\{I = 10\%, I = 40\%\}$, para obtener un nuevo par de niveles del indicador, por ejemplo, $I = 5\%$ a $I = 20\%$ con valores $V(I = 5\%) = 0.25$ y $V(I = 20\%) = 0.75$.

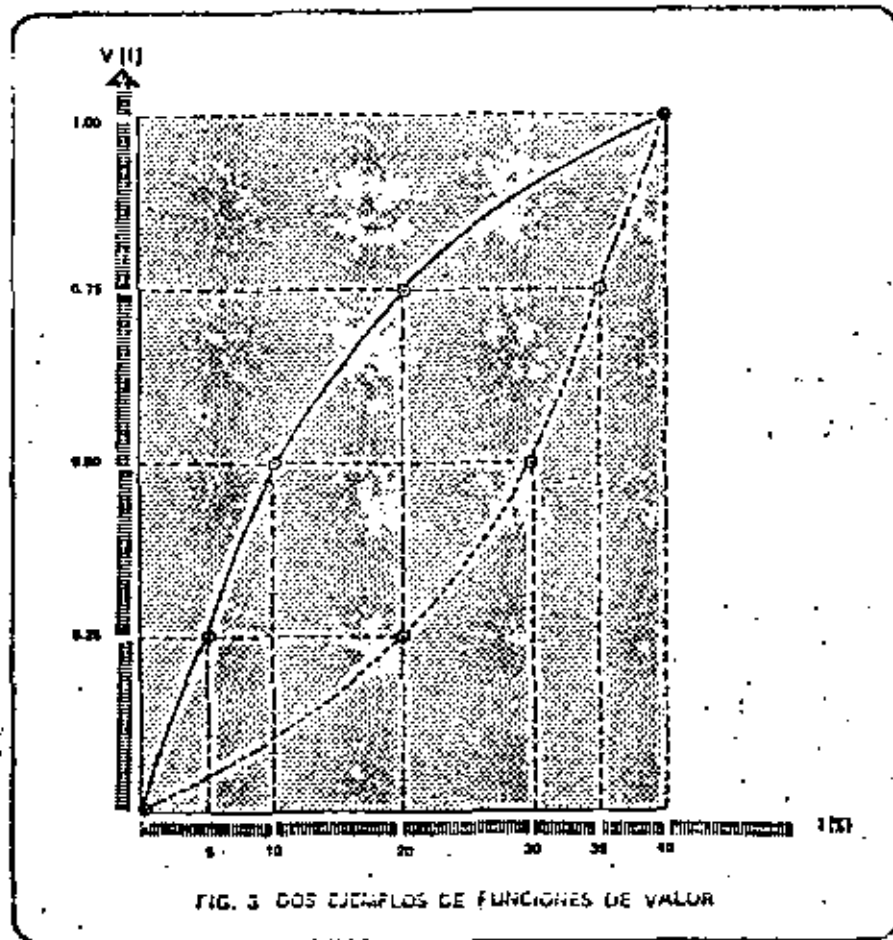
Si se repite este procedimiento para intervalos cada vez más pequeños, se pueden definir curvas o funciones de valor como las mostradas en la Fig. 3. En dicha figura, la línea llena corresponde al ejemplo anterior y la otra resultaría si en lugar de las cantidades $\{5, 10, 20, \dots\}$ se hubiesen los niveles $\{20, 30, 35, \dots\}$.

En la ilustración se supone un comportamiento monótonico en las preferencias, aunque esto no necesariamente tiene que ser así.

2.3.2 OBTENCIÓN DEL VALOR DE LOS PARÁMETROS λ .

Una vez obtenido las funciones del valor $V(\cdot)$ para cada atributo, resulta necesario medir la importancia relativa de las mismas, es decir, los valores de las λ_j en la ecuación (2.1) para poder emplear esta última y así obtener el valor global o medida de eficiencia de cada proyecto de inversión.

Los valores de las constantes λ_j se pueden obtener resolviendo un sistema de ecuaciones lineales cuyas n incógnitas son los valores de las constantes λ_j . Una de dichas ecuaciones es la expresión (2.2), y las $n-1$ ecuaciones restantes se generan definiendo puntos de indiferencia para pares de atributos.



Por ejemplo, si se consideran los atributos: salud, educación, pavimentación y agua potable y a tales atributos se le asocian los índices I_1, I_2, I_3 e I_4 respectivamente, una de las cuatro ecuaciones requeridas en este caso se puede obtener definiendo el valor del índice I_3 que hace el decisor indiferente entre los perfiles:

$$[I_1 (\text{mín}), I_2 (\text{máx}), I_3 (\text{mín}), I_4 (\text{mín})]$$

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

donde $I_1 (\text{mín})$ e $I_2 (\text{máx})$ representan los niveles de desarrollo menos favorable y más favorable del indicador I_3 , respectivamente.

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

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

Es decir, se obtiene la equivalencia entre los atributos: educación y pavimentación. La expresión (2.3) es una ecuación necesaria para el cálculo de los λ_j .

De manera similar se obtienen el resto de las ecuaciones, las cuales, junto con la restricción de que los λ_j deben sumar uno (Ec. 2.2), definen el sistema lineal a resolver.

Una vez obtenidas las medidas de importancia relativa de los atributos bajo consideración, se puede proceder a calcular los valores globales de cada alternativa de inversión por medio de la expresión (2.1).

Los valores así asignados permiten establecer finalmente, un orden jerárquico entre dichas alternativas, completando de esta manera el proceso de evaluación.

En el siguiente capítulo se presenta una metodología basada en las ideas ilustradas, la cual ha sido diseñada para la definición de prioridades de proyectos de inversión en materia de desarrollo urbano.

3. METODOLOGIA PARA EVALUAR PROYECTOS DE DESARROLLO URBANO

La metodología que a continuación se presenta, permite definir prioridades de inversión en materia de desarrollo urbano para un conjunto de acciones concretas y programas de desarrollo en centros de población.

Para lo anterior, se determina para cada centro de población y mediante una serie de indicadores, los perfiles de desarrollo urbano¹ asociados con las acciones o proyectos de inversión.

Una vez conocidos dichos perfiles se obtiene, a través de un proceso de agregación, el perfil medio correspondiente a cada localidad o conjunto de ellas.

Por otro lado, al definirse diversas políticas urbanas de desarrollo, es factible elaborar perfiles ideales para el conjunto (y de ser posible para cada localidad), y de esta manera derivar acciones concretas dirigidas hacia su logro.

Por último, se obtiene una tabla que refleja el orden prioritario de cada proyecto, para diferentes políticas de desarrollo.

3.1 ANALISIS DEL IMPACTO DEL PROYECTO DE INVERSION

La bondad asociada con un proyecto de desarrollo urbano, puede calificarse desde dos puntos de vista:

- Impacto social
- Impacto económico

Por ejemplo, un proyecto que resulte en un incremento en la dotación de agua potable en un centro de población, redundará en un mayor nivel de salud para los habitantes beneficiados. Esto último propiciará un mejor nivel de capacidad productiva en el renglón económico de la población y, por lo tanto, el proyecto tendrá un impacto positivo en el desarrollo económico de la comunidad.

¹ Para más información al contenido y estructura de la información recolectada en el Sistema de Información de Desarrollo Urbano para el Conservador Latinoamericano, ver Anexo.

Por ejemplo, si se consideran los atributos: salud, educación, pavimentación y agua potable y a tales atributos se le asocian los índices I_1 , I_2 , I_3 e I_4 respectivamente, una de las cuatro ecuaciones requeridas en este caso se puede obtener definiendo el valor del índice I_3 que hace al decisor indiferente entre los perfiles:

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

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

donde I_1 (min) a I_1 (max) representan los niveles de desarrollo menos favorable y más favorable del indicador I_1 , respectivamente.

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

$$\lambda_3 = \lambda_2 V[I_3 \text{ (-)}] \quad (2.3)$$

Es decir, se obtiene la equivalencia entre los atributos: educación y pavimentación. La expresión (2.3) es una ecuación necesaria para el cálculo de los λ_j .

De manera similar se obtienen el resto de las ecuaciones, las cuales, junto con la restricción de que los λ_j deben sumar uno (Ec. 2.2), definen el sistema lineal a resolver.

Una vez obtenidas las medidas de importancia relativa de los atributos bajo consideración, se puede proceder a calcular los valores globales de cada alternativa de inversión por medio de la expresión (2.1).

Los valores así asignados permiten establecer finalmente, un orden jerárquico entre dichas alternativas, completando de esta manera el proceso de evaluación.

En el siguiente capítulo se presenta una metodología basada en las ideas ilustradas, la cual ha sido diseñada para la definición de prioridades de proyectos de inversión en materia de desarrollo urbano.

3. METODOLOGIA PARA EVALUAR PROYECTOS DE DESARROLLO URBANO

La metodología que a continuación se presenta, permite definir prioridades de inversión en materia de desarrollo urbano para un conjunto de acciones concretas y programas de desarrollo en centros de población.

Para lo anterior, se determina para cada centro de población y mediante una serie de indicadores, los perfiles de desarrollo urbano¹ asociados con las acciones o proyectos de inversión.

Una vez conocidos dichos perfiles se obtiene, a través de un proceso de agregación, el perfil medio correspondiente a cada localidad o conjunto de ellas.

Por otro lado, al definirse diversas políticas urbanas de desarrollo, es factible elaborar perfiles ideales para el conjunto (y de ser posible para cada localidad), y de esta manera derivar acciones concretas dirigidas hacia su logro.

Por último, se obtiene una tabla que refleja el orden prioritario de cada proyecto, para diferentes políticas de desarrollo.

3.1 ANALISIS DEL IMPACTO DEL PROYECTO DE INVERSION

La bondad asociada con un proyecto de desarrollo urbano, puede calificarse desde dos puntos de vista:

- Impacto social
- Impacto económico

Por ejemplo, un proyecto que resulta en un incremento en la dotación de agua potable en un centro de población, redundará en un mayor nivel de salud para los habitantes beneficiados. Esto último propiciará un mejor nivel de capacidad productiva en el renglón económico de la población y, por lo tanto, el proyecto tendrá un impacto positivo en el desarrollo económico de la comunidad.

¹ Para más detalles de la metodología y estructura de la información recolectada en el Sistema de Información de Desarrollo Urbano consultar el Documento Técnico (SICDU), Ver Anexo.

Por otro lado, el mismo proyecto generará mayor tranquilidad y bienestar entre los habitantes beneficiados, lo cual implica un impacto positivo en cuanto al desarrollo social de la comunidad.

Dichos impactos se medirán considerando el efecto marginal de los proyectos en estudio, de acuerdo a los datos contenidos en los bancos de información del SIDDU.

Para esto se utilizarán como parámetros de desarrollo, algunas características de desarrollo urbano de los centros de población analizados.

Las características o atributos considerados en este trabajo, se muestran en la Tabla 1.

En base a la información anterior se puede obtener, para cada centro de población (CP) en cuestión un vector:

$$EA(a)_i = \{ EA(a)_{i,1}, EA(a)_{i,2}, \dots, EA(a)_{i,10} \}$$

que refleja el estado actual de los indicadores de desarrollo urbano en dicha población.

El j-ésimo componente del vector anterior $(EA(a)_{i,j})$, estará dado por la asignación numérica o alfanumérica, correspondiente al j-ésimo indicador de la Tabla 1, para el i-ésimo centro de población.

Una vez obtenido los vectores anteriores para todos los centros de población, se puede definir una matriz $\{EA(a)\}$ que representa el estado actual de desarrollo urbano del conjunto de localidades bajo estudio (como se muestra en la Tabla 2).

La matriz $\{EA(a)\}$ servirá como base para calificar el impacto generado por cada proyecto o programa de inversión, el cual se determinará tomando en cuenta los cambios ocasionados por las inversiones en la estructura de dicha matriz.

En el análisis que a continuación se presenta, se considera un conjunto de n centros de población CP_1, CP_2, \dots, CP_n y un conjunto de m proyectos¹ de inversión P_1, P_2, \dots, P_m .

A cada proyecto P_k se le puede asociar una matriz $\{EA(k)\}$ que refleje la estructura de desarrollo urbano, para el conjunto de localidades en cuestión, resultante de la inversión requerida por el proyecto. Es decir, el elemento $EA(k)_{i,j}$ de la matriz $\{EA(k)\}$, estará dado por la asignación numérica o alfanumérica del nivel de desarrollo del j-ésimo indicador y el i-ésimo centro de población generado por el proyecto P_k .

1. La numeración de los proyectos debe estar vinculada por los números correspondientes en la Tabla 1.

TABLA 1 INDICADORES DE DESARROLLO URBANO CONSIDERADOS EN LOS ANALISIS

No.	CONCEPTO	INDICADOR
1	AGUA POTABLE	% de la población carente del servicio
2	DRENAJE	% de la población carente del servicio
3	ACCESO POR CARRETERA PAVIMENTADA	Número de carreteras
4	EDUCACION PRIMARIA	% de la población de 7-14 años que asiste a la escuela
5	LINEAS DE AUTOBUSES QUE TOCAN LA LOCALIDAD	Número de líneas
6	MERCADOS	Número de m ² construidos por cada 100 h.
7	RASTROS	Extensión y estado
8	PAVIMENTACION	% superficie del centro de población carente del servicio
9	MEDICOS	Número de habitantes por médico
10	CORREOS	Existencia del servicio

TABLA 2. MATRIZ DE ESTADO ACTUAL DE LOS INDICADORES DE DESARROLLO URBANO PARA UN CONJUNTO DE LOCALIDADES

Centro de Población	INDICADOR									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CP ₁	EA(i) _{1,1}	EA(i) _{1,2}	EA(i) _{1,3}	EA(i) _{1,4}	EA(i) _{1,5}	EA(i) _{1,6}	EA(i) _{1,7}	EA(i) _{1,8}	EA(i) _{1,9}	EA(i) _{1,10}
CP ₂	EA(i) _{2,1}	EA(i) _{2,2}	EA(i) _{2,3}	EA(i) _{2,4}	EA(i) _{2,5}	EA(i) _{2,6}	EA(i) _{2,7}	EA(i) _{2,8}	EA(i) _{2,9}	EA(i) _{2,10}
CP ₃	EA(i) _{3,1}	EA(i) _{3,2}	EA(i) _{3,3}	EA(i) _{3,4}	EA(i) _{3,5}	EA(i) _{3,6}	EA(i) _{3,7}	EA(i) _{3,8}	EA(i) _{3,9}	EA(i) _{3,10}
CP ₄	EA(i) _{4,1}	EA(i) _{4,2}	EA(i) _{4,3}	EA(i) _{4,4}	EA(i) _{4,5}	EA(i) _{4,6}	EA(i) _{4,7}	EA(i) _{4,8}	EA(i) _{4,9}	EA(i) _{4,10}

Finalmente bajo el esquema ilustrado en el capítulo anterior, deberá definirse la siguiente información:

- Una función de valor para cada atributo¹ EA_{i,j} de la matriz de indicadores de desarrollo urbano (correspondientes al j-ésimo atributo en el i-ésimo centro de población):

$$V[EA(i)_{j}] = v(i)_{j}$$

que permita transformar los posibles estados (medidos en escala numérica o alfanumérica) del elemento EA_{i,j} a valores numéricos (entre 0 y 1), que representen la estructura de preferencias del decisor entre los diferentes estados del atributo en cuestión.

- Un vector de coeficientes de ponderación de desarrollo económico:

$$\alpha_i = [\alpha_{i,1}, \alpha_{i,2}, \dots, \alpha_{i,10}]$$

cuyos elementos expresan la importancia relativa de los atributos EA_{i,j} (j = 1, 10) con respecto al desarrollo económico del i-ésimo centro de población.

- Un vector de coeficientes de ponderación de desarrollo social:

$$\beta_i = [\beta_{i,1}, \beta_{i,2}, \dots, \beta_{i,10}]$$

cuyos elementos expresan la importancia relativa de los atributos con respecto al desarrollo social del centro de población considerado.

Con la información anterior² se pueden definir los siguientes valores para cada proyecto de inversión:

1. El valor del nivel de desarrollo económico generado por el proyecto P_n³:

$$VDE(P_n) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{10} \alpha_{i,j} v(i)_{j}}{n} \tag{3.1}$$

1. La notación EA(i)_j se refiere a valores específicos que toma el indicador i.
 2. Con el objeto de facilitar una escala de valores entre 0 y 1, los elementos de los vectores α_i y β_i deben cumplir las siguientes restricciones:

$$\sum_{j=1}^{10} \alpha_{i,j} = 1 \quad \sum_{j=1}^{10} \beta_{i,j} = 1$$

 3. La notación por n se considera con el objeto de mantener una escala de valores entre 0 y 1.

2. El valor del nivel de desarrollo social generado por el proyecto P_k :

$$VDS(P_k) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \beta_{ij} v(k)_{i,j}}{n} \quad (3.2)$$

En las fórmulas anteriores, si el proyecto "no inversión" se le denota por P_0 , los valores asociados $VDE(P_0)$ y $VDS(P_0)$ corresponderán con los valores del nivel actual de desarrollo.

Por otra parte, estas expresiones contemplan la posibilidad de que un proyecto tenga impacto, no solamente sobre diferentes atributos en un mismo centro de población, sino también en atributos correspondientes a diferentes centros de población.

De todo lo anterior se observa que la situación ideal sería la obtención de valores $VDE(P_k) = VDS(P_k) = 1$. Sin embargo, en la realidad, dichos valores distarán mucho de tal valor ideal.

El rango comprendido entre los valores reales y el valor ideal, dependerá del estado de desarrollo del conjunto de localidades en estudio. Tal rango establece el potencial de impacto para cada proyecto de inversión.

Si se tiene por ejemplo, que $VDS(P_k) = 0.3$, puede decirse que el potencial de impacto social, en este caso, es del 70 %.

De esta manera, para cada proyecto P_k , pueden calcularse índices de impacto económico y social por medio de las expresiones siguientes:

$$IEE(P_k) = \frac{VDE(P_k) - VDE(P_0)}{1 - VDE(P_0)} \cdot C \quad (3.3)$$

$$IES(P_k) = \frac{VDS(P_k) - VDS(P_0)}{1 - VDS(P_0)} \cdot C \quad (3.4)$$

donde (C) es una constante de proporcionalidad.

Debe notarse que el valor resultante, al calcular estos índices, será en general un número pequeño, dada la naturaleza de las variables. El valor constante C, tiene como finalidad única, la obtención de resultados más manejables y claros y no influye en la jerarquización de los proyectos.

Finalmente, con el objeto de considerar el monto de inversión requerida por cada proyecto o programa ($I(P_k)$), se pueden definir los siguientes indicadores de impacto por inversión requerida (o índices de eficiencia):

$$IEE(P_k) = \frac{IEE(P_k)}{I(P_k)} \quad (3.5)$$

$$IES(P_k) = \frac{IES(P_k)}{I(P_k)} \quad (3.6)$$

3.2 MODELO PARA JERARQUIZAR UN CONJUNTO DE PROYECTOS DE INVERSIÓN

Diferentes proyectos tendrán asociados, generalmente, diferentes pares de valores de los índices $IEE(-)$ e $IES(-)$, los cuales pueden graficarse en un sistema coordinado $IEE(-)$, $IES(-)$ como se ilustra en la Fig. 4.

Si $\underline{I}(P_k) = [IEE(P_k), IES(P_k)]$ representa el vector de eficiencia correspondiente al proyecto P_k , de la figura puede verse, que para el caso ilustrado, el conjunto de proyectos $\{P_1, P_2, P_3, P_4, P_5\}$ representa la frontera eficiente \underline{I} , ya que cualquier punto por debajo de ésta, se encuentra dominado cuando menos por un punto sobre dicha frontera.

La selección del "mejor" de los proyectos que se encuentra en la frontera eficiente, no puede hacerse directamente de la Fig. 4. No obstante, para dichos proyectos pueden obtenerse indicadores globales de eficiencia, aplicando una función de valor a cada punto $\underline{I}(P_k)$ en la curva \underline{I} .

Para esto es necesario, en primer lugar, cuantificar la importancia relativa de cada indicador de eficiencia y posteriormente asignar a cada indicador una función de valor.

De esta forma, es posible definir el valor global de cada proyecto: $V[\underline{I}(P_k)]$, el cual se puede definir como la combinación lineal del valor de los indicadores $V[IEE(P_k)]$ y $V[IES(P_k)]$ y de su coeficiente de importancia relativa ϕ_1 y ϕ_2 :

$$V(I(P_k)) = \phi_E V(IEE(P_k)) + \phi_S V(IES(P_k)) \quad (3.7)$$

donde:

$$V(IEE(P_k)) = \frac{IEE(P_k)}{\sum_{i=1}^n IEE(P_i)}$$

$$V(IES(P_k)) = \frac{IES(P_k)}{\sum_{i=1}^n IES(P_i)}$$

$$\phi_E + \phi_S = 1 \quad (3.8)$$

La determinación de $V(IEE(\cdot))$ y $V(IES(\cdot))$ se hace para cada proyecto P_i .

Los valores ϕ_E y ϕ_S representan la importancia relativa que el decisor da a cada indicador y pueden estimarse de manera subjetiva, estableciendo diferentes valores que contemplan diferentes políticas de desarrollo a criterio del decisor.

Una vez definido los proyectos que forman la frontera eficiente, se calcula el valor $V(I(\cdot))$ asociado a cada uno de ellos. Aquel proyecto que resulte con el máximo valor, será el "mejor" sobre la curva.

Debe hacerse notar que si el problema de interés es únicamente el de encontrar el "mejor" proyecto, la obtención de la frontera eficiente es relevante, ya que aquellos proyectos que se encuentran por debajo de la misma pueden ser eliminados y el análisis subsiguiente se limita a los proyectos "eficientes".

Sin embargo, para obtener la jerarquización del conjunto completo de proyectos, cada uno de ellos debe ser analizado, es decir, el valor $V(I(\cdot))$ debe obtenerse para todos los proyectos y los valores resultantes determinarán su orden de importancia.

El primer proyecto de la lista será aquel con el valor máximo asociado y así sucesivamente. De esta manera se obtiene como resultado la clasificación de los proyectos por orden de importancia.

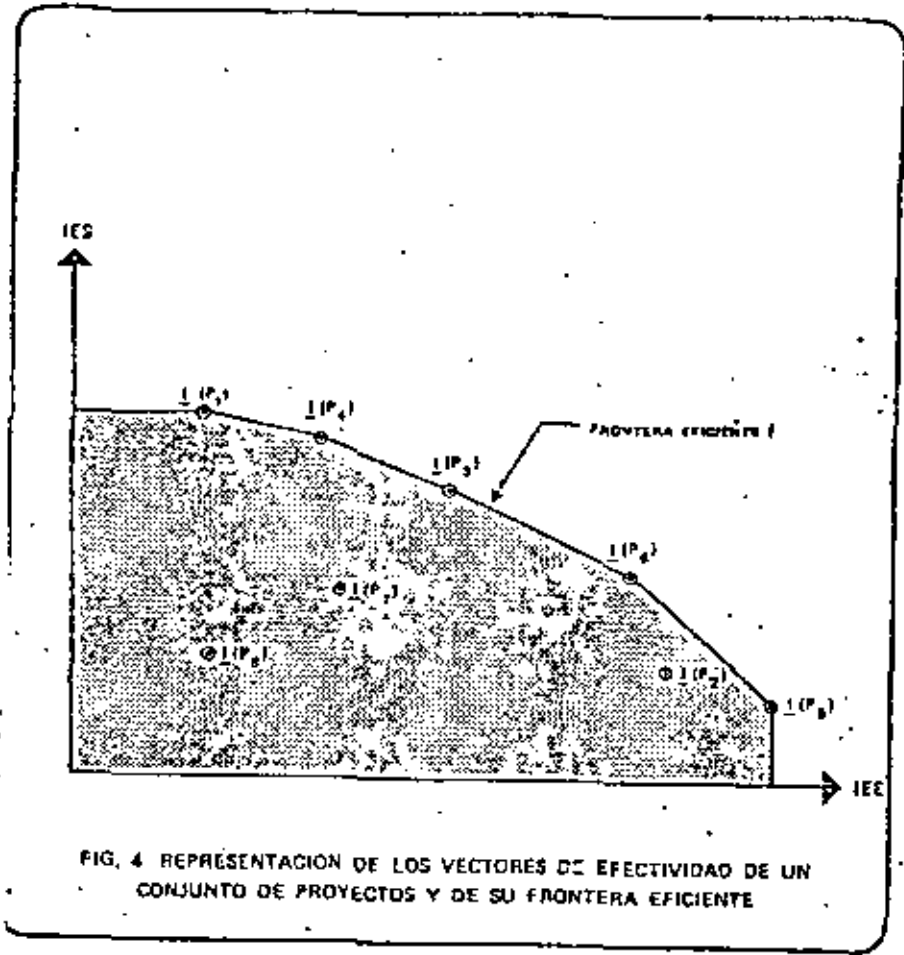


FIG. 4 REPRESENTACION DE LOS VECTORES DE EFECTIVIDAD DE UN CONJUNTO DE PROYECTOS Y DE SU FRONTERA EFICIENTE

3.3 ALGORITMO DEL PROCESO DE EVALUACIÓN

En la tabla 3 se muestra la secuencia a seguir en el proceso de evaluación. Como se puede observar en la tabla, dicho proceso puede separarse en varias fases, las cuales pueden agruparse en dos grandes bloques:

- análisis del estado actual (fase 1 y 2)
- análisis y evaluación de proyectos (fases 3, 4, 5 y 6).

Es claro que la aplicación del proceso implica el mismo procedimiento para cada problema nuevo de evaluación.

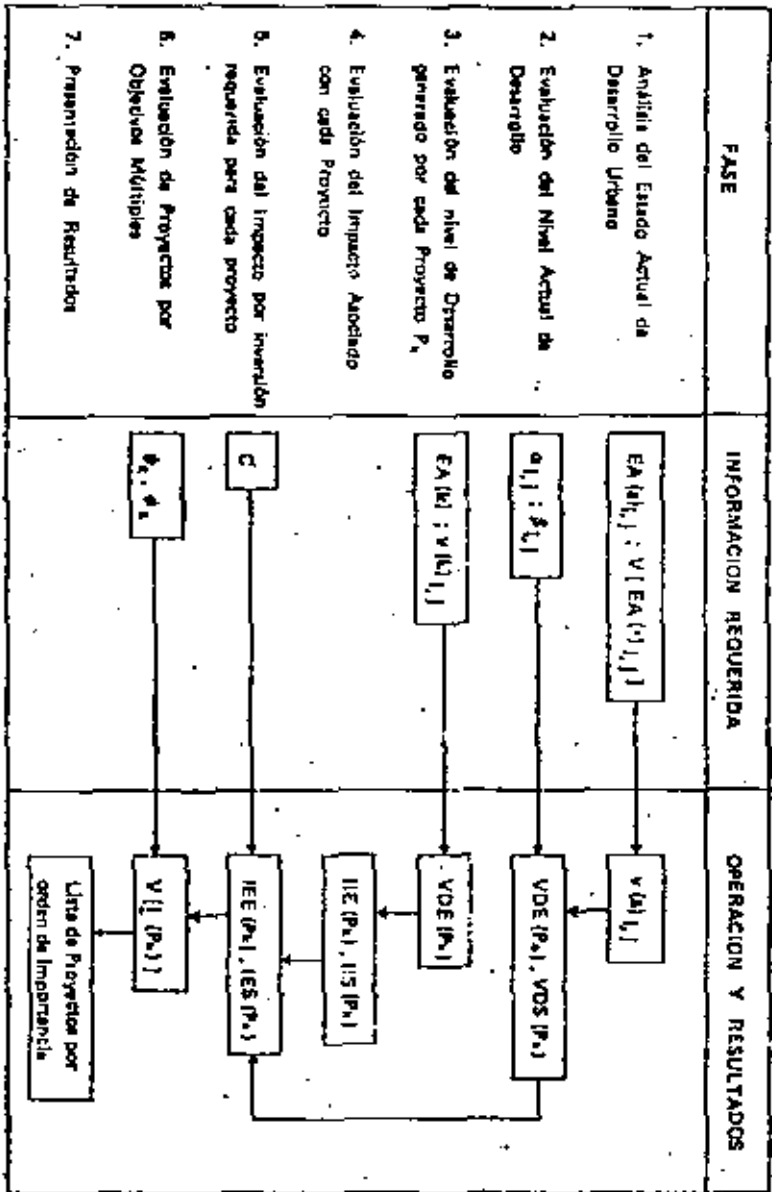


TABLA 3. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE EVALUACION SOCIO-ECONOMICA

4 APLICACION

4.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA

En esta sección se presenta una aplicación de la metodología expuesta en el capítulo anterior para ciertos proyectos (teóricos) diseñados en función de la estructura de la información contenida en el SIOOU.

El problema a analizar, consiste en la evaluación y jerarquización de 5 proyectos de inversión en materia de desarrollo urbano, cuya descripción se muestra en la Tabla 4.

Por otra parte, las Tablas 6 y 7 presentan las Amplitudes de valor de los indicadores a usar en el análisis del problema, las cuales se supusieron iguales para todos los centros de población (excepto en los casos presentados en la Tabla 5, para los cuales se tienen funciones diferentes asociadas con varios rangos de población).

4.2 FASE 1 (ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL DE DESARROLLO)

En la Tabla 5 se muestra el nivel actual de desarrollo socioeconómico (definido en base a los 10 indicadores considerados en la Tabla 1) para 15 centros de población registrados en los bancos de información.

Las Tablas 6 y 7 muestran las funciones de valor usadas durante la evaluación, las cuales se supusieron iguales para todos los centros de población (con las salvedades expuestas en el punto anterior).

De las tablas mencionadas puede obtenerse una matriz, tal que cada uno de sus elementos represente el valor (preferencial) del estado del indicador para cada centro de población. Así por ejemplo, el valor del indicador EA (a)_{1,1} (agua potable en Candelas, ver Tabla 5) indica que un 30% de la población carece de este servicio.

De la Tabla 6 se obtiene que el valor preferencial que corresponde a dicho estado $v(a)_{1,1}$ es igual a 0.7 (ver Tabla 6).

PROYECTO NUMERO	CONCEPTO	CENTRO DE POBLACION	COSTO DEL PROYECTO (milés de pesos)	BENEFICIOS DEL PROYECTO
1	Agua Potable	Las Margaritas	300	1 BDR haba.
2	Medicos	Pase Aho	200	800 haba.
3	Escuelas	Santa Cecilia	280	250 alum.
4	Agua Potable	La Botza	325	600 haba.
5	Drenaje	San José de la Cal	350	2 500 haba.

TABLA 4. EJEMPLOS DE PROYECTOS DE INVERSION

POBLACION NO ATENDIDA (Número de habitantes)				VALOR
5 001 o más	15 001 o más	25 001 o más	75 001 o más	0.0
3 501 - 5 000	10 001 - 15 000	20 001 - 25 000	65 001 - 75 000	0.1
3 301 - 3 500	7 501 - 10 000	17 001 - 20 000	60 001 - 65 000	0.2
3 001 - 3 300	6 001 - 7 500	16 001 - 17 000	55 001 - 60 000	0.3
2 501 - 3 000	5 001 - 6 000	15 001 - 16 000	50 001 - 55 000	0.4
2 001 - 2 500	4 001 - 5 000	12 001 - 15 000	40 001 - 50 000	0.5
1 501 - 2 000	3 001 - 4 000	9 001 - 12 000	30 001 - 40 000	0.6
1 001 - 1 500	2 001 - 3 000	6 001 - 9 000	20 001 - 30 000	0.7
501 - 1 000	1 001 - 2 000	3 001 - 6 000	10 001 - 20 000	0.8
51 - 500	101 - 1 000	301 - 3 000	1 001 - 10 000	0.9
Menos de 51	Menos de 101	Menos de 301	Menos de 1001	1.0

2 500 - 3 000	5 001 - 15 000	15 001 - 50 000	50 000 - 300 000
---------------	----------------	-----------------	------------------

RANGO DE POBLACION

TABLA 6. FUNCIONES DE VALOR PARA LOS POSIBLES ESTADOS DE LOS INDICADORES:
AGUA POTABLE, DRENAJE Y PAVIMENTACION

Centro de Población	INDICADORES ¹										Número de Habitantes
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1 Candelías	30	0	4	85	2	38.1	-	90	4 100	si	22 900
2 Las Margaritas	60	90	1	97	3	0	-	65	1 800	si	15 700
3 Santa Cecilia	80	10	3	23	1	0	R	32	900	si	7 100
4 San Jorge	50	15	2	87	1	0	M	40	3 300	-	7 000
5 Paso Alto	50	20	1	74	1	0	-	30	2 840	-	6 200
6 Agua Bonita	50	20	1	94	0	0	-	65	2 000	si	5 800
7 Sn. José de la Cal	100	70	2	100	2	14.5	-	55	150	si	6 700
8 Ite Aguada	30	50	2	82	3	17.1	R	100	1 550	si	6 650
9 Sotavento	15	20	2	92	4	12.0	R	100	3 700	si	6 320
10 Bajamita	15	40	1	87	2	2.0	M	25	1 200	-	4 900
11 Laguna Azul	10	35	3	92	1	3.2	-	20	1 000	si	4 750
12 26 de Marzo	0	15	0	77	1	5.1	-	50	4 100	si	4 150
13 Fin de Año	75	50	2	62	2	2.0	B	70	850	si	4 120
14 Champoton	100	50	1	58	1	1.1	R	20	830	si	3 690
15 La Bolita	20	50	1	10	1	3.0	R	15	1 200	si	3 510

¹ 1. Inad. 2. Mala. 3. Regular. 4. Buena. 5. Excelente. 6. Muy Buena. 7. Excelente. 8. Excelente. 9. Excelente. 10. Excelente.

TABLA 5. ESTADO ACTUAL DE LOS INDICADORES DE DESARROLLO EN LAS LOCALIDADES CONSIDERADAS EN EL EJEMPLO

29

Centro de población	INDICADORES ¹									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 Candelas	0.7	1.0	1.0	0.2	0.33	0.9	0.0	0.1	0.1	1.0
2 Las Margaritas	0.8	0.8	0.25	0.4	0.67	0.0	0.0	0.6	0.5	1.0
3 Santa Cecilia	0.4	0.8	0.75	0.1	0.33	0.0	0.7	0.7	0.8	1.0
4 San Jorge	0.6	0.8	0.5	0.3	0.33	0.0	0.4	0.7	0.2	0.0
6 Paso Aho	0.6	0.8	0.25	0.5	0.33	0.0	0.0	0.8	0.3	0.0
6 Agua Bonita	0.7	0.8	0.25	0.4	0.00	0.0	0.0	0.8	0.5	1.0
7 Sn. José de la Cal	0.4	0.6	0.5	0.4	0.33	0.3	0.0	0.6	1.0	1.0
8 Isla Aguada	0.8	0.7	0.5	0.8	0.67	0.4	0.7	0.4	0.5	1.0
9 Soatvento	0.8	0.8	0.5	0.5	0.67	0.3	0.7	0.4	0.2	1.0
10 Bajamita	0.8	0.6	0.25	0.1	0.33	0.1	0.4	0.7	0.7	0.0
11 Laguna Azul	0.8	0.8	0.75	0.1	0.33	0.1	0.0	0.8	0.8	1.0
12 26 de Marzo	1.0	0.8	0.0	0.3	0.33	0.1	0.0	0.5	0.1	1.0
13 Fin de Año	0.3	0.8	0.5	0.4	0.33	0.1	1.0	0.4	0.8	1.0
14 Champoton	0.1	0.6	0.25	0.8	0.33	0.1	0.7	0.8	0.8	1.0
15 La Boña	0.3	0.6	0.25	0.9	0.33	0.1	0.7	0.8	0.7	1.0

1 Ver Tabla 1.

TABLA 6. MATRIZ DE VALORES (PREFERENCIALES) DE LOS INDICADORES DE DESARROLLO

28

VALOR	INDICADORES ¹									
	3	4	5	6	7	8	9	10	10	10
0.0	0	0	0	No existe	No existe	No existe	No existe	No existe	NO	NO
0.1		0.1 - 0.3		1 - 7				Más de 4000		
0.2		0.31 - 0.4		8 - 10				3 001 - 4 000		
0.25	1									
0.3		0.41 - 0.5		11 - 15				2 501 - 3 000		
0.33			1 = 2							
0.4		0.51 - 0.55		16 - 20	Malo			2 001 - 2 500		
0.5	2	0.56 - 0.6		21 - 25				1 501 - 2 000		
0.6		0.61 - 0.65		26 - 30				1 201 - 1 500		
0.67			3 = 4							
0.7		0.66 - 0.7		31 - 35	Regular			1 001 - 1 200		
0.75	3									
0.8		0.71 - 0.8		36 - 40				801 - 1 000		
0.9		0.81 - 0.9		41 - 50				501 - 800		
1.0		más de 3	más de 0.9	más de 5	más de 50	Buena		1 - 500	SI	SI

1 Ver Tabla 1.

TABLA 7. FUNCIONES DE VALOR PARA LOS POSIBLES ESTADOS DE OTROS INDICADORES

4.3 FASE 2 (EVALUACION DEL NIVEL ACTUAL DE DESARROLLO).

La determinación de los valores del estado actual de desarrollo económico y social (VDE (P_e) y VDS (P_s), como se mencionó en el capítulo anterior, requiere de los vectores de ponderación α_j y β_j , para cada centro de población CP_j.

Para efectos de ilustración, los coeficientes de ponderación económica que en este caso se emplearon, se consideraron iguales para todos los centros de población, por lo cual resulta un único vector de coeficientes de ponderación económica: $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{18})$ para todos los centros de población. (Ver Tabla 8).

La determinación de los vectores de coeficientes de ponderación social (β_j), se realizó en base a la explotación de la estructura de la información contenida en el SIODU, especialmente el aspecto que se refiere a los problemas sentidos por la comunidad, para efectos de este trabajo se supusieron los señalados en la Tabla 1.

Dada la posibilidad de captación de varios indicadores relativos a las necesidades o problemas específicos de cada localidad, a continuación se propone el siguiente esquema para la obtención de los vectores β_j (los resultados se muestran en la Tabla 10).

Para cada centro de población CP_j:

1. De los indicadores asociados con los problemas sentidos por la comunidad que aparecen en la Tabla 1, seleccionar aquellos que pertenezcan al conjunto de indicadores considerados en este trabajo (Ver Tabla 1).
2. Listar los indicadores en orden creciente de importancia.
3. Asignar a cada indicador de la lista, un valor igual al número de la posición que ocupa, más uno. Es decir, al indicador que ocupe el j-ésimo lugar en la lista, asignarle el valor j+1.

Con el objeto de tomar en cuenta, no sólo los problemas sentidos por la comunidad que aparecen en las Tablas I y II, sino también las deficiencias existentes en el nivel de desarrollo de los demás indicadores, se propone:

4. Para cada indicador bajo estudio (Ver Tabla 1) que no aparezca en la lista mencionada en el paso 2, asignarle el valor 0 (cero), si el valor (preferencial) del nivel actual de desarrollo es mayor o igual que 0.5, y el valor 1 - v(a)_j en caso contrario.
5. Normalizar los valores obtenidos para que su suma sea igual a la unidad.

La aplicación del proceso anterior resulta en un conjunto de coeficientes de ponderación social como el mostrado en la Tabla 10. Por ejemplo, el indicador "drenaje" para el poblado Fin de Año, tiene un coeficiente de ponderación social (en relación a los demás indicadores) igual a 0.19.

Como se muestra en el diagrama de flujo de la Tabla 3, dada la información anterior, se puede fácilmente calcular los valores asociados con el estado actual de desarrollo económico y social del conjunto de localidades en estudio (Ver Tabla 11), así como los potenciales de impacto de desarrollo económico y social para dicho conjunto de poblaciones.

4.4 FASES 3, 4 Y 5. EVALUACION DEL IMPACTO DE LOS PROYECTOS.

Para poder realizar las fases 3, 4 y 5 del proceso de evaluación (Ver Tabla 3), se requiere conocer el valor del nivel de desarrollo que se obtendría al realizarse los proyectos. La Tabla 12 presenta dicha información bajo la hipótesis de que cada proyecto impacte solamente al indicador relacionado con el componente urbano que se pretende desarrollar por medio de la inversión.

Por ejemplo: en el caso de la primera alternativa, la matriz asociada al estado de desarrollo "con proyecto" es igual a la matriz presentada en la Tabla 5, excepto en el caso del indicador correspondiente al componente "agua potable" en el poblado Las Margaritas (% de población carente del servicio), el cual cambiará de 60 % (nivel actual) a 43.6 % (nivel asociado con el proyecto).

En la misma Tabla 12 se muestran los valores preferenciales correspondientes al nivel de desarrollo que se podría alcanzar con las diferentes alternativas de inversión. En este caso dichos valores serán los únicos cambios que se registrarán en la matriz de valores preferenciales actuales de desarrollo (Ver Tabla 8).

Con la información anterior se pueden calcular los valores de desarrollo (económico y social) asociadas con cada inversión, así como los indicadores de impacto económico y social para cada una de las alternativas en estudio.

5 La Tabla 11 muestra además valores contrastados en el nivel actual de desarrollo de cada centro de población, con los cuales se pueden verificar algunos problemas, y otros diferentes aspectos sobre el comportamiento reportado para la generación de proyectos de desarrollo.

INDICADOR		Coeficiente de Ponderación
Número	CONCEPTO	
1	Agua Potable	0.204
2	Drenaje	0.136
3	Acceso por Carretera Pavimentada	0.136
4	Educación Primaria	0.118
5	Líneas de Autobuses que tocan la localidad	0.102
6	Mercedes	0.089
7	Rastras	0.078
8	Pavimentación	0.068
9	Médicos	0.051
10	Correos	0.020

TABLA 9. COEFICIENTES DE PONDERACION ECONOMICA DE LOS INDICADORES DE DESARROLLO

CENTRO DE POBLACION	PROBLEMAS SELECCIONADOS POR LA COMUNIDAD				
	1	2	3	4	5
1. CARIBLILAS	Drenaje	Energía Eléctrica	Sumidero Municipal	Agua Potable	Teléfono
2. LAS MANQUITAS	Agua Potable	Energía Eléctrica	Pavimentación	Energía Potable	León y/o ganado
3. SANTA CECILIA	Agua	Medicinas	Agua	Agua Potable	Teléfono
4. SAN JERÓNIMO	Energía Eléctrica	Agua Potable	Agua Potable	Agua	Agua
5. PASO ALTO	Energía Potable	Agua Potable	Medicinas	Pavimentación	Agua
6. AGUA BONITA	Líneas de Autobuses	Teléfono	Dispositivos médicos	Dispositivos médicos	Placa de tráfico
7. SAN JUAN DE LA CAL	Agua Potable	Agua	Agua Potable	Medicinas	Energía Eléctrica
8. BILBA ADOQUADA	Energía Eléctrica	Agua	Agua Potable	Agua Potable	Medicinas
9. AGUAVERTE	Pavimentación	Energía Eléctrica	Medicinas	Medicinas	Energía Eléctrica
10. BALANITA	Agua	Correos	Medicinas	Drenaje	Medicinas
11. LA OJONA AZUL	Energía Eléctrica	Correos de urgencia	Correos locales	Agua Potable	Agua
12. SAN DE MARCO	Teléfono	Agua potabilizada	Líneas de autobuses	Medicinas	Medicinas
13. SAN DE MARCO	Agua Potable	Pavimentación	Agua	Energía Potable	Medicinas
14. CHANTON	Agua Potable	Energía Eléctrica	Correos Expresos	Correos	Correos de urgencia
15. LA ROLITA	Medicinas	Agua Potable	Medicinas	Teléfono	Agua Potabilizada

1. El orden que se muestra en esta tabla, de arriba hacia abajo, es el orden de prioridad de los problemas seleccionados.

TABLA 1. PRIORIDAD DE LOS PROBLEMAS SELECCIONADOS POR LA COMUNIDAD

CENTRO DE POBLACION	INDICADORES									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 Candelas	0.21	0.32	0.00	0.08	0.07	0.00	0.11	0.10	0.10	0.00
2 Las Margaritas	0.34	0.00	0.00	0.17	0.00	0.90	0.90	0.26	0.00	0.00
3 Santa Cecilia	0.19	0.00	0.00	0.29	0.06	0.26	0.39	0.00	0.00	0.00
4 San Jorge	0.33	0.00	0.00	0.06	0.05	0.16	0.25	0.00	0.07	0.08
5 Paso Alto	0.22	0.00	0.04	0.28	0.04	0.17	0.65	0.11	0.04	0.05
6 Agua Bonita	0.00	0.00	0.14	0.11	0.37	0.18	0.19	0.00	0.00	0.00
7 San José de la Cal	0.32	0.00	0.00	0.13	0.04	0.06	0.26	0.00	0.20	0.00
8 Isla Aguada	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.35	0.06	0.28	0.00
9 Sotavento	0.00	0.14	0.96	0.00	0.00	0.20	0.00	0.38	0.21	0.00
10 Bajamita	0.00	0.19	0.04	0.24	0.04	0.05	0.03	0.00	0.12	0.30
11 Laguna Azul	0.40	0.00	0.00	0.12	0.09	0.12	0.27	0.00	0.00	0.00
12 28 de Marzo	0.00	0.00	0.34	0.06	0.26	0.06	0.08	0.00	0.17	0.00
13 Fin de Año	0.32	0.19	0.00	0.13	0.04	0.06	0.00	0.26	0.00	0.00
14 Champoton	0.41	0.28	0.10	0.00	0.08	0.12	0.00	0.00	0.00	0.06
15 La Soledad	0.41	0.00	0.21	0.00	0.07	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00

TABLA 10. COEFICIENTES DE PONDERACION SOCIAL DE LOS INDICADORES DE DESARROLLO

CENTRO DE POBLACION	Desarrollo por Localidad	
	Economico	Social
1. Candelas	0.57478	0.5281
2. Las Margaritas	0.47884	0.5190
3. Santa Cecilia	0.51426	0.3708
4. San Jorge	0.42658	0.3952
5. Paso Alto	0.44186	0.3942
6. Agua Bonita	0.41830	0.0790
7. San José de la Cal	0.44978	0.4082
8. Isla Aguada	0.87724	0.6260
9. Sotavento	0.62644	0.3850
10. Bajamita	0.44748	0.2562
11. Laguna Azul	0.63656	0.4137
12. 28 de Marzo	0.44926	0.1288
13. Fin de Año	0.45218	0.3662
14. Champoton	0.39276	0.2477
15. La Soledad	0.57688	0.4348
VALOR GLOBAL DE DESARROLLO	0.49518	0.3670
POTENCIAL DE IMPACTO	0.60481	0.6330

TABLA 11. ESTADO ACTUAL DE DESARROLLO SOCIOECONOMICO DE LAS LOCALIDADES CONSIDERADAS

Proyecto Número	CONCEPTO	CENTRO DE POBLACION	INDICADOR AFECTADO	ESTADO DEL INDICADOR ¹	VALOR PREFERENCIAL ²
1	Agua Potable	LA BOLITA	\$ población cubierta del servicio	73	0,9
2	Agua Potable	LAS MANDARITAS	\$ población cubierta del servicio	48,6	0,7
3	Drainaje	EN JOSE DE LA CAL	\$ población cubierta del servicio	28,1	0,8
4	Miércoles	PASO ALTO	número de habitantes por edificio	1.300	0,7
5	Escolas	SANTA CECILIA	\$ población de 7-14 años que asiste a la escuela	82,9	0,8

TABLA 12. IMPACTO SOCIOECONOMICO DE LOS PROYECTOS CONSIDERADOS

De la Table 13 puede observarse que los diferentes proyectos tienen asociados diferentes pares de valores de los índices IEE o IES (índices de Impacto económico y social por inversión requerida), los cuales pueden graficarse en un sistema coordenado IEE (-), IES (+) como se muestra en la Fig. 5.

En dicha figura, cada proyecto (P_k) está representado por su vector de efectividad correspondiente:

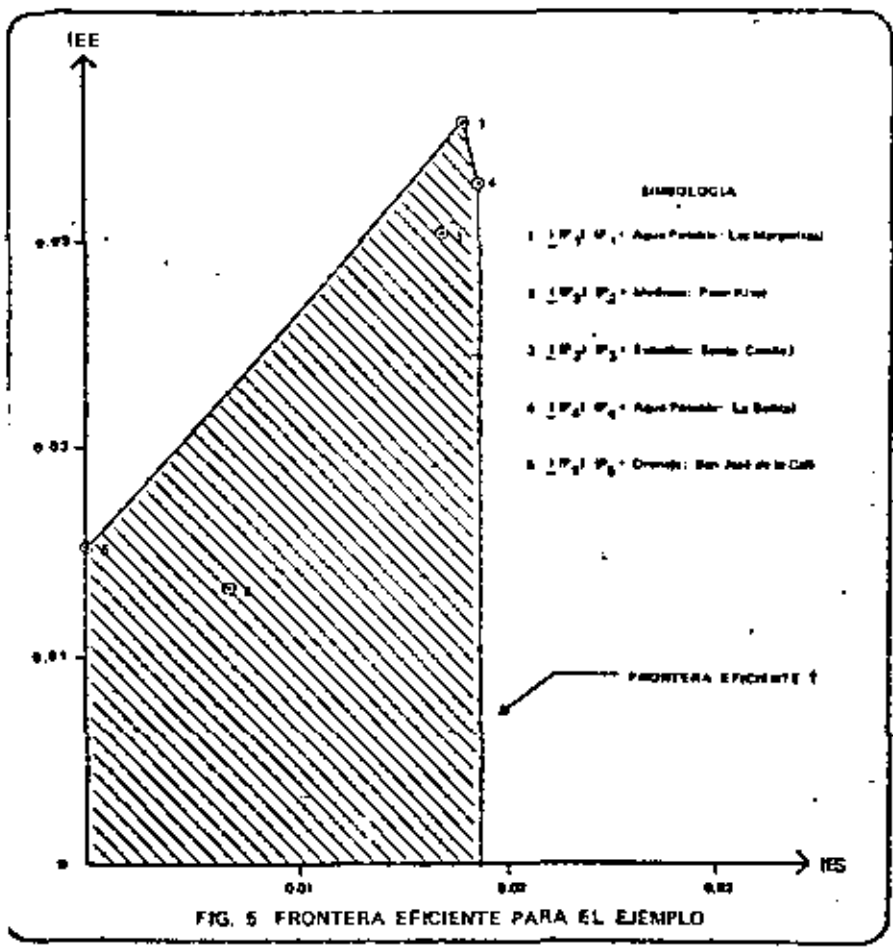
$$I(P_k) = [IEE(P_k), IES(P_k)]$$

Como puede observarse, el proyecto prioritario de inversión será alguno de los proyectos que definen la *frontera eficiente*, independientemente de la importancia relativa de los índices de Impacto en cuestión (Ver Table 15).

Sin embargo, la selección del mejor proyecto sobre dicha frontera eficiente, dependerá de los pesos asignados a los índices de Impacto.

Como se mencionó en el capítulo anterior, la determinación del orden jerárquico entre los 5 proyectos considerados, puede determinarse aplicando a cada vector de eficiencia $I(P_k)$ una función del valor $V [I(P_k)]$, la cual involucre los coeficientes de ponderación relativa α y $\beta = 1 - \alpha$ de los indicadores IEE e IES respectivamente.

La Table 14 muestra los valores que tome dicha función para el vector de eficiencia de cada proyecto y diferentes valores del coeficiente de ponderación α .



PROYECTO	INVERSION (Millas de pesos)	VDE	VDS	ME	MS	MEI	MSI
0. NO INVERSION	0	0.48518	0.1870	0	0	0	0
1. AGUA POTABLE: LA BOTIJA	325	0.50066	0.3712	108	56	0.0337	0.0701
2. AGUA POTABLE: LAS MARGARITAS	300	0.50066	0.3707	108	58	0.0380	0.0707
3. DRENAJE: SAN JOSÉ DE LA CAL	750	0.50112	0.3870	117	0	0.0188	0
4. MEDICOS: PASO ALTO	200	0.49058	0.3981	27	17	0.0135	0.0485
5. ESCUELAS: SANTA CECILIA	250	0.49808	0.3700	77	47	0.0306	0.0788

* En dólares para inversiones de aproximadamente \$ 1.1 mil.

- VDE = Valor de Desembolso Esperado
- VDS = Valor de Desembolso Seguro
- ME = Mediana de los Medios Esperados
- MS = Mediana de los Medios Seguros
- MEI = Mediana de los Medios Esperados por la Mediana (Mediana de los Medios Esperados)
- MSI = Mediana de los Medios Seguros por la Mediana (Mediana de los Medios Seguros)

TABLA 12. EVALUACION DE LOS PROYECTOS*

4.6 FASE 7. PRESENTACION DE RESULTADOS

De la Tabla 14 puede determinarse, como paso final del proceso, de evaluación, el orden prioritario de inversión de los proyectos para diferentes políticas de desarrollo económico y social.

Los resultados se muestran en la Tabla 15, en la cual puede observarse, por ejemplo, que si el desarrollo económico no es de fundamental importancia en relación al peso asignado al desarrollo social, en este caso el Proyecto P₄ tenderá a ocupar un lugar prioritario en el conjunto de proyectos.

A medida que el aspecto económico cobra mayor importancia, el proyecto P₁ ocupará el primer lugar de la lista, seguido del proyecto P₂. Por otra parte, se observa que el proyecto P₃ tiende a ocupar el mismo lugar relativo, sin importar el peso asignado a los diferentes aspectos de desarrollo.

Proy.	ICE (PI)	IES (PI)	V(IES)	V(IES)	V(IE (PI)) para diferentes valores de α										
					0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
P ₁	.0260	.0180	.279	.289	.269	.266	.267	.266	.265	.264	.263	.262	.261	.260	.278
P ₂	.0126	.0286	.104	.127	.127	.126	.127	.128	.129	.129	.128	.127	.126	.125	.104
P ₃	.0209	.0189	.239	.261	.261	.277	.279	.278	.284	.284	.284	.282	.282	.282	.279
P ₄	.0292	.0209	.261	.202	.203	.299	.294	.289	.285	.280	.278	.271	.268	.262	.217
P ₅	.0166	0	.121	0	0	.017	.024	.028	.048	.061	.072	.085	.097	.109	.121

TABLA 14. RESULTADOS DE LA EVALUACION PARA DIFERENTES POLITICAS DE DESARROLLO

La metodología descrita en este trabajo permite *jerarquizar proyectos de desarrollo urbano* de naturaleza muy diversa (los cuales se cuantifican por medio de indicadores diferentes y por tanto no comparables entre sí), en base a un conjunto de datos sencillos, contenidos en el SDDU (sistema de información concebido y desarrollado por la Dirección General de Centros de Población dependiente de la SAHQP).

El modelo es sencillo, fácil de usar y puede emplearse como representación aproximada de la realidad siempre y cuando se desarrollen simultáneamente *análisis de sensibilidad* dirigidos a establecer la validez de los resultados. (La sistematización ó *computerización* del modelo permitirá realizar dichos análisis de sensibilidad de manera expedita y tan extensas como se requieran).

Por otra parte, el modelo enfrenta algunas limitaciones, como ser: la hipótesis básica de la *independencia entre atributos* y el *ignorar la incertidumbre* en el problema.

Sin embargo, si se considera el tipo de proyectos que nos ocupa: *inversiones pequeñas*, en centros de población reducidos e información parcial (para los cuales no se justifican los costos de desarrollar estudios más extensos y que permitan la obtención de "mejor" información como sería funciones conjuntas de preferencias, funciones de probabilidad condicionales, etc., y de esa manera poder pensar en el uso de modelos decisionales más sofisticados), así como al hecho incontrovertible de la urgente necesidad de tomar decisiones inmediatas en materia de desarrollo urbano en nuestro país, el uso de la metodología propuesta en este trabajo, considerándola como una ayuda para tomar mejores decisiones, se justifica.

Por último se debe de mencionar que para que todo lo expuesto en este trabajo desemboque en resultados útiles, es necesario contar con una serie de normas, es decir, valores mínimos para los diferentes indicadores que miden el nivel de desarrollo socioeconómico de los centros de población, tales que, permitan establecer diagnósticos del desarrollo urbano de los diferentes poblados y por ende, generar proyectos tendientes a mejorar el nivel de dicho desarrollo.

Lugar de Importancia	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

- 4: agua El Impetuosa, 7: agua El arroyo base con C1, C2, C3, C4, C5 y C6
 1: agua POTABLE, LA BOLITA
 2: agua POTABLE, LAS MANDANITAS
 3: ORENAL, SAN PEDRO LA UN.
 4: MEDICO, PABO ALTO
 5: ESCUELA, SANTA FECLUBA

TABLA 13. JERARQUIZACION DE LOS PROYECTOS PARA DIFERENTES POLITICAS DE DESARROLLO



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

TEMA :

" APLICACION DE LA COMPUTACION EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS "
Análisis de Sensibilidad .

PONENTE:

M. en C. ING. RODOLFO TELLEZ GUTIERREZ

Noviembre 1981

* * *

Dentro de las ramas de la Ingeniería civil, pueden considerarse a las vías terrestres como fundamentales para el desarrollo de un país. Por los beneficios socioeconómicos que generan, la magnitud de la inversión que representan, el tiempo que deben mantenerse prestando un servicio adecuado, etc., es claramente palpable la importancia de su correcta planeación, diseño y construcción.

El diseño de pavimentos para carreteras y aeropistas involucra estudios complejos de suelos y materiales, su comportamiento bajo cargas y su habilidad para soportar el tránsito durante todas las condiciones climatológicas a lo largo de su vida de diseño útil.

El campo de diseño de los pavimentos debe ser dinámico conforme a la tecnología cambiante día con día y por los requerimientos impuestos por el creciente tráfico aéreo y carretero y las sobrecargas involucradas. En el pasado, la "regla del dedo" basada en experiencias previas gobernaba y tipificaba los diseños. Durante el período de 1920 a 1940, los Ingenieros se concentraron en evaluar propiedades estructurales de los suelos, por lo que fué posible conseguir gran cantidad de información y datos que permitieron desarrollar teorías y modelos realísticos en el diseño de pavimentos.

Experimentos masivos a gran escala, como BATES, WASHO y AASHO, definieron los derroteros a seguir por muchos años resultando en mé-

todos usuales hasta la fecha. Sin embargo, esos métodos actuales de diseño no son considerados del todo adecuados. Son empíricos por naturaleza o no han sido implementados para usos generales. Debe recordarse aquí la complejidad del sistema de pavimentos. Concientes de ello, la investigación ha seguido su formato dinámico hasta llegar a las computadoras.

La Ingeniería de sistemas está siendo aplicada a la solución de problemas e implementación de los actuales métodos de diseño y construcción. Los programas resultantes que han sido creados para estos fines permiten al ingeniero de diseño realizar un sistema de análisis detallado y preciso de la vida y comportamiento de un pavimento sobre cualquier período de diseño.

Obras de gran envergadura como carreteras y aeropuertos, no permiten reglas de dedo, recetas de proyectos tipos o soluciones al azar, dada la enorme inversión y beneficios que representan en todos conceptos. Si también se toma en cuenta la necesidad prioritaria de mantener y conservar la red carretera nacional existente con presupuestos limitados, la rehabilitación y conservación refuerzan la urgencia de "diseños efectivos". Las computadoras definitivamente son al presente, herramientas muy útiles para la correcta planeación, diseño y construcción de estas obras civiles.

Existen programas de computadora muy versátiles para pavimentos de caminos y aeropistas. Constantemente son experimentados y actualizados para cumplir con sus objetivos eficientemente. Los hay para algunos temas múltiples de capas que sirven para estudiar con detalle esfuerzos, deformaciones y deflexiones en pavimentos flexibles y rígidos. Estos programas permiten analizar cada capa componente de la estructura y también la consideración de cargas múltiples repetidas en el diseño. Predicciones de fatiga son analizadas con precisión.

El ingeniero de diseño debe tomar en cuenta los costos iniciales de construcción, de mantenimiento, intereses, amortización, etc. etc., para integrar un sistema de aproximadamente 50 variables básicas de entrada al programa. Entonces, con el auxilio de la computadora se obtendrán múltiples alternativas de diseño de entre las que se seleccionarán aquellas óptimas basadas en el costo mínimo.

No debe olvidarse la importancia del criterio y experiencia del ingeniero especialista al llevar a cabo los pasos previos al proceso de computación, contemplados en la "metodología mecánica" del sistema de pavimentos:

1) INVESTIGACION DE CAMPO

- pruebas no destructivas
- medición de deflexiones
- inventario de condiciones existentes
- muestreo de materiales

II) DETERMINACION EN LABORATORIO

{ propiedades elásticas de mats. obtenidos

III) ANALISIS DE LA CAPACIDAD DE CARGA DEL PAVIM. EXISTENTE

IV) EVALUACION DE LAS ESTRATEGIAS A SEGUIR PARA ALTERNATIVAS DE REHABILITACION Y REFUERZO.

Al finalizar este proceso, se estará en posibilidad de integrar valores adecuados para las múltiples variables que requiere la computadora para ejecutar el programa.

Antes de entrar al desarrollo general de los programas de computadora, su funcionamiento y puntos negativos, es conveniente mencionar una comparación subjetiva entre métodos de diseño empíricos y métodos de ingeniería de sistemas.

Me refiero a los métodos de diseño MS-11 y MS-11-A del Instituto del Asfalto de los EE.UU. El primero es un método empírico tradicional que no está del todo actualizado principalmente en cuanto a tipo y peso de aeronaves muy recientes (ej. Concorde). Por otro lado, está sujeto a errores de cálculo y apreciación por el número y complejidad de sus diagramas, aunado al tiempo excesivo de cálculo para obtener diseños.

El Instituto del Asfalto reconoció estas limitaciones y diseñó recientemente el programa de computadora MS-11-A para el diseño de pavimentos flexibles en aeropistas, que estando actualizado para todo tipo de aeronaves, cargas y operaciones, permiten al ingeniero obtener diferentes alternativas de diseño estructural, costos, rehabilitación programada, etc. en un tiempo mínimo de aprox. 30 segundos de ejecución del programa. Esto representa una ventaja adicional al poderse modificar valores numéricos y restrictivos para analizar diferentes condiciones de análisis y así obtener el diseño óptimo a un costo mínimo.

Ahora bien, debemos recordar que la computadora siendo una herramienta de mucha utilidad, a final de cuentas es una máquina compleja que estará sujeta al criterio y arbitrio del ingeniero diseñador por lo que se refiere a programación.

La programación requiere de reglas básicas a seguir y lenguajes sofisticados, por lo que el ingeniero debiera conocerlas para no cometer errores que por ejemplo, lo lleven a un loop sin término, (infinito loop), ó la no ejecución del programa por usar valores fuera de límites, ó a consumir un tiempo excesivo en la ejecución del programa (p.e. 300 segundos). Es primordial la investigación cuidadosa de datos básicos para las variables de entrada al programa y el mantener actualizados los programas de computadora para diseño, conforme a la dinámica cambiante tecnológica y conforme a las necesidades particula-

res de cada obra.

Usualmente los programas de computadora para el diseño de pavimentos son ejecutados con una rutina principal y 8 subrutinas que realizan 5 funciones básicas:

- 1.- Lectura de datos básicos de entrada
- 2.- Solución de valores admisibles (p.e. tránsito)
- 3.- Solución de valores predecibles
- 4.- Determinación de espesores de diseño (alternativas)
- 5.- Determinación de requisitos para refuerzo o rehabilitación.

Existe primeramente una "interacción" lógica de datos básicos de entrada:

- a) Variables de cargas
- b) Variables climatológicas
- c) Variables de caracterización materiales
- d) Variables de construcción
- e) Variables de diseño estructural
- f) Variables de mantenimiento, etc.

Estas variables y su interacción lógica serán procesadas a través de un modelo estructural del pavimento que considerará respuestas primarias (deflexiones, deformaciones, esfuerzos, deterioro, etc) y respueg

tas limitativas (ruptura, distorsión, desintegración, etc.)

Entre los procesos de respuestas primarias y limitativas, se analizan las propiedades de la sup. rodante a deslizamiento, rugosidad, tracción, etc. En el caso de aeropistas, a la altura de este nivel se procesan las variables restrictivas de ruido, polución y congestión.

Del modelo estructural básico o primario, se desprende otro submodelo que analiza criterios de decisión en base a la disponibilidad de — fondos, seguridad de operación, confort, costos de mantenimiento y de usuarios, que serán evaluados y sopesados para cada alternativa y junto con el resultado del primer modelo mecánico, se integrará para nuevo análisis y selección de alternativas, cuya combinación y selección serán impresas finalmente para su revisión y decisión.

Como ejemplo de aplicación práctica, se menciona el programa de computadora LVR (Low Volume Roads) para diseño de caminos revestidos y pavimentados de bajo costo y bajo volumen, que en su última versión maneja eficientemente 50 variables, que al ser procesadas durante la ejecución del programa en aprox. 22 segundos, se obtienen 40 alternativas de diseño basadas en costo mínimo, incluyendo costos finales y posibilidad y tipo de rehabilitación o refuerzo para cumplir perfectamente con la vida útil de diseño especificada.

Existen a la fecha un gran número de programas de computadora disponibles para el ingeniero de diseño en pavimentos rígidos o flexibles, — para aeropuertos o caminos. Sin embargo, se tratarán aquí solo los — más usuales y actualizados. Estos programas han sido experimentados con magníficos resultados en diferentes obras de gran envergadura como son los aeropuertos internacionales de O'Hare, en Chicago, USA, Dallas-Ft Worth, en Texas, Washington, D.C. y sistemas interestatales de los Estados Unidos y Brazil.

A continuación, se da un listado de programas disponibles y posteriormente se explica en términos generales sus aplicaciones y funcionamiento.

LISTADO DE PROGRAMAS DISPONIBLES

DESIGNACION	NOMBRE	FUNCION	PROYECTO/INSTITUCION	DESIGNACION	NOMBRE	FUNCION	PROYECTO/INSTITUCION
FPS-2	FLEXIBLE PAVEMENT SYSTEM	Diseñar sistemas de Pavimentos Flexibles	123 U.S. Dept. of Transp. FHRR, Univ. of Texas Austin Texas A M Univ. Texas Highway Depart.	PIOT-2	DEFLECTION PROFILE	Análisis, recolección e impresión del contorno de deflexiones medidas continuas. Registro de condiciones existentes sobre la superficie de rodamiento.	Federal Highway Procedure "Design Procedure"
LVR 1-11	LOW VOLUME ROADS	Diseño caminos revestidos y pavimentados flexibles para bajo volumen, de bajo costo.	60 U.S. Forest Service Dept. of Agriculture U. Texas at Austin C.A.T.S.	TVAL-2	STATISTICAL ANALYSIS	Análisis Estadístico de cualquier índole para estudio de datos iniciales, p.e. deflexiones medidas e inventario carreteras.	Statistical Analysis of Design Sections, FHWA "Design Procedure"
MS-11-A	COMPUTER PROGRAM FOR ASPHALT PAVEMENTS FOR AIR CARRIER AIRPORTS	Diseño de pavimentos flexibles para aeropuertos	1973 The Asphalt Institute U.S.A.	RPOD-1	RIGID PAVEMENT OVERLAY DESIGN	Diseño de refuerzos o sobrecarpetas para pavimentos rígidos.	77-66,67 FHWA, U.S.A.
RPS-2	RIGID PAVEMENT SYSTEM 2	Diseño de pavimentos rígidos de concreto hidráulico	123-21, 1974 Texas Transportation Institute Texas A M Univ. Univ. of Texas at Austin Texas Highway Department	HTOD-2	RIGID PAVEMENT OVERLAY DESIGN, UP-DATED	Diseño de refuerzos en pavimentos rígidos, considerando criterios por deflexiones, fatiga y grietas (predicción).	177-13 FHWA, U.S.A. Center for Highway Research Texas Highway Department
TMA	TRAFFIC MIX ANALYSIS	Predicción de tráfico aéreo para el diseño de aeropistas y cargas equivalentes.	The Asphalt Institute, U. S. A.	RFLCR-1	REFLECTION CRACKING PROGRAM	Procedimiento Regional de evaluación grietas y grietas reflejadas en sobrecarpetas.	177-13-1 Center for Highway Research.
MODLAS 1-10	MODULUS OF ELASTICITY	Caracterización de materiales, analizando propiedades elásticas.	Center for Highway Research, Council for Advanced Transportation Studies	SLAB-30	SLAB ANALYSIS	Programas de diseño y análisis, empleando teoría elástica para múltiples capas de pavimentos para carreteras y aeropistas. Criterios de falla, esfuerzos-deformación y predicciones son procesadas aquí.	Transportation Facilities Branch, Department of the Army, U.S.A.
CRCP-1 CRCP-2	CONTINUOUSLY REINFORCED CONCRETE PAVEMENT	Diseño de pavimentos rígidos de concreto reforzado o armado continuo sin juntas, para aeropistas y carreteras.	177.- Center for Highway Research Austin Research Engrs. Texas Highway Dept. FHWA	SLAB-49	SLAB ANALYSIS		
				ELSYM-5	ELASTIC SYSTEM ANALYSIS LAYERED		Institute of Transportation and Traffic Engineering, University of California U.S.A.
				SHELL BISTRO	MULTI LAYERED ELASTIC SYSTEM ANALYSIS MLESA		Shell Oil Company, U.S.A.

PROGRAMAS DE APOYO A LOS ANTERIORES

DESIGNACIONES	NOMBRE	FUNCION	PROYECTO/INSTITUCION
ACAP-1 ACAP-2	Airport Capacity Analysis Airport Capacity Analysis	Análisis y Diseño Capacidad en base al tráfico aéreo de aero- puertos	University of Texas at Austin CFHR CATS
GEOPRO SIMPRO TEXAS MODEL	A Geometric Processor Simulator, Procesa Texas Model	Tráfico y su análisis para intersecciones de carreteras y ur- banas.	Texas Highway Dept. F A A FHWA
PVILB	Computer Program for Airport Pavement Design	Programa de computadora para calcular la resis- tencia de pavimentos de Aeropuertos	Portland Cement Assn. R.G. Packard, Illinois, U.S.A.
ACN-PON	Aircraft Class. Number- Pavement Class. "	Programa iniciado por la Boeing y perfeccionado por Cuerpo de Ingenieros USA. Metodo CBR de calculo de pavimentos flexibles, Actualizado por Douglas para obtener ACN.	S-77-1 USAENES

Es importante hacer notar el tipo de computadora que puede ejecutar -
los programas a continuación enlistados; esto es,

CDC	6000	
CDC	6400	
CDC	6600	
IBM	360	
IBM	370	
UNIVAC	1108	
IBM	3031	— CAMOP

Usualmente cada programa es diseñado en un específico lenguaje —
(p.e. Fortran VI) y para un tipo o modelo de computadora (p.e. CDC-
6600). Por supuesto haciendo las modificaciones necesarias se pue-
de convertir el sistema para procesarse en diferente computadora, -
pero existe el inconveniente de incremento o reducción del tiempo -
para ejecución del programa. Caso específico; el programa LVR-11
está diseñado para procesarse en computadora CDC-6600, que es -
la más rápida a la fecha. Al ejecutarse los cambios a IBM-360, el
mismo programa tarda de 4 a 5 veces más su tiempo de ejecución, -
lo que deberá considerarse para fines de "costo/tiempo/ejecución".

(*) DACI Emenda al ANEXO 14 del Método para Notificar la Resistencia de
los pavimentos (1980).

FPS 2 FLEXIBLE PAVEMENT SYSTEM 2

El programa de computadores para sistemas de pavimentos flexibles - No. 2, auxilia a los Ingenieros de diseño para entender los efectos de las diferentes variables que intervienen en el diseño de un pavimento del tipo flexible de una manera más eficiente.

Está basado en el criterio de diseño por deflexiones, las cuales son obtenidas en el campo a través de empleo de equipos de evaluación tales como Dynaflect y Viga Bentelma.

Los valores obtenidos de deflexiones en los diferentes tramos seleccionados junto con datos de tránsito para ejes equivalentes, factores de clima, resistencia de los materiales por emplear, etc. esto es, variables de diseño, de limitaciones, junto con variables de costos, totalizan 45 diferentes tipos de datos básicos de entrada para resolver el programa y obtener de una manera eficiente, rápida y precisa diferentes alternativas de diseño de la estructura total del pavimento flexible y sus costos respectivos.

Se obtienen además, dentro del período de diseño de vida útil del pavimento, el número y tiempo a efectuar de refuerzos necesarios para asegurar metas de duración de la estructura.

Lista de:

Proyecto Investigación 1-B-69-123

1972

U.S. DOT

Texas Highway Department

Texas A&M (TTI)

University of Texas at Austin

[CFHR]

LVR, LVR 11 LOW VOLUME ROADS

El diseño de pavimentos de bajo costo y para bajos volúmenes de tránsito es un procedimiento complejo que involucra numerosas variables. La complejidad de interacción entre ellas se ha ido solucionando gracias a mejores informaciones de campo y a programas de computadora tales como el "LVR" "Caminos de bajo volumen".

Desde su creación en 1974 se ha ido mejorando y modificando, hasta llegar a la versión "LVR-11", de enero 1979, considerada como uno de los programas óptimos para diseño de carreteras económicas.

En términos generales, este programa de computadora puede ser utilizado para calcular los diseños más económicos y favorables para pavimentos con carpeta asfáltica.

Pero además, este programa está diseñado para resolver caminos revestidos con grava que cumplen con ciertos requerimientos especificados por el ingeniero diseñador. Como ejemplo de estos requisitos podríamos mencionar la vida de diseño deseada, restricciones referentes a costo inicial de construcción, frecuencia de las rehabilitaciones, etc.

El costo total obtenido incluye los costos inicial, de rehabilitaciones mayores, riegos de riego para carpetas asfálticas, mantenimiento menor y costos por retraso para usuarios. Además el programa calculará el costo de operación de vehículos si así se especificara cuando se realiza la programación inicial.

El programa LVR-10 de computadora actualmente maneja 50 variables a la vez. Podemos mencionar algunas de las más importantes para este tipo de diseño de pavimentos: ejes equivalentes, valor relativo de soporte en la cimentación, factores regionales climáticos, espesores de sobrecarpeta supuestos, valor de recuperación de la inversión, tiempo entre rehabilitaciones, índice de servicio, interés, propiedades de materiales, etc.

Otra innovación importante del programa es el conocimiento del "modo de falla" que controla el diseño y su ejecución. En el LVR se analizan los modelos de AASHO, el de pérdida de agregados y el de deformación permanente bajo la rodada (rutting).

El tiempo de ejecución total del programa variará dependiendo los valores específicos asignados a variables, pero para dar una idea, varía de medio segundo a 30 segundos en condiciones normales, (corriendo el programa en CDC-6600).

Es importante hacer notar que dentro de los resultados obtenidos — cuando se usa este programa, se tienen 40 diferentes diseños óptimos para las condiciones especificadas desde el inicio, en orden progresivo, desde el "diseño óptimo estructural con el mínimo costo" hasta la alternativa 40, lo que permite al ingeniero diseñador — elegir una o varias alternativas que sean totalmente compatibles a sus necesidades y presupuesto, que a final de cuentas regirán la — decisión final.

Listado

Proyecto No. 60

U. S. Forest Service

Depto. Agricultura

Council for Advanced

Transport Studies

University of Texas at

Austin.

MS - 11 - A ASPHALT PAVEMENTS FOR AIRPORTS

El programa de computadores MS-11-A es la última versión del Instituto del Asfalto Norteamericano para el diseño de pavimentos flexibles — asfálticos para aeropuertos. La versión data de 1973 y sigue básicamente la secuencia de diseño y cálculo establecida para la versión — manual de cálculo dada en su publicación MS-11. Por supuesto modificada para proceso en computadora y actualizada para todos y cada uno de los nuevos tipos de aeronaves, incluyendo el "Concorde".

Si alguno de los presentes ha realizado el diseño manual usando — MS-11, se dará cuenta del tiempo a invertir y de las posibilidades — de error continuas. Por ello este programa de computadora es sumamente útil en cuanto a ahorro de tiempo invertido, variables de entrada de diseño totalmente revisadas y actualizadas y la variedad de resultados y alternativas obtenidas para el proyecto total de las pistas de aterrizaje, de taxi, cabeceras y plataformas.

Además proporciona el diseño de refuerzos o sobrecarpetas requeridas — para alargar vida útil al pavimento.

El programa está hecho para lenguaje FORTRAN V en computadora tipo UNIVAC 1108 con un control EXEC 2 modificado de ejecución.

Con algunas modificaciones a seguir se pueda operar el programa en computadoras IBM-360, 370 o CDC-6000 series.

Básicamente el programa sigue los pasos enumerados a continuación:

- I rutina principal
- B subrutinas que desarrollan 5 funciones:
 - a) leer datos de entrada
 - b) solucionar valores admisibles de tráfico
 - c) solucionar valores predictibles de tráfico
 - d) determinar espesores de diseño
 - e) determinar requisitos de sobrecarpeta o rehabilitación

Listado: MS-11-A 1973

Computer Program for Full-
Depth Asphalt Pavements for
Air Carrier Airports
The Asphalt Institute, U.S.A.

RPS 2 RIGID PAVEMENT SYSTEM

El programa de computadora para sistemas de diseño de pavimentos rígidos RPS-2, es una versión moderna del FSP-2 que básicamente funciona de manera semejante, pero con variables adicionales y algunas restricciones diferentes para superficies de rodamiento hechas con cemento portland.

Este programa fue actualizado en 1974 conjuntamente por varios organismos de investigación (tales como U.T., Texas A M, CTHR) para el Departamento de Carreteras del Estado de Texas.

Este tipo de programa permite al ingeniero de diseño realizar un sistema de análisis de la vida y comportamiento del pavimento rígido sobre cualquier período de vida útil deseado.

Con el manejo de aproximadamente 50 variables y factores de entrada, el ingeniero puede seleccionar una solución óptima basada en el costo mínimo.

El programa contempla el diseño de pavimentos rígidos construídos con juntas transversales, y sin refuerzo.

El sistema empleado por este programa está basado en métodos empíricos del Cuerpo de Ingenieros para pavimentos de aeropistas, en especial cuando se analizan los refuerzos por sobrecarpetas.

Listado:

Reporte No. 123-21, Enero 1974

TTI

T A & M

U T

I H Department

T M A THE ASPHALT INSTITUTE COMPUTER PROGRAM
FOR TRAFFIC MIX ANALYSIS

Al mismo tiempo que se creó el programa MS-11-A para pavimentos de aeropuertos, fue desarrollado este programa de computadora para análisis de tráfico aéreo, el TMA, el cual predice las repeticiones de deformación equivalentes de una aeronave estandar, producidas por una mezcla de tránsito aéreo proyectada al futuro.

Específicamente determina las repeticiones de deformaciones sobre diferentes espesores de concreto asfáltico asumidos para cada modo de falla. Considera varias condiciones básicas tales como: peso total de la aeronave al despegar (es variable) y como aeronaves - prototipo el DC-8-63F y B-727-200.

El número de operaciones en todos los sentidos de orientación para la pista de despegue y aterrizaje es uno de los factores básicos en el programa para determinar daños producto de la fatiga y para estimar periodos de refuerzo al pavimento.

Para realizar el diseño y análisis de las sobrecarpetas y rehabilitación de las pistas para el aeropuerto nacional de Washington, D.C. fué utilizado este programa de computadora por el Dr. Witczak, lo

cual ejemplifico la efectividad de este programa de computadora.

Estado:

Traffic Mix Analysis, Computer Program

The Asphalt Institute U.S.A.

MODLAS 1-10 MODULOS DE ELASTICIDAD

Quando el ingeniero se encuentra investigando materiales, sus características, comportamiento, etc. que empleará para construcciones de vías terrestres, es definitivamente útil contar con programas de computadora del tipo MODLAS, que le facilitarán enormemente el cálculo y diseño obteniendo beneficios palpables.

En pruebas de laboratorio repetitivas, como la prueba de tensión la directa en asfaltos para el reciclado de pavimentos, el programa MODLAS-9 calculará las tensiones estáticas y propiedades elásticas a partir de las cargas aplicadas, deformaciones verticales y horizontales.

Los parámetros básicos analizados son esfuerzos de tensión, módulo de elasticidad estático, relación de Eixón, vida de fatiga y módulo de elasticidad resiliente.

Aut : MODLAS - 1 - 9 CFHR
CATS

CRCP - 1 CONTINUOUSLY REINFORCED

CRCP - 2 CONCRETE PAVEMENT

Dentro de los pavimentos existentes a la fecha, tanto para carreteras como para aeropistas, el pavimento de concreto reforzado sin juntas es considerado como el óptimo, el más caro inicialmente pero el — más barato y el mejor a largo plazo. Algunos técnicos lo llaman — "zero maintenance", o sea cero mantenimiento mayor a lo largo de — la vida útil del pavimento.

El programa de computadora CRCP-1 y el actualizado CRCP-2 diseñan este pavimento premium: — con base a variables de entrada tales como factores regionales de ambiente, temperaturas, tráfico, costos, resistencias de materiales, etc., el programa analiza diferentes alternativas estructurales y costos, resultando en las más idóneas.

En la versión actualizada CRCP-2, el programa de computadora analiza detalladamente el diseño de pavimentos reforzados de concreto continuos basados en contracciones de los materiales y caídas de la temperatura ambiental.

Ejemplo: Pista de despegue y aterrizaje en el aeropuerto Internacional de O'Hare, Chicago, U.S.A.

Estado: CRCP - 1
CRCP - 2

Proyecto 3-8-75-177 CTHR
177-9 ARE
T H Dept.
FHWA

PLOT 2 **DEFLECTION PROFILE PROGRAM**

Para el correcto diseño de un pavimento o su rehabilitación, se requieren datos, pruebas, información y mediciones de campo que serán parámetros básicos.

Con tal información obtenida, el programa PLOT 2, calculará y dibujará el contorno o espectro de las deflexiones medidas, que junto con las observaciones en el campo de la condición existente del pavimento (sup. de rodamiento), permitirán conocer de antemano tres puntos fundamentales:

- 1) pavimento c / vida remanente potencial
- 2) pavimento severamente agrietado que no pueda tener vida remanente
- 3) pavimento que falle totalmente aún antes de reforzado.

Cuando se tienen evaluaciones por realizar en pavimentos de longitud considerable, este programa demuestra obviamente los beneficios al ahorrar muchísimo tiempo en el proceso de obtener el espectro total de las deflexiones obtenidas p.e. Dynaflect o Viga Senkelman.

Listado: PLOT 2 Computer Program
of FHWA "Design Procedure"
DOT, U.S.A.

IVAL 2 **STATISTICAL ANALYSIS PROGRAM**

Junto con el programa PLOT 2 antes mencionado, el programa IVAL 2 constituye una herramienta valiosa para el diseño y evaluación de pavimentos.

Este programa analiza estadísticamente las secciones de diseño por evaluar. Determina estadísticamente si estas secciones seleccionadas, son diferentes significativamente entre sí.

También obtiene medias y desviaciones standard de la información de deflexiones de diseño características de los tramos, que serán representativas de toda la longitud de camino en estudio.

Este programa de computadora forma parte también del procedimiento general de diseños de la FHWA.

Listado: IVAL 2
Statistical Analysis of Design Sections
Computer Program of FHWA Design Procedure
DOT, U.S.A.

RPOD 1 RIGID PAVEMENT OVERLAY DESIGN

El programa de computadora para diseño de sobrecarpetas en pavimentos rígidos fue desarrollado por ARI, Inc. para la Administración Federal de Carreteras de los EE.UU.

Este programa de computadora es básicamente un método de diseño para evaluar y diseñar los espesores requeridos de las sobrecarpetas en pavimentos rígidos, basado en valores estructurales del pavimento existente y su vida restante o remanente. La evaluación de las capas está basada en criterios de falla por fatiga.

El ingeniero diseñador deberá especificar módulos de elasticidad, espesores de capas existentes, relación o módulo de Poisson, deflexión característica permisible, tráfico, etc. El número de variables que intervienen varía pero no excede de 17. Como resultado, se obtendrá al final del proceso de computación, el espesor requerido de la sobrecarpeta o refuerzo para soportar el tráfico proyectado durante el período de vida útil por diseñar.

Listado: RPOD - 1
Rigid Pavement Overlay Design
Computer Program

Proyecto: FHWA-RD-77-66, 67

RPOD 2 RIGID PAVEMENT OVERLAY DESIGN, UP-DATED

Después de experimentar con el programa RPOD-1 extensamente para la FHWA, el estado de Texas decidió implementar tal programa para hacerlo más compatible con su equipo y necesidades. El resultado fue la versión moderna RPOD-2, que fue modificado para incluir el diseño de sobrecarpetas asfálticas en pavimentos sin vida remanente. Además se añadieron valores límites para módulos elásticos en subbases clases 3 y 4 de pavimentos rígidos totalmente fallados y se consideran producto de carga producida con equipos Dynaflect.

Este programa de computadora analiza las grietas producto de fatiga, caracterizando el material de cimentación usando deflexión de diseño y datos de laboratorio.

En resumen, obtiene los espesores del refuerzo para la vida útil especificada empleando criterios de fatiga (miner's).

Listado: RPOD-2
FHWA CFHR
Report No. 177-13
Texas Highway Department

RFLCR - 1 REFLECTION CRACKING PROGRAM

El programa de computadora sobre grietas reflejadas está diseñado principalmente para proporcionar un procedimiento racional de evaluación de susceptibilidad a las grietas reflejadas en la sobrecarpeta.

Trabaja esencialmente en sobrecarpetas de concreto asfáltico para pavimentos rígidos, pero se adapta también para otros tipos de refuerzo. El proceso calcula deformaciones horizontales (térmicamente inducidas), esfuerzos de tensión, cargas verticales y deformaciones producto de esfuerzos cortantes debido a deflexiones diferenciales en discontinuidades del pavimento existente.

El método sugiere que las deformaciones calculadas sean comparadas con las máximas permitidas.

Información adicional básica es necesaria tal como:

- espaciamiento entre grietas
- espaciamiento entre juntas
- movimiento horizontal de la losa a diferentes temperaturas
- deflexiones diferenciales verticales

Junto con los programas de computadora PIOT-2, TVAL-2, RPOD 2,

el RFLCR-1, completa el procedimiento actual de diseño de pavimentos de la FHWA y ahora usado también por el SDHPT Texas,

Listado:

1978 Versión

CFHR

Report No. 177-13

PROGRAMAS VARIOS REFERENTES A DISEÑO DE PAVIMENTOS EM-
PLEANDO TEORIA ELASTICA LINEAL PARA MULTIPLES CAPAS.

Existen en la actualidad, diferentes y sumamente valiosos programas de computadora, como herramienta fundamental para el ingeniero de diseño, en donde se utilizan básicamente teorías elásticas para múltiples capas en diseño de pavimentos carreteros y aeroportuarios.

El criterio de falla, con diferentes hipótesis reconocidas, ha sido introducido en estos modelos o programas junto con teorías elásticas de esfuerzo - deformación y predicción de esfuerzos.

Programas como ELSYM-5, SLAB-30, SLAB-49 son muy útiles para diseños normales, pero tienen limitaciones en cuanto al número de capas componentes. En cambio, los programas CHEVRON y SHELL BISTRO pueden aceptar un sinnúmero de capas componentes de la estructura total.

En el diseño de pistas del aeropuerto internacional de Dallas - Ft Worth, fueron empleados los programas de CHEVRON y SHELL BISTRO obteniéndose magníficos resultados.

Listado:

SLAB 30 Computer program	Transportation Facilities Branch,
SLAB 49 Computer program	Department of the Army U.S.A.
ELSYM-5 Computer Program	Institute of Transportation and Traffic Engineering, University of California
SHELL BISTRO Computer program	SHELL OIL Company, U.S.A.

/ RTG

FIGURE 1A SENSITIVITY ANALYSIS FOR ACP, LVM, VALUES OF VARIABLES & ALL AVERAGES

THE CONSTRUCTION MATERIALS UNDER CONSIDERATION ARE

LAYER CODE	MATERIALS NAME	COST PER CY	LAYER COEFF.	MIN. DEPTH	MAX. DEPTH	WASTAGE PCT.	SS VALUE
1	A TOP LAYER	35.00	.30	3.00	18.00	50.0	2.00
2	B SECOND LAYER	12.00	.15	3.00	15.00	50.0	1.50
3	C THIRD LAYER SUBGRADE	7.00 4.00	.10 0.00	3.00 0.00	15.00 0.00	50.0 0.0	1.00 0.00

THIS IS AN ACP ROAD.

TOTAL NUMBER OF INPUT MATERIALS, EXCLUDING SUBGRADE	3
NO. OF LAYERS OF MATERIAL WHICH WAS PREVIOUSLY CONSTRUCTED	0
LENGTH OF THE ANALYSIS PERIOD (YEARS)	20.0
WIDTH OF EACH LANE (FEET)	12.0
ROAD WIDTH OF THE ROAD (FEET)	20.0
SLOPE OF THE BASE IN RELATION TO 1.0	2.0
INTEREST RATE ON TIME VALUE OF MONEY (PERCENT)	0.0
REGIONAL FACTOR	1.0

SERVICEABILITY INDEX OF THE INITIAL STRUCTURE	4.2
SERVICEABILITY INDEX P1 AFTER AN OVERLAY	4.2
MINIMUM SERVICEABILITY INDEX P2	2.0
SWELLING CLAY PARAMETERS -- P2 PRIME	1.50
81	20.00

MAX FUNDS AVAILABLE FOR INITIAL DESIGN (DOLLARS PER MILE)	15000.00
MAXIMUM ALLOWED THICKNESS OF INITIAL CONSTRUCTION (INCHES)	25.0
MINIMUM OVERLAY THICKNESS (INCHES)	1.0
ACCUMULATED MAXIMUM DEPTH OF ALL OVERLAYS (INCHES)	12.0
MAXIMUM OVERLAY THICKNESS (INCHES)	4.0

C.L. DISTANCE OVER WHICH TRAFFIC IS SLOWED IN THE O.D. (MILES)	.50
C.L. DISTANCE OVER WHICH TRAFFIC IS SLOWED IN THE N.O.D. (MILES)	.50
PROPORTION OF VEHICLES STOPPED BY ROAD EQUIPMENT IN O.D. (PERCENT)	5.0
PROPORTION OF VEHICLES STOPPED BY ROAD EQUIPMENT IN N.O.D. (PERCENT)	5.0
AVERAGE TIME STOPPED BY ROAD EQUIPMENT IN O.D. (HOURS)	1.00
AVERAGE TIME STOPPED BY ROAD EQUIPMENT IN N.O.D. (HOURS)	1.00

AVERAGE APPROACH SPEED TO THE OVERLAY ZONE (MPH)	30.0
AVERAGE SPEED THROUGH OVERLAY ZONE IN O.D. (MPH)	20.0
AVERAGE SPEED THROUGH OVERLAY ZONE IN N.O.D. (MPH)	30.0
AVERAGE SPEED OF THE GRADER OR S.C. TRUCK (MPH)	10.0
TRAFFIC MODEL USED IN THE ANALYSIS	2
NUMBER OF LANES OF THE ROAD	2

OPERATING COST FOR NON-TRUCKS (DOLLARS/MILE)	.30
OPERATING COST FOR TRUCKS (DOLLARS/MILE)	1.50

TIME BETWEEN SEAL COAT (YEARS)	5.0
VALUES FOR THE MINIMUM TIME BETWEEN REHABILITATIONS (YEARS)	

FORM 1a / SENSITIVITY ANALYSIS FOR ACP, LVR, VALUES OF VARIABLES & ALL AVERAGES

FORM 1a LAYER DESIGN WITH THE FOLLOWING MATERIALS--

LAYER CODE	MATERIALS NAME	COST PER CY	LAYER COEFF.	MIN. DEPTH	MAX. DEPTH	SALVAGE PCT.	SS VALUE
1	TOP LAYER	35.00	.30	1.00	10.00	50.0	8.00
	SUBGRADE	7.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00

THE OPTIMAL DESIGN FOR THE MATERIALS UNDER CONSIDERATION--

FOR INITIAL CONSTRUCTION THE DEPTHS SHOULD BE

TOP LAYER 7.75 INCHES

THE LIFE OF THE INITIAL STRUCTURE = 7.25 YEARS

THE OVERLAY SCHEDULE IS

2.00 INCHES (INCLUDING 1 INCH LEVEL-UP) AFTER 7.25 YEARS,

TOTAL LIFE = 23.98 YEARS

SEAL COAT SCHEDULE

(1) 5.25 YEARS

(2) 17.25 YEARS

(3) 17.25 YEARS

THE TOTAL COST IN DOLLARS FOR THESE CONSIDERATIONS ARE

	PER SQ. YD.	PER MILE
INITIAL CONSTRUCTION COST	7.519	126084.49
TOTAL ROUTINE MAINTENANCE COST	.381	4201.44
TOTAL OVERLAY CONSTRUCTION COST	1.135	15974.67
TOTAL DELAY COST DURING OVERLAY CONSTRUCTION	.001	12.22
TOTAL DELAY COST DURING SEAL COAT	.000	.75
TOTAL SEAL COAT COST	.280	4285.74
SALVAGE VALUE	-.913	-12645.45
TOTAL OVERALL COST	8.343	117074.65
OPERATING COST FOR NON-TRUCK	16.493	116109.41
OPERATING COST FOR TRUCKS	16.493	116109.41

NUMBER OF FEASIBLE DESIGNS EXAMINED FOR THIS SET -- 16

AT THE OPTIMAL SOLUTION, THE FOLLOWING BOUNDARY RESTRICTIONS ARE ACTIVE--

NONE

PROJ 1A SENSITIVITY ANALYSIS FOR ACP, LVR, VALUES OF VARIABLES = ALL AVERAGES

FOR 2 LAYER DESIGN WITH THE FOLLOWING MATERIALS--

LAYER CODE	MATERIALS	NAME	COST PER CY	LAYER COEFF.	MIN. DEPTH	MAX. DEPTH	SALVAGE PCT.	SS VALUE
1	A	TOP LAYER	35.00	.30	1.00	10.00	50.0	2.00
2	B	2 COND LAYER	17.00	.45	3.00	15.00	50.0	4.00
		SUBGRADE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00

2 THE OPTIMAL DESIGN FOR THE MATERIALS UNDER CONSIDERATION--

FOR INITIAL CONSTRUCTION THE DEPTHS SHOULD BE

TOP LAYER 4.00 INCHES

SECOND LAYER 7.50 INCHES

THE LIFE OF THE INITIAL STRUCTURE = 7.25 YEARS

THE OVERLAY SCHEDULE IS

2.00 INCHES (INCLUDING 1 INCH LEVEL-UP) AFTER 7.25 YEARS.

TOTAL LIFE = 23.98 YEARS

SEAL COAT SCHEDULE

(1) 5.00 YEARS

(2) 12.25 YEARS

(3) 17.25 YEARS

THE TOTAL COST IN DOLLARS FOR THESE CONSIDERATIONS ARE :

	PER SQ. YD.	PER MILE
INITIAL CONSTRUCTION COST	6.727	94722.22
TOTAL ROUTINE MAINTENANCE COST	.301	4201.00
TOTAL OVERLAY CONSTRUCTION COST	1.135	15974.67
TOTAL DELAY COST DURING OVERLAY CONSTRUCTION	.001	12.22
TOTAL DELAY COST DURING SEAL COAT	.800	.75
TOTAL SEAL COAT COST	.200	4885.70
SALVAGE VALUE	-.826	-11629.70
TOTAL OVERALL COST	7.623	107327.34
OPERATING COST FOR NON-TRUCKS	16.493	116100.01
OPERATING COST FOR TRUCKS	16.493	116100.01

NUMBER OF FEASIBLE DESIGNS EXAMINED FOR THIS SET -- 206

AT THE OPTIMAL SOLUTION, THE FOLLOWING BOUNDARY RESTRICTIONS ARE ACTIVE--

NONE

PROB 1A SENSITIVITY ANALYSIS FOR ACP, LVR, VALUES OF VARIABLES = ALL AVERAGES

FOR THE 3 LAYER DESIGN WITH THE FOLLOWING MATERIALS--

LAYER CODE	MATERIALS NAME	COST PER CY	LAYER COEFF.	MIN. DEPTH	MAX. DEPTH	SALVAGE PCT.	SV VALUE
1	A TOP LAYER	35.00	.34	1.00	10.00	50.0	0.00
2	B SECOND LAYER	12.00	.15	3.00	15.00	50.0	8.00
3	C THIRD LAYER	7.00	.14	3.00	15.00	50.0	8.00
	SURFACE	4.00	2.00	2.00	0.00	0.0	0.00

3 THE OPTIMAL DESIGN FOR THE MATERIALS UNDER CONSIDERATION--

FOR INITIAL CONSTRUCTION THE DEPTHS SHOULD BE

TOP LAYER 4.00 INCHES
 SECOND LAYER 3.75 INCHES
 THIRD LAYER 5.50 INCHES

THE LIFE OF THE INITIAL STRUCTURE = 7.03 YEARS

THE OVERLAY SCHEDULE IS

2.00 INCHES (INCLUDING 1 INCH LEVEL-UP) AFTER 7.03 YEARS.
 TOTAL LIFE = 21.00 YEARS

SEAL COAT SCHEDULE

(1) 5.00 YEARS

(2) 12.03 YEARS

(3) 17.03 YEARS

THE TOTAL COST IN DOLLARS FOR THESE CONSIDERATIONS ARE :

	PER SQ. YD.	PER MILE
INITIAL CONSTRUCTION COST	8,559	92300.66
TOTAL ROUTINE MAINTENANCE COST	301	4201.88
TOTAL OVERLAY CONSTRUCTION COST	1,135	15974.67
TOTAL DELAY COST DURING OVERLAY CONSTRUCTION	0.01	12.22
TOTAL DELAY COST DURING SEAL COAT	0.00	0.75
TOTAL SEAL COAT COST	0.207	430.49
SALVAGE VALUE	-0.000	-11370.45
TOTAL OVERALL COST	7,074	105230.10
OPERATING COST FOR NON-TRUCKS	16,493	116120.01
OPERATING COST FOR TRUCKS	16,493	116109.41

NUMBER OF FEASIBLE DESIGNS EXAMINED FOR THIS SET -- 503

AT THE OPTIMAL SOLUTION, THE FOLLOWING BOUNDARY RESTRICTIONS ARE ACTIVE--

NONE

PROB 1A SENSITIVITY ANALYSIS FOR ACP, LVR, VALUES OF VARIABLES = ALL AVERAGES

A SUMMARY OF THE BEST DESIGN FOR EACH COMBINATION OF MATERIALS, IN ORDER OF INCREASING TOTAL COST (DOLLARS PER MILE)

LANE WIDTH = 12.0 FT.

DESIGN NUMBER	TOTAL COST
3	105230.10
2	107127.14
1	117474.05

ALL MATERIAL COMBINATIONS HAVE AT LEAST ONE FEASIBLE DESIGN.

PROB 14 SENSITIVITY ANALYSIS FOR ACP, LVR, VALUES OF VARIABLES = ALL AVERAGES

SUMMARY OF THE BEST DESIGN STRATEGIES
IN ORDER OF INCREASING TOTAL COST
(DOLLARS PER MILE)

LANE WIDTH = 12.0 FT.

	1	2	3	4	5
MATERIAL ARRANGEMENT	ABC	ABC	ABC	ABC	ABC
INIT. CONST. COST.	92345.	92335.	91109.	93185.	93173.
OVERLAY CONST. COST	15975.	15975.	15975.	15975.	15975.
DELAY COST OVERLAY	12.	12.	12.	12.	12.
DELAY COST SEAL COAT	1.	1.	1.	1.	1.
SEAL COAT COST	4030.	4008.	4031.	4031.	4031.
ROUTINE MAINT. COST	4201.	4201.	4201.	4201.	4201.
SALVAGE VALUE	-11375.	-11374.	-11057.	-11001.	-11063.
TOTAL COST	105238.	105259.	105912.	105904.	105969.
NON-TRUCK OPER. COST	116149.	116149.	116109.	116149.	116139.
TRUCK OPERATING COST	116149.	116149.	116109.	116109.	116109.
NUMBER OF LAYERS	3	3	3	3	3
LAYER DEPTH (INCHES)					
D(1)	4.20.	4.20.	3.75	3.75	3.75
D(2)	3.75	4.50	6.48	5.25	4.50
D(3)	5.50	4.25	3.10	4.25	5.50
NO. OF PERF. PERIODS	2	2	2	2	2
PERF. TIME (YEARS)					
T(1)	7.0	6.8	7.1	7.1	7.1
T(2)	21.9	20.1	23.2	24.2	25.3
OVERLAY STRAT. (INCHES) (INCLUDING LEVEL-UP)					
O(1)	2.0	2.0	2.4	2.0	2.4
NUMBER OF SEAL COATS	3	3	3	3	3
SEAL COAT SCHEDULE (YEARS)					
SC(1)	5.0	5.0	5.2	5.4	5.0
SC(2)	12.3	11.8	12.1	12.1	12.1
SC(3)	17.0	16.8	17.1	17.1	17.1

PROB 14 SENSITIVITY ANALYSIS FOR ACP, LVM, VALUES OF VARIABLES & ALL AVERAGES

SUMMARY OF THE BEST DESIGN STRATEGIES
IN ORDER OF INCREASING TOTAL COST
(DOLLARS PER MILE)

LANE WIDTH = 12.0 FT.

	36	37	38	39	40
MATERIAL ARRANGEMENT	AB	ABC	ABC	ABC	ABC
INIT. CONST. COST	95498.	99100.	99159.	99170.	98398.
OVERLAY CONST. COST	15975.	13696.	13696.	13696.	13696.
DELAY COST OVERLAY	12.	10.	10.	14.	10.
DELAY COST SEAL COAT	1.	1.	1.	1.	1.
SEAL COAT COST	4831.	3629.	3761.	3626.	3793.
ROUTINE MAINT. COST	4241.	4241.	4241.	4241.	4241.
SAVAGE VALUE	-11713.	-12109.	-12106.	-12106.	-12020.
TOTAL COST	108345.	106056.	106062.	106066.	106105.
NON-TRUCK OPER. COST	116109.	116109.	116109.	116109.	116109.
TRUCK OPERATING COST	116109.	116109.	116109.	116109.	116109.
NUMBER OF LAYERS	2	3	3	3	3
LAYER DEPTH (INCHES)					
D(1)	3.75	4.50	4.50	4.50	4.75
D(2)	5.25	3.75	5.25	4.50	3.00
D(3)		5.50	3.00	4.25	5.50
NO. OF PERF. PERIODS	2	2	2	2	2
PERF. TIME (YEARS)					
T(1)	7.1	9.6	9.6	9.2	9.8
T(2)	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8
OVERLAY STRAT. (INCHES) (INCLUDING LEVEL-UP)					
O(1)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
NUMBER OF SEAL COATS	3	2	2	2	3
SEAL COAT SCHEDULE (YEARS)					
SC(1)	5.0	5.0	5.0	5.2	5.0
SC(2)	12.1	14.4	14.0	18.2	13.0
SC(3)	17.1				16.8

THE TOTAL NUMBER OF FEASIBLE DESIGNS CONSIDERED WAS 895

PROJ. 101A SENSITIVITY ANALYSIS FOR AGGREGATE SURFACED A ADS AVERAGE LEVEL

SUMMARY OF THE BEST DESIGN STRATEGIES
IN ORDER OF INCREASING TOTAL COST
(DOLLARS PER MILE)

LINE WIDTH = 14.8 FT.

	1	2	3	4	5
MATERIAL ARRANGEMENT	A8	A	A8	A	A8
INIT. CONST. COST	76310.	76690.	82796.	83046.	89347.
AGGREGATE ADD. COST	49024.	52644.	44612.	47743.	42150.
DELAY EST AGG. ADD.	127.	133.	113.	121.	187.
DELAY COST GRADING	54.	49.	54.	58.	150.
GRADING COST	7840.	7678.	7776.	7815.	7766.
ROUTINE MAINT. COST	2121.	2121.	2121.	2121.	2121.
SALVAGE VALUE	-12973.	-14148.	-12254.	-12960.	-12082.
TOTAL COST	123399.	125127.	125217.	127915.	129482.
NON-TRUCK OPER. COST	116109.	116109.	116109.	116109.	116109.
TRUCK OPERATING COST	116109.	116109.	116109.	116109.	116109.
NUMBER OF LAYERS	2	1	2	1	2
LAYER DEPTH (INCHES)					
D(1)	8.00	13.00	9.00	14.00	13.00
D(2)	8.00		8.00		8.00
NO. OF PERF. PERIODS	6	7	6	6	6
PERF. TIME (YEARS)					
T(1)	2.0	2.0	2.7	2.5	3.4
T(2)	4.9	4.6	6.7	5.5	6.6
T(3)	6.1	7.7	10.2	8.8	11.1
T(4)	11.3	11.0	13.5	12.1	14.6
T(5)	15.5	15.3	16.9	16.3	17.9
T(6)	20.0	18.7	25.0	25.4	25.4
T(7)		25.0			
AGGREGATE ADD. STRAT. (INCHES)					
AA(1)	3.0	3.0	4.0	3.0	3.0
AA(2)	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0
AA(3)	3.0	4.0	3.0	3.0	3.0
AA(4)	4.0	3.0	3.0	4.0	3.0
AA(5)	4.0	3.0	3.0	4.0	3.0
AA(6)		3.0			
NUMBER OF GRADINGS	77	76	77	77	77

A GRADING IS TO BE DONE EVERY .3 YEARS

SENSITIVITY ANALYSIS

FOREST SERVICE PROJECT

VARIABLE NAME FORM VALUE	REGIONAL FACTOR			SWELLING CLAY P.			FBI			SLOPE OF THE BASE			OWNER			SEAL COAT COST			up to 49 VARIABLES		
	L	A	H	L	A	H	L	A	H	L	A	H	L	A	H	L	A	H			
KURKON	▲			▲			▲			▲			▲			▲			▲		1
		▲			▲			▲			▲			▲			▲			▲	2
		▲			▲			▲			▲			▲			▲			▲	n
		▲			▲			▲			▲			▲			▲			▲	n
JOB		▲			▲			▲			▲			▲			▲			▲	1
			▲			▲			▲			▲			▲			▲			2
	▲			▲			▲			▲			▲			▲			▲		n
	▲			▲			▲			▲			▲			▲			▲		n
HIGH	▲				▲			▲			▲			▲			▲			▲	1
		▲				▲			▲			▲			▲			▲			2
			▲			▲			▲			▲			▲			▲			n
			▲			▲			▲			▲			▲			▲			n
																		RUNS			
																		up to 340			

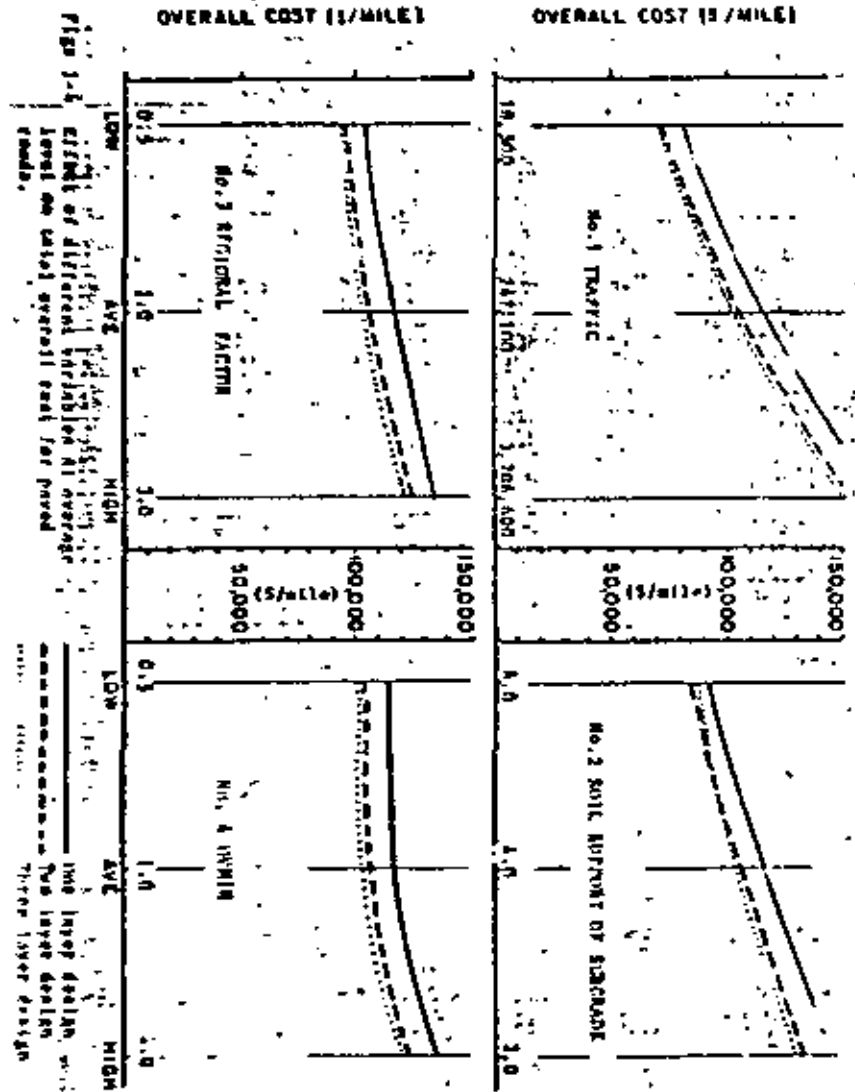
TABLE 1. LIST OF VARIABLES AND RANGES

Variable Name	Low	Average	High
<u>Miscellaneous Input</u>			
Total number of materials available without subgrade	3	3	3
Total number of materials available without subgrade	2	2	2
Width of each lane (feet)	12	12	12
Width of each lane (feet)	14	14	14
Number of lanes	2	2	2
Interest rate	12	8	6
<u>Performance Variable</u>			
Regional factor	0.3	1.0	3.0
Initial serviceability index (I _{si})	4.3	4.2	3.8
Serviceability index after an overlay (P1)	4.3	4.2	3.8
Terminal serviceability index (P2)	1.3	2.0	2.5
Non-traffic deterioration parameter (P2P)	3.0	1.3	0
Swelling clay parameter (b _s)	0	0.06	0.12
*Surface material loss than 3/4" (X)	70	83	93

(Continued)

TABLE 2. PAVED ROADS. AVERAGE LEVEL. BAKING, EXECUTION TIME, AND RESULTS OF VARIABLES MAKING THE MOST SIGNIFICANT EFFECT ON COST.

Sensitivity Analysis	Condition: Average		Type: Paved Roads	
	Computer Execution Time (Secs)	Results Overall Cost (\$ per Mile)	Difference (\$ per Mile)	Ranking of Variable
All Variables Fixed at Average Level	25.9	117,424.05		
		102,327.34	1 Layer Design	
		105,238.18	2 Layer Design	
			3 Layer Design	
Traffic	26.7	216.5		
AUT Long		L 82,264.71	88,222.39	
Trucks		H 120,499.20		
AUT Eror		L 72,264.09	81,302.79	1
Long Trucks		H 156,871.48		
Cur / DR Hg		L 73,890.78	79,467.20	
ESAL		H 157,567.98		
Soil Support	28.6	115.8		
Schwehr		L 93,843.78	53,582.34	
		H 146,426.66		
		L 87,436.75	43,782.98	
		H 133,132.15		
		L 88,944.36	42,873.85	
		H 132,812.71		
Regional Factor	22.8	66.7		
		L 105,359.66	39,731.23	
		H 136,110.89		
		L 96,979.94	28,384.42	
		H 125,364.34		
		L 95,369.87	28,449.28	
		H 123,819.17		



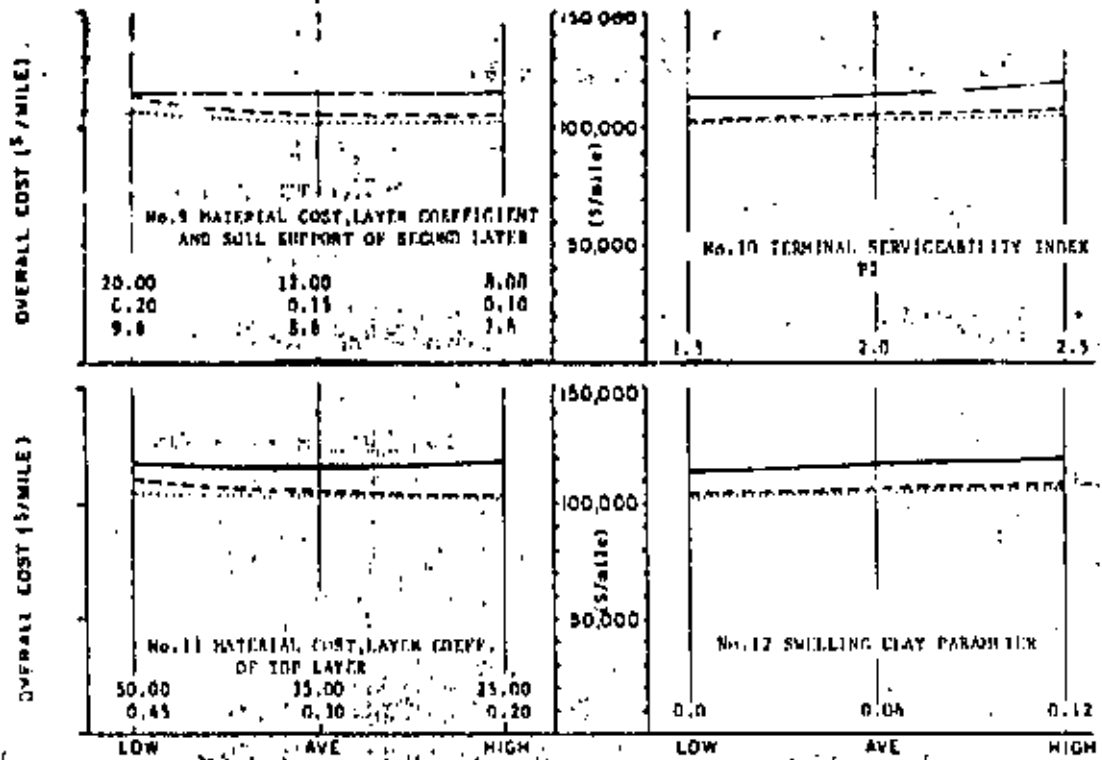


Fig 9-12 Effect of different variables at average level on total overall cost for paved roads.

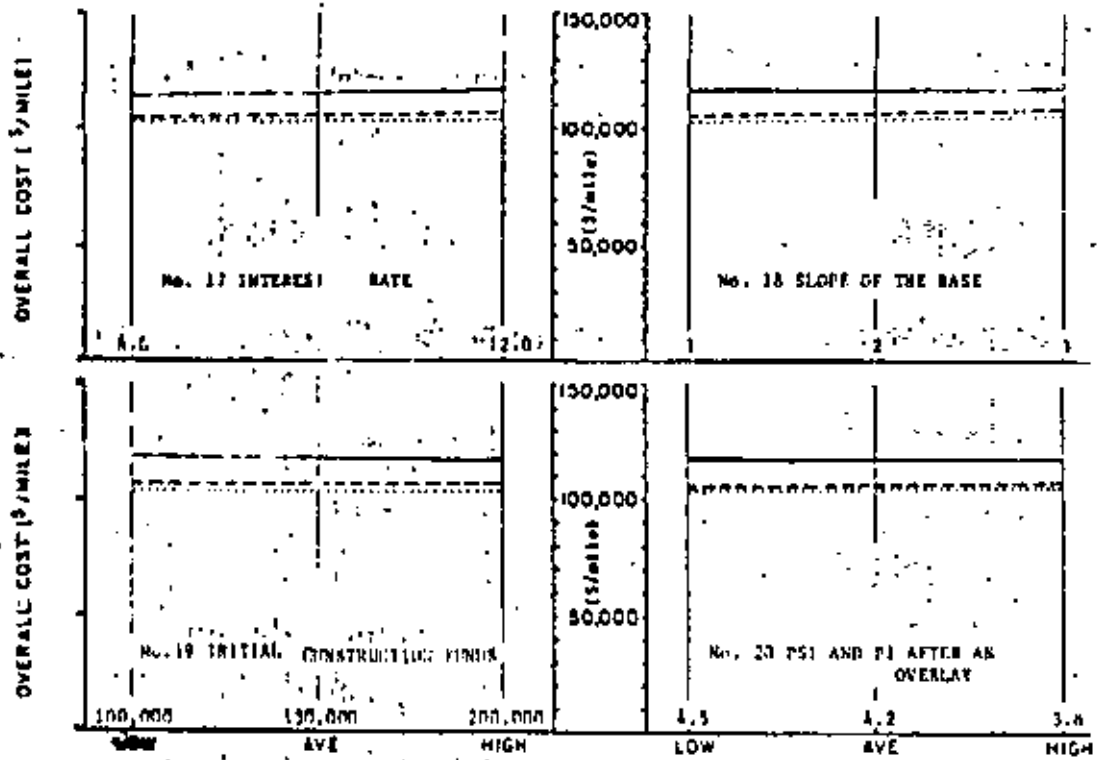
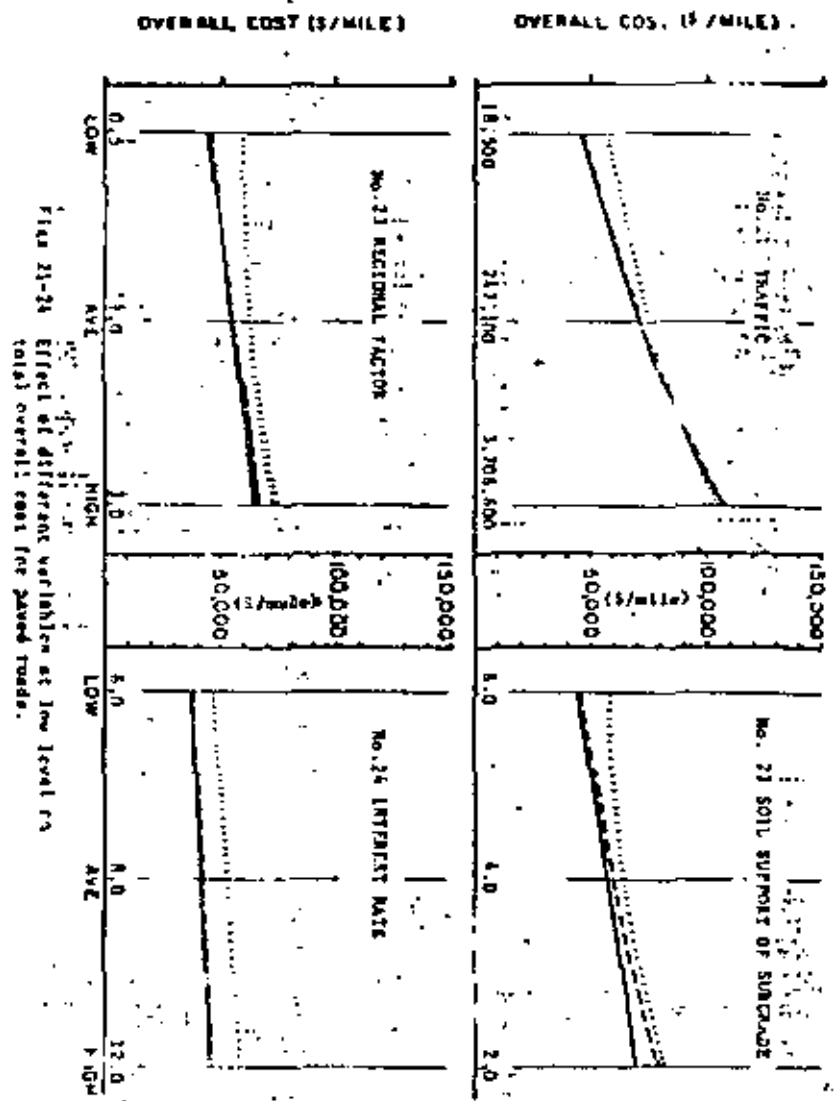


Fig 9-20 Effect of different variables at average level on total overall cost for paved roads.

TABLE 3. PAVED ROADS. LOW LEVEL. BANKING, EXECUTION TIME, AND RESULTS OF VARIABLES HAVING THE LARGEST EFFECT ON COST.

Sensitivity Analysis		Condition: Low		Type: Paved Roads		Ranking of Variables	
Variable	Computer Execution Time Low & High (Secs)	Results Overall Cost \$5 per Mile	Difference (\$ per Mile)				
All Variables Found at Low Level	3.7	46,666.93	1 Layer Design	Note:			
		46,802.23	2 Layer Design	Diff. is calculated			
		58,633.83	3 Layer Design	Low vs. High Runs			
Traffic	4.0	4.4	A 73,671.64	63,777.05			
ADT Non Logg Trucks			H 109,743.98				
ADT Logg Trucks			A 72,372.38	61,361.96			
Cum. 218 kip ESAL			H 108,144.19				
			A 76,770.30	48,630.00			
			H 102,744.77				
Soil Support of Subgrade	3.9	4.5	A 58,633.83	25,737.57			
			H 72,704.50				
			A 62,381.10	34,558.21			
			H 81,360.44				
			A 63,980.88	24,852.76			
			H 83,486.58				
Regional Factor	3.9	4.5	A 54,912.65	18,136.48			
			H 64,603.41				
			A 53,976.50	17,112.37			
			H 61,914.60				
			A 61,167.93	17,602.35			
			H 72,236.18				



RESULTS

JA

FOREST SERVICE PROJECT

TYPE :	LEVEL :	# VARIABLES :	EFFECT :
PAVED	AVE	20/49	SIGNIFICANT
		15/20	LARGEST S.E.
		88,000 → 3,400 DIFF.	
		22 → 33	SMALL
		34 → 49	NO EFFECT
PAVED	LOW	14/49	SIGNIFICANT
		7/14	LARGEST S.E.
		63,000 → 3,600	
		15 → 49	NO EFFECT
PAVED	HIGH	SEE CONCLUSIONS & OBSERV.	
AGG. SURFACED ROADS	AVE	24/47	SIGNIFICANT
		16/24	LARGEST S.E.
		>66,000 → 3,200	
		25 → 32	SMALL
		33 → 47	NO EFFECT

Based on the overall results obtained from performed sensitivity analysis on asphalt concrete paved roads and aggregate surfaced roads, the following conclusions and recommendations are given.

Asphalt Concrete Paved Roads.-

1.- When dealing with the asphalt paved roads design, the user should spend more time and attention to the following variables, which had demonstrated to have the most significant effects;

Variable	Ranking
Traffic variables	1
Soil support of the subgrade	2
Regional Factor	3
Min. thickness of an individual rehabilitation	4
Salvage value of different layers	5, 8, 16
Annual routine maintenance cost	6
Time between seal coats	7
Material cost, layer coefficients and soil support values of top layer	11
second layer	9
third layer	14
Terminal serviceability index P2	10
Swelling clay parameter	12
Non-deterioration parameter P2P	13

	Ranking
Equal cost cost	15
Interest rate	17
Slope of the base	10
Initial funds for construction	19
F51 and 51 after an overlay	13

It is advisable also, to give additional attention to variables having a rank of 1, 2, 3, 4, 9, 11, 12, 13 and 14 due to the large effect on computer execution time.

Based on the previously mentioned results, it would be recommended to fix at a mean value the variables having only a small effect on the final answer (rank of variables with a rank higher than 20).

2.- When the analysis was performed for low level, (solutions run at average and high values, rest fixed at low), it was found a number of 7 variables having the most significant effect, but they are basically the same as variables found for average level, with only a small difference in the ranking weight. Computer execution time did not show any effect.

3.- From obtained results when high level was performed, there are not specific conclusions, except those observations listed on respective analysis.

Aggregate Surface Loss

1.- The following variables having had demonstrated to have the most significant effect on the total overall cost, so it is necessary to open special attention to them.

	Ranking
Traffic variables	
Material costs, layer coefficients and soil support of top layer and annual layer	2,
Aggregate surface loss	3
Soil support value of subgrade	4
Salvage value of top layer	5
Min. thickness of an individual rehabilitation	6
Grading cost	7
Regional factor	8
Swelling clay parameters	10
Interest rate	11
Minimum length of performance period (KTTD)	12
Slope of the base	17
Accum. maximum thickness of all rehabilitation	16
Time between gradings	15
Annual routine maintenance cost	18
Terminal serviceability index P2	17
IAS	10
F51 and 51 after an overlay	13
low-deterioration parameter (F2P)	19
ASD	21
F2P	22
ASCE	23
KLSD	24

As can be observed, these variables are basically the same as those used

in paved roads with significant effects, but there are some additional ones, which are involved for aggregate roads only, such as aggregate surface loss, grading cost, time between gradings and min length of performance period.

It is recommended also, to give additional attention to variables having a rank of 1,2,3,4,6,8,9,10,12,14,15 due to the largest effect on execution time, especially when dealing with OWMIN and OWMAX.

Based on previously mentioned results, it could be advisable to fix at a "mean" value, the variables having only a small effect on the final answer (rank of variables with rank higher than 24)

17) NOTICING PROBLEM VARIABLES.

One of the important objectives of this study, is to find and to notice, problem variables in order to prevent to the user and/or designer with it.

It is recognized that through the whole sensitivity analysis, there are several too restrictive variables for the specified construction conditions. In other cases, there were no binding conditions, in order to get a pavement structure that could meet requirements.

The most significant variables, having the largest effect on total overall cost, were always associated with some kind of problem. As a matter of fact, the minimum thickness of an individual rehabilitation had big problems with execution time and it had also one of the most significant effects for aggregate roads cost.

It is very important to handle values for this variable because of the large effect itself on cost (\$3,000 dollars per mile difference when varying only from 2 to 4 inches). On the other hand, it was printed a warning message on the original User's Manual version, recommending a maximum difference of 7 inches (aggregate roads) between OWMIN and OWMAX.

Looking results from the sensitivity analysis performed for aggregate roads, average level, it was demonstrated the excessive increment on computer time (5 secs. when no difference, 21 when one inch difference and 232 when two inches difference) when OWMIN and OWMAX are combined. So it could be highly recommended to pay a lot of attention when dealing with these values and variables, due to the excessive

Traffic conditions were also variables with problem. First of all, these variables (grouped together design period, AUT logging and no logging trucks and 18 KIP ESAUL) was always, for every analized condition or level, the number one ranking. This means that the most significant effect among all variables.

When dealing with these characteristics, the designer has to be aware due to the significant effect on cost (48,000 dollars per mile difference when varying from low to high values). So traffic has to be always analized in detail.

Traffic was also responsible some times in obtaining no feasible design for aggregate surfaced roads due to be a too restrictive condition when high value was used. For computer time when executing the program, traffic also had large effects as demonstrated for paved roads (differences even 27 in I16 sect.). So, for sure it has to be paid careful attention here.

Soil support value of the subgrade, regional factor, materials cost, layer coefficients, soil support of layers, swelling clay parameters, aggregate surface loss are also variables having large effect on costs and large differences on execution, so it is advisable to spend more time to them when using and designing with LVR program.

There is an additional variable having problems when dealing with; the K110, minimum length of performance period. At some stage of the analysis, there was a problem with this variable because of the interaction with the swelling clay parameter. It was found that K110 became critical when using a high value for swelling clay (i.e. 0.12) (demonstrated graphically and solving by hand the AASHTO performance basic equation). Also the higher the length of period, the

larger the problem.

Based on that process, it was intended to reduce gradually K110. Results, the smaller the period, the larger the execution time. But, as warning, when K110 is reduced to zero, the computer will stay in " infinite loop ".

It is going to be printed a warning message in the User's Manual, new version establishing a new default value for this variable : K110, 0.1 year.

It is recognized also that there are several too restrictive values in some variables for the specified construction conditions, therefore the User has to spend more time when characterizing them.

Problem Variables listing summary:

- 1.-Minimum thickness of an individual rehabilitation (OMIN)
- 2.-Maximum thickness of an individual rehabilitation (OMAX)
- 3.-Traffic variables
- 4.-Min. length of performance periods (K110)
- 5.-Swelling clay parameter (b₁)
- 6.-Regional factor
- 7.-Materials cost
- 8.-Layer coefficients
- 9.-Soil support values (specially for subgrade)
- 10.Aggregate surface loss
- 11.Time between gradings or seal coats



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL SISTEMA DE RECURSOS HUMANOS

DR. MARCO ANTONIO MURRAY LASSO

NOVIEMBRE, 1981

CARACTERISTICAS PRINCIPALES
DEL SISTEMA DE RECURSOS HUMANOS

1. OBJETIVIDAD
2. OPTIMIZACION CON RESPECTO A TODO EL DEPARTAMENTO.
3. MEJOR USO DE LAS HERRAMIENTAS TRADICIONALES DE EVALUACION.
4. FACILIDAD DE APLICARLO EN GRAN ESCALA.

7

OBJETIVIDAD

PREVIA DECISION SOBRE LA METODOLOGIA DE EVALUACION, FACTORES A CONSIDERAR, COMO SE MIDEN LOS FACTORES, PESOS QUE SE LES DARAN A LOS FACTORES.

MULTITUD DE HERRAMIENTAS PARA HACER LA MEDICION. (PRUEBAS, TESTS, FORMAS ESPECIALES PARA ENTREVISTAS, FORMAS ESPECIALES PARA "CARTA DE RECOMENDACION").

VARIAS PERSONAS INVOLUCRADAS EN LA EVALUACION. LA EVALUACION QUEDA ESCRITA Y COMPROMETE AL EVALUADOR A EXPLICAR SU EVALUACION.

2

OPTIMIZACION

1. EL SISTEMA NO DA UNA SOLA CALIFICACION GLOBAL SINO UNA PARA CADA POSIBLE PUESTO.
2. EL SISTEMA OPTIMIZA LA CALIFICACION TOTAL DEL DEPARTAMENTO DESCUBRIENDO LA OPTIMA ASIGNACION DE ENTRE TODAS LAS POSIBLES ASIGNACIONES DE PERSONAS A PUESTOS.
3. EL SISTEMA INCLUYE PROGRAMAS DE COMPUTADORA COMPLICADOS QUE UTILIZAN TECNICAS DE INVESTIGACION DE OPERACIONES PROBADAS Y MUY UTILIZADAS EN E. U. EN INSTITUCIONES GUBERNAMENTALES, PRIVADAS Y EN LAS FUERZAS ARMADAS.

3

HERRAMIENTAS

EL SISTEMA UTILIZA LAS HERRAMIENTAS DE EVALUACION TRADICIONALES COMO LA ENTREVISTA, EL EXAMEN, EL TEST PSICOLOGICO Y LA CARTA DE RECOMENDACION, PERO HABIENDO MEJORADO NOTABLEMENTE LA FACILIDAD DE APLICACION Y UTILIDAD DE ALGUNAS DE ELLAS, EN ESPECIAL LA ENTREVISTA Y LA CARTA DE RECOMENDACION.

EL USO DE LAS HERRAMIENTAS ES SISTEMATIZADO Y SE SABE OPERATIVAMENTE COMO INFLUIRA EN LA EVALUACION TOTAL - CADA RESPUESTA DE LA ENTREVISTA Y LA "CARTA DE RECOMENDACION."

LA SISTEMATIZACION PERMITE ESTABLECER ESTANDARES Y NORMAS PARA FUTURO MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL PERSONAL A BASE DE MEJOR SELECCION.

4

APLICACION EN GRAN ESCALA

1. POR ESTAR SISTEMATIZADA LA EVALUACION CON INSTRUCTIVOS SE PUEDE APLICAR EN VARIOS DEPARTAMENTOS A LA VEZ BAJO LA SUPERVISION DEL DEPARTAMENTO DE RECURSOS HUMANOS.
2. NO OBSTANTE EL MANEJO DE MUCHOS NUMEROS, POR ESTAR COMPUTARIZADO, EL SISTEMA OBTIENE RESULTADOS RAPIDAMENTE Y CON POCO RIESGO DE ERRORES.
3. LA APLICACION EN GRAN ESCALA PERMITE AFINAR LAS NORMAS Y ESTANDARES Y REFINAR LAS HERRAMIENTAS CON SU USO.
4. LA APLICACION EN GRAN ESCALA REDUCE LOS COSTOS UNITARIOS PERMITIENDO HACER ESTUDIOS DE ALTA CALIDAD CUYO COSTO QUEDA DIVIDIDO ENTRE MUCHOS INDIVIDUOS EVALUADOS Y ASIGNADOS.

5

FUENTES DE INFORMACION

ENTREVISTA
CARTA DE RECOMENDACION
PRUEBAS
INVESTIGACION

ENTREVISTA

- VARIOS ENTREVISTADORES INDEPENDIENTES.
- OPINIONES ESCRITAS FIRMADAS
- OPINIONES NUMERICAS EN FORMAS ESPECIALES.
- CALIFICACIONES DE RASGOS ESPECIFICOS.
- PROMEDIAR CALIFICACIONES EN RASGOS Y EN TOTAL.
- 5 ENTREVISTADORES PARA EJECUTIVOS (JEFE INMEDIATO, DIRECTOR, PSICOLOGO).
- JUSTIFICACION DE JUICIOS ESPECIALMENTE EXTREMOS.
- JUNTA PARA DISCUTIR DIFERENCIAS DE OPINIONES.
- CALIFICACIONES PARA VARIOS PUESTOS PARA OPTIMIZAR UN GRUPO.

CARTA DE RECOMENDACION

- FORMA CON PREGUNTAS ESPECIFICAS.
- CALIFICACIONES NUMERICAS
- PLATICA CON PERSONA QUE LLENO CARTA DE RECOMENDACION.

PRUEBAS

- PERSONALIDAD
- INTELIGENCIA
- FACILIDAD NUMERICA
- CONOCIMIENTOS NUMERICOS
- MECANOGRAFIA Y MAQUINAS DE CALCULAR.
- CONOCIMIENTOS ESPECIALES PARA EL PUESTO.

INVESTIGACION

- ESTUDIO SOCIOECONOMICO
- FORMAS CON PREGUNTAS ESPECIFICAS.
- CALIFICACIONES NUMERICAS.

6

CARACTERISTICAS DE CANDIDATOS
(NIVEL SUPERVISION)

FACTORES PRIMARIOS ADICIONALES

- . AGRESIVIDAD, SEGURIDAD Y CONFIANZA
- . PRESENTACION, DIRECCION Y TRATO
- . ENERGIA Y AMBICION
- . OPINION DE SUS JEFS

7

FACTORES SECUNDARIOS ADICIONALES

- . TRAYECTORIA DE TRABAJO
- . ESTUDIOS ADICIONALES

FACTORES TERCIARIOS ADICIONALES

- . ESTILO DE VIDA

(NIVEL GERENCIAL)

FACTORES PRIMARIOS ADICIONALES

- . CREATIVIDAD E INICIATIVA
- . EXPERIENCIA ADMINISTRATIVA

CARACTERISTICAS DE CANDIDATOS
(NIVEL EJECUCION)

FACTORES PRIMARIOS (PESO 3)

- . ESTABILIDAD ENOCIONAL
- . FACILIDAD EN ADAPTACION SOCIAL
- . INTELIGENCIA
- . ESTUDIOS
- . SALUD FISICA Y MENTAL
- . EDAD
- . FACILIDAD NUMERICA

8

FACTORES SECUNDARIOS (PESO 2)

- . OPINION JEFE INMEDIATO
- . CONOCIMIENTOS Y HABILIDADES PARA PUESTO ESPECIFICO.

FACTORES TERCIARIOS (PESO 1)

- . HABILIDAD MECANICA APARATOS OFICINA
- . ESTADO CIVIL
- . SEXO
- . PRESENTACION
- . NIVEL SOCIO-ECONOMICO
- . ANTECEDENTES LEGALES

9

10 - 1

CARACTERISTICAS PARA LAS CALIFICACIONES

DIFERENCIALES

ANALISTA:	facilidad numérica aritmética conocimientos de seguros (peso 2) mecanografía
SECRETARIA:	mecanografía (peso 2) presentación carácter temperamento
RADIO-TELEFONISTA:	estabilidad emocional adaptación social carácter temperamento (peso 2)
RECEPCIONISTA:	estabilidad emocional adaptación social conocimientos de seguros nivel socio económico carácter temperamento presentación (peso 2)

CLASE SOCIAL:

Los informes dados sobre la clase social de los sujetos examinados abarcaron solamente tres niveles; se calificó como sigue: media baja 0; media y media alta 1.

ESTUDIOS:

Por tratarse de gente ya contratada, no se aplicó el concepto de menos infinito; en vez de eso, a la persona sin secundaria se le dió una calificación de menos dos (-2). Usando éste como punto de partida, se formó la siguiente escala:

no tener certificado de secundaria ni comercio	-2
no tener certificado de secundaria pero sí de comercio	-1
tener certificado de secundaria	0
además de secundaria tener certificado de preparatoria o comercio	+1
además de preparatoria tener como mínimo 1 año de estudios técnicos o universitarios	+2
tener un título universitario	+3

Sin embargo, para futuros candidatos si recomendamos se siga la escala del Reporte Previo.

La manera de medir las características indicadas se su-
ñala a continuación.

FACTORES CLAVE

1. Estabilidad Emocional 2. Facilidad en adaptarse socialmente

Se mide utilizando los siguientes medios:

- Tres entrevistas en las que interviene el Jefe del Departamento en que quedará el empleado. (Uno de los entrevistadores es mujer). Los reportes de las entrevistas deben ponerse por escrito independientemente.
- Observación durante el período de prueba (cuando lo permita la ley) poniendo atención a quejas.
- Análisis de la historia de trabajo del candidato junto con una investigación telefónica, por correo o personal con los ex-jefes del candidato.

Estas características se calificarán en la siguiente forma:

- ∞ clara inestabilidad emocional.
- 0 mínima aceptable.
- 1 normal.
- 2 buena.
- ∞ gran dificultad en adaptarse socialmente.
- 0 mínima aceptable.
- 1 normal.
- 2 buena.

6. Edad

Para ocupar un puesto a este nivel sólo se considerarán personas con edad mínima de 21 años. La edad se determinará por copia del acta de nacimiento.

Por cuestiones de experiencia y de pensión se calificará en la siguiente forma:

- ∞ menor de 21 años.
- 0 entre 21 y 23 años
- 1 entre 23 y 25 años
- 2 entre 25 y 30 años
- 0 entre 30 y 40 años
- 10 más de 40 años.

7. Facilidad Numérica

Se mide en igual forma que para el personal a nivel ejecución utilizando la misma prueba y las mismas calificaciones, pero poniendo el punto de corte más alto que el del nivel de ejecución.

8. Agresividad, Seguridad y Confianza en sí mismo.

Se busca agresividad en el sentido positivo de la palabra sin confundirla con hostilidad; una agresividad suficiente para defender los intereses de la compañía adecuadamente cuando se tenga razón. Se busca también seguridad y confianza en sí mismo para poder supervisar el trabajo de otros.

Estas características se medirán con los mismos métodos que los que se utilizan para medir estabilidad emocional.



La manera de medir las características indicadas se señala a continuación.

FACTORES CLAVE

1. Estabilidad Emocional
2. Facilidad en Adaptarse Socialmente

A los candidatos a ocupar puestos en el nivel gerencial se les harán 5 entrevistas en las que participarán el Director General, Subdirector, un psicólogo, el Jefe de Personal y el futuro jefe inmediato. Los reportes de las entrevistas se pondrán por escrito independientemente. En las entrevistas se calificarán características como estabilidad emocional, facilidad de adaptarse socialmente, agracia, seguridad y confianza en sí mismo, promediándose las calificaciones de los diversos entrevistadores.

Otro medio de medición será un cuidadoso análisis de la historia de trabajo del candidato la cual será corroborada por medio de una cuidadosa investigación.

Las características se calificarán en la siguiente forma:

-∞ clara inestabilidad emocional
0 mínima aceptable
1 normal
2 buena

-∞ gran dificultad en adaptarse socialmente
0 mínima aceptable

Para llegar a este nivel se requerirá que el candidato dé evidencia de tener experiencia administrativa sustancial y exitosa.

La medición de esta característica se hará por medio de un análisis cuidadoso de su historia de trabajo con una investigación cuidadosa para corroborarla.

Se calificará en la siguiente forma:

-∞ sin experiencia, o con experiencia inferior a un año, ó con experiencia poco exitosa.
-1 entre 1 y 2 años de experiencia exitosa
0 entre 2 y 3 años
1 entre 3 y 4 años
2 entre 4 y 5 años
3 más de 5 años de experiencia exitosa.

FACTORES ELASTICOS IMPORTANTES

1. Estudios más allá de los mínimos

La preparación de los candidatos a ocupar puestos a nivel gerencial es de gran importancia, razón por la cual se otorgarán puntos adicionales a los candidatos que tengan una preparación superior a la de preparatoria.

Se calificará en la siguiente forma:

1 algunos estudios adicionales a la preparatoria o estudios profesionales.
2 Carta de Pasante de sus estudios profesionales
3 título profesional

2. Conocimientos y habilidades especiales relacionados con el trabajo específico que desempeñará el candidato de inmediato

20. AGRESIVIDAD Y DOMINANCIA

-1 escasa 0 normal 1 notable 2 muy notable

21. SOCIABILIDAD Y EXTROVERSION

-1 ausente o escasa 0 normal 1 notable 2 muy notable

22. ESTABILIDAD EMOCIONAL

-1 deficiente 0 dudosa 1 normal 2 ideal

23. PSICOPATOLOGIA

-1 evidente 0 dudosa 1 escasa 2 ausente

24. IMPRESION GENERAL

- negativa 0 indiferente 1 positiva 2 francamente aprobatoria

CALIFICACION: AREA I _____ AREA II _____ AREA III _____

CALIFICACION TOTAL: _____

OBSERVACIONES, COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES DEL ENTREVISTADOR

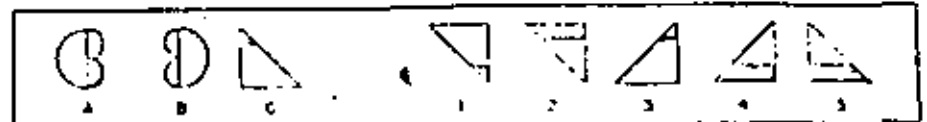
(Utilizar la siguiente hoja en blanco para llenar este concepto)

NOMBRE DEL ENTREVISTADOR _____

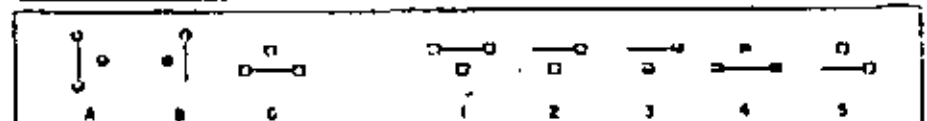
FIRMA _____

FECHA _____

21



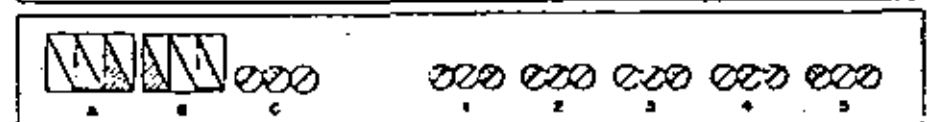
22



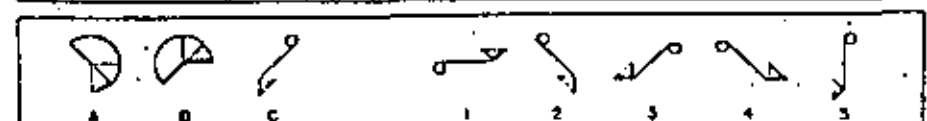
23



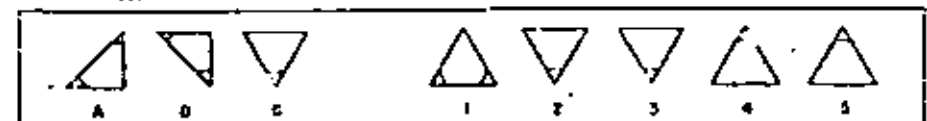
24



25



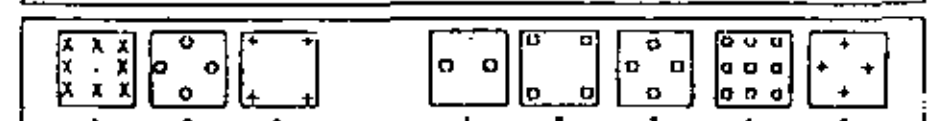
26



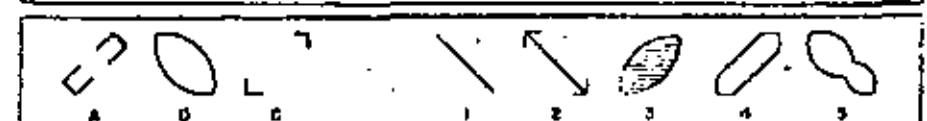
27



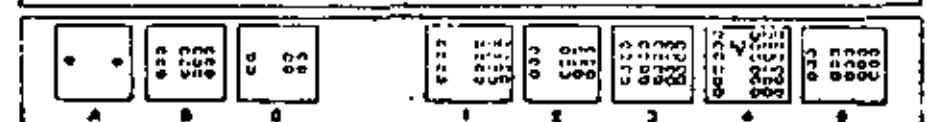
28



29



30



No saque este folleto

Indique sus resp.
en la Hoja Espe-
cial para Respuestas

INSTRUCCIONES

Este test contiene cuarenta problemas numéricos. Para cada problema hay cinco respuestas. Ud. escogerá la respuesta correcta y llenará el espacio debajo de la letra que indica la respuesta correcta en la hoja especial para respuestas.

Ejemplo X

Ejemplo Y

MUESTRA DE LA HOJA DE RESPUESTAS

Suma 13 A 25
12 B 24
C 16
D 59
E ninguna de éstas

Resta 30 A 15
20 B 26
C 16
D 9
E ninguna de éstas

	A	B	C	D	E
X					
Y					

En el ejemplo X, 25 es la respuesta correcta; así, el espacio debajo de la letra que corresponde a 25, B, ha sido llenado.

En el ejemplo Y, la respuesta correcta no ha sido dada; así, el espacio debajo de la letra que corresponde a "ninguna de éstas", E, ha sido llenado.

Cada respuesta debe ser reducida a su expresión más simple. Por ejemplo, de las dos respuestas 1 1/2 y 2/4, solamente 1 1/2 se considerará la respuesta correcta.

REALICE TODAS LAS OPERACIONES EN EL ESPACIO EN BLANCO DE LA HOJA DE RESPUESTAS.

- Suma

393
4638
3790
67

A 7968
B 8604
C 8604
D 8604
E ninguna de éstas
- Resta

5473
2597

A 2875
B 2196
C 2476
D 3166
E ninguna de éstas
- Multiplique

494
25

A 11441
B 11141
C 11441
D 11210
E ninguna de éstas
- Multiplique

204
73

A 1500
B 1510
C 1540
D 1524
E ninguna de éstas
- Multiplique

4.50
22

A .91
B 94.40
C 91.00
D 92.00
E ninguna de éstas

- Multiplique

.025
.025

A .01375
B 9.25
C .25
D 1.375
E ninguna de éstas
- Multiplique

.016
.016

A .256
B 256
C 10276
D 102256
E ninguna de éstas
- Divida

60 + 46 =

A 1 13/16
B 1 23/16
C 1.5
D 1.5
E ninguna de éstas
- Divida

2.25 + .75 =

A .413
B .01
C .3
D .3
E ninguna de éstas
- Divida

.72 + 1.6 =

A .02
B 2
C 2
D 20
E ninguna de éstas

- Divida

304.09 + 64.7 =

A .47
B 4.97
C 4.7
D 47
E ninguna de éstas
- Divida

4036 + .04 =

A 1009
B 109
C 1009
D 1009
E ninguna de éstas
- Divida

1/4 + 1/8 =

A 1/32
B 1/8
C 1/2
D 2
E ninguna de éstas
- Divida

2/7 x 3/7 =

A 6/13
B 3/7
C 2/3
D 6/7
E ninguna de éstas
- Divida

3 x 17/5 x 8 =

A 27/50
B 1 1/2
C 30/45
D 2/3
E ninguna de éstas

- Una compañía de seguros ha tenido las siguientes ventas de pólizas de automóviles de un cierto tipo durante los meses indicados

Enero	Febrero	Marzo	Abril
15,000.00	13,500.00	16,500.00	14,000.00

- ¿Cuántas pólizas es de esperarse que venda la compañía en el año en cuestión?
- En el mes de mayo, en la compañía del problema anterior, se vendieron 15,300 pólizas. ¿Fue este un buen mes en cuanto a ventas? ¿Por qué?
- Durante un mes a los talleres que han sido codificados con los números 1 a 30 se les enviaron las siguientes cantidades de automóviles para su reparación.

Taller	No. de autos	Taller	No. de autos
# 1	100	# 16	89
# 2	78	# 17	60
# 3	98	# 18	85
# 4	103	# 19	68
# 5	80	# 20	74
# 6	75	# 21	70

19

PRESENTACION Y EXPRESION VERBAL

17. Cite cuánto pagaría usted por desmontar y montar las siguientes partes.

PARTES

PUERTA	HAVERICK	
COSTADO TRASERO	GALAXIE	2 y 4
" "	MONACO	2 y 4
" "	DART	2 y 4
" "	DATSUN	
" "	V. N.	
TOLDO	V. N.	
"	HAVERICK	
"	GALAXIE	
LIENZO PTA.	2	
	4	

DESMONTAR Y MONTAR CARROCERIA.

DESMONTAR Y MONTAR TABLERO CON INSTRUMENTOS.

CUANTO PAGARIA POR PINTURA GENERAL

CUANTO PAGARIA POR PINTURA PARTES

1. ASPECTO FISICO

-1 negativo	0 indiferente	1 positivo	2 muy positivo
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. ARREGLO PERSONAL

-1 malo	0 regular	1 bueno	2 muy bueno
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3. MOVIMIENTOS Y GESTOS

-1 malos	0 normales	1 buenos	2 muy buenos
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4. DICCION Y VOZ

-1 mala	0 normal	1 buena	2 muy buena
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5. EXPRESION GRAMATICAL

-1 mala	0 normal	1 buena	2 muy buena
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

6. NIVEL DE CULTURA

-1 bajo	0 regular	1 alto	2 muy alto
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

7. FACILIDAD DE PALABRA

-1 escasa o ausente	0 regular	1 notable	2 muy notable
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



OPINIONES SOBRE EL DESEMPEÑO
DEL TRABAJADOR

2

1. Conocimientos correspondientes a las labores realizadas por el solicitante

CONOCIMIENTOS INSUFICIENTES	CONOCIMIENTOS MEDIANOS NECESARIOS	BUENOS CONOCIMIENTOS	CONOCIMIENTOS MUY BUENOS
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. Logro de resultados en el desarrollo de sus labores

PARA VEZ LOGRA SUS OBJETIVOS	APROXIMADAMENTE LA MITAD DE LAS VECES LOGRA SUS OBJETIVOS	CASI SIEMPRE LOGRA SUS OBJETIVOS
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3. Trayectoria del desarrollo en la empresa del solicitante

DESCENDENTE	HORIZONTAL	LIGERAMENTE ASCENDENTE	PARCIALMENTE ASCENDENTE
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4. Versatilidad del solicitante a diversos tipos de labores

RIGIDO	POCO VERSATIL	VERSATIL	MUY VERSATIL
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5. Capacidad Administrativa del solicitante

NO TIENE CAPACIDAD	POCA CAPACIDAD	CAPACIDAD REGULAR	BUENA CAPACIDAD
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

CONCEPTO	CALIFICACION CRUDA	CALIFICACION CONVERTIDA	CALIFICACION PESADA
1. ESTABILIDAD EMOCIONAL (22E+21E+11C)	100	100	100
2. ADAPTACION SOCIAL (17C+21C+9C+10C)	100	100	100
3. INTELIGENCIA (R5+RN+A)	100	100	100
4. ESTUDIOS	100	100	100
5. SALUD FISICA Y MENTAL EXAMEN IND. MEDICO EXAMEN IND. PSICOL.	100 100	100 100	100 100
6. EDAD	100	100	100
7. FACILIDAD NUMERICA	100	100	100
8. AGRESIVIDAD Y DOMINANCIA (20E)	100	100	100
9. SEGURIDAD Y CONFIANZA (14E+12C)	100	100	100
10. TRATO HUMANO (9C+10C)	100	100	100
11. ENERGIA Y AMBICION (7C+13C+14C+10E+13E+19E)	100	100	100
12. OPINION DE LOS ENTREVISTADORES (Total de E)	100	100	100
13. OPINION DE LOS JESES (Total C)	100	100	100
* 14. CREATIVIDAD Y VERSATILIDAD (15C+21C)	100	100	100
* 15. INICIATIVA Y AUTONOMIA (14C+24C)	100	100	100
* 16. EXPERIENCIA ADMINISTRATIVA	100	100	100
* 17. CAPACIDAD ADMINISTRATIVA (22C)	100	100	100
18. TRAYECTORIA DE DESARROLLO (20C)	100	100	100
19. CONOCIMIENTOS Y HABILIDADES TRABAJO ACTUAL (18C) ARITMETICA ESTADISTICA SEGUROS	100 100 100 100	100 100 100 100	100 100 100 100
20. PRESENTACION Y EXPRESION (Parte I de E)	100	100	100
21. METAS Y MOTIVOS (Parte II de E)	100	100	100
22. CARACTER Y TEMPERAMENTO (Parte III de E+17C+6C)	100	100	100
23. ESTADO CIVIL	100	100	100
24. SEXO	100	100	100
25. NIVEL SOCIO-ECONOMICO	100	100	100
26. ANTECEDENTES LEGALES	100	100	100
27. ESTILO DE VIDA	100	100	100
S U M A S			145

Unicamente para personas de nivel gerencial.

- 23 -
T A B L A IV

VARIACIONES DEL PERSONAL A NIVEL DE EJECUCION PARA
LOS CUATRO PUESTOS A ESE NIVEL.

CLAVE	PUESTOS			
	ANALISTA	SECRETARIA	RADIDTELEFONISTA	RECEPCIONISTA
1	76	64	19	38
2	42	-14	62	35
3	68	-29	38	50
4	29	71	56	54
5	29	21	62	42
6	6	0	62	50
7	19	29	56	46
8	32	29	19	12
9	45	-29	0	27
10	48	-43	38	31
11	23	0	19	23
12	-16	-14	62	15
13	23	0	38	35
14	39	71	81	58
15	23	29	-31	-4
16	29	-29	38	38
17	23	7	-87	-31
18	13	0	19	23
19	26	-43	-69	-38
20	36	-43	-11	-4
21	0	-71	-69	-42
22	45	-29	-31	23

(1-12)

(13-14)

(15-18)

(19-20)

1 11
2 22
3 15
4 19
5 20
6 4
7 6
8 5
9 2
10 12
11 21
12 9
13 16
14 3
15 14
16 7
17 18
18 1
19 17
20 13
21 18
22 10
LA SUMA OPTIMA ES 747.000

- 24 -

RESULTADO DE LA
CORRIDA DE ASIGNACION

FIG. 2

PRUEBA NO. 6 - RAZONAMIENTO NUMÉRICO - NOTA A

Mire usted los problemas de abajo. A cada serie de números le sigue una interrogación donde debe estar el siguiente número. Existen patrones en las series. Usted debe buscar la respuesta en la columna a la derecha de la interrogación y encontrar un número que continúe la serie. Indique su respuesta poniendo una raya debajo del número correcto.

En el primer ejemplo (1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 2), cada número es tres veces mayor que el anterior. Entonces, el siguiente número debe ser tres veces mayor que 19. 19 más 3 es 22. Entonces está marcado el 22.

Ahora vea los cuatro siguientes problemas. Encuentre el patrón en cada serie. Decida qué número debe seguirlo y marque en la columna la respuesta correcta. Resuelva ahora estos problemas.

1.-	1	4	7	10	13	16	19	2	<u>20</u>	<u>21</u>	<u>22</u>	<u>23</u>	<u>24</u>
2.-	20	18	16	14	12	10	8	7	<u>7</u>	<u>6</u>	<u>5</u>	<u>4</u>	<u>3</u>
3.-	20	20	19	19	18	18	17	7	<u>17</u>	<u>16</u>	<u>15</u>	<u>14</u>	<u>13</u>
4.-	4	6	5	7	6	8	7	7	<u>6</u>	<u>7</u>	<u>8</u>	<u>9</u>	<u>10</u>
5.-	2	4	6	8	11	13	15	7	<u>14</u>	<u>15</u>	<u>16</u>	<u>17</u>	<u>9</u>

Usted debería haber marcado 6, 17, 9 y 17.
¿ Tiene alguna pregunta?

En la siguiente hoja hay veinte problemas como estos. Cuando le den la señal, pase a la siguiente hoja. Tendrá diez minutos para resolver tantos problemas como pueda. Trabaja lo más rápido posible pero contestando correctamente. Si quiere cambiar la respuesta puede borrar.

VARIACIONES DEL PERSONAL A NIVEL DE EJECUCION PARA
LOS CUATRO PUESTOS A ESE NIVEL.

CLAVE	PUESTOS			
	ANALISTA	SECRETARIA	RADIOTELEFONISTA	RECEPCIONISTA
1	(76)	64 *	19	38
2	42 *	-14	(62)	35
3	(80) *	-27	38	50
4	29	(71) *	56	54
5	29	21 *	(62)	42
6	6	0 *	(62)	50
7	19 *	29	56	(46)
8	(32) *	29	19	12
9	(45) *	-29	0	27
10	(48) *	-41	38	31
11	(73)	0 *	19	23
12	-16 *	-14	(62)	15
13	23	0 *	38	(55)
14	19 *	(71)	81	58
15	(23)	29 *	-31	-4
16	(29) *	-29	38	38
17	(23)	7 *	-37	-31
X 18	13	0 *	19	23
19	(26) *	-43	-69	-38
20	(36) *	-43	-31	-4
X 21	0	-71	-69 *	-42
22	(45)	-29 *	-31	23

(11-12)

(13-14)

(15-18)

(19-20)

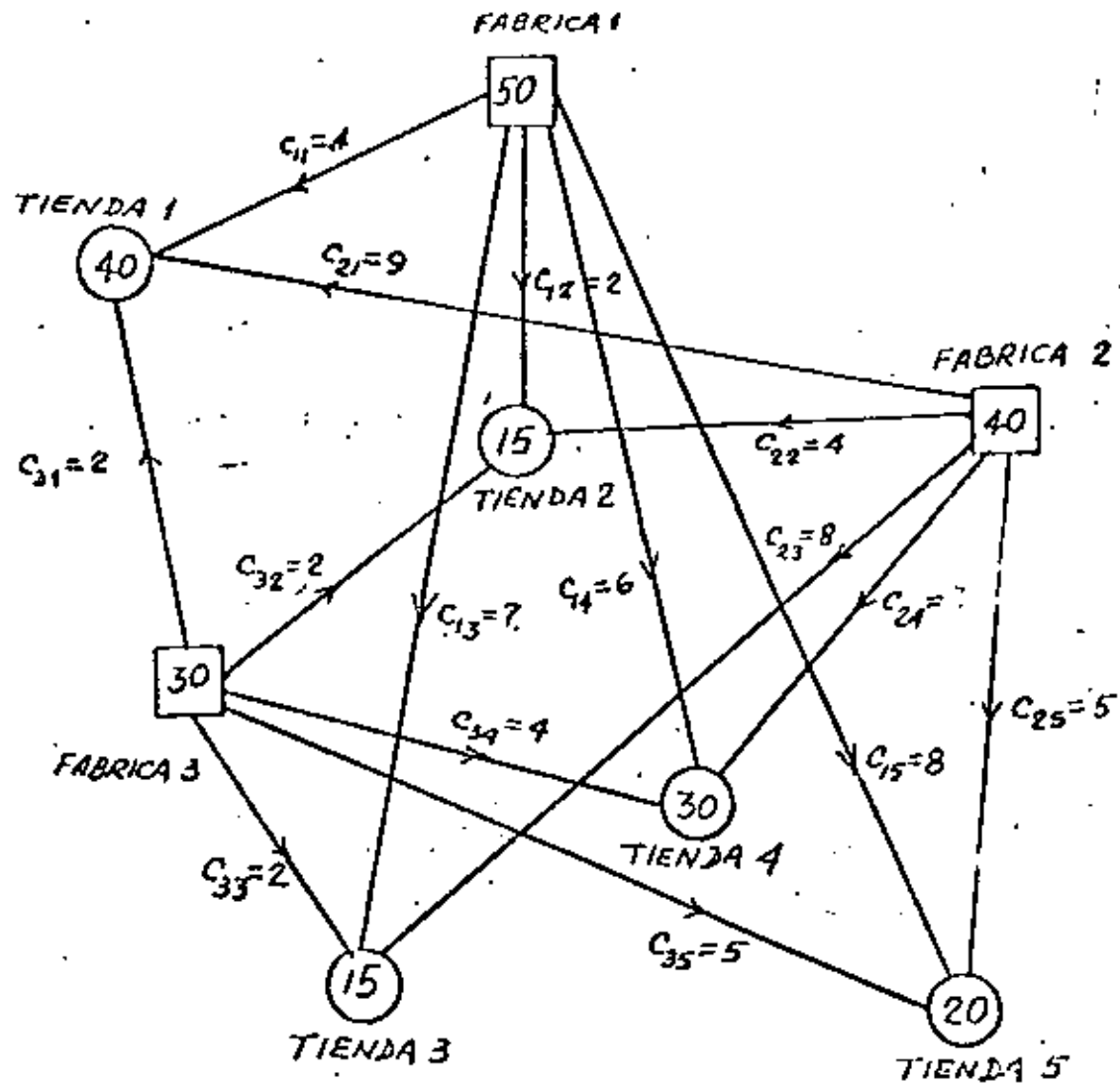


FIGURA 1

TABLA II

		FABRICA					
		1	2	3	4	5	
TIENDA	1	40	4	10	2	6	50
	2	9	5	2	7	8	40
	3	2	4	15	3	5	40
	4	2	8	20	3	5	30
	5	2	5	4	10	20	30
		40	15	15	30	20	120

DIRECTORIO DE ALUMNOS AL CURSO "Fundamentos y Aplicaciones

de la Ingeniería de Sistemas del 9 al 23 de Noviembre de 1981 .

1. Manuel Almeida Vázquez
Dirección General de Ciencia y
Tecnología del Mar
Jefe de Informática y Estadística
Bolívar 19-1°
15000 México, D.F.
518 20 40
Capilla de los Reyes 59
Los Reyes
02010 México, D.F.
561 21 39
2. Jose Abraham Abud Pérez
UNAM
Técnico de Planeación
México 20, D.F.
Cerro de San Andrés 262-18
Campestre Churubusco
México 21, D.F.
3. I. Catalina Aguilar Medina
DATA, S.A.
Analista Programador
Av. Homero 1425-1202
México 5, D.F.
520 34 30
Presidente Carranza 184
Coyoacán
México 21, D.F.
554 65 59
4. Ana Luz Aguilar Medina
Felipe Ochoa y Asociados Consultores
Consultora
Ricardo Castro 54 7° Piso
Guadalupe Inn
México, D.F.
550 96 88
Presidente Carranza 187
Coyoacán
México 21, D.F.
554 65 59
5. Héctor Basurto Nava
PEMEX
Jefe del Depto. de Análisis Estadístico
Gerencia de Exploración
Av. Marina Nacional 329
México 17, D.F.
250 26 11
Framboyanes 14
Jardines de San Mateo
Naucalpan, Estado de México
560 44 84
6. Ricardo Cadena Galicia
S A R I I
Jefe de Oficina
P. de la Reforma 107-7°
México 4, D.F.
535 02 52
Mar Kara 18
Popotla
México 17, D.F.
527 06 05

7. Jorge T. Camberos Sánchez
SARH
Analista de Proyectos de Riego
Plaza de la Rép. 31 2° Piso
México 4, D.F.
592 18 44
Ezequiel Montes 14-7
México 4, D.F.
592 18 44
8. Rafael Campos Gutiérrez
PEMEX
Jefe A de Especialidad Ingeniería
H. Colegio Militar e Ignacio de la Llave
Coatzacoalcos, Ver.
2 02 95
Bellavista 307
Coatzacoalcos, Ver.
2 23 15
9. Manuel Carpio Macías
S A R H
Jefe de Oficina
Dir. Gral. de Fideicomiso de
Riesgo Compartido
3 Sur 1501 No. 3
Puebla, Pue.
10. Marina Castillo Garduño
S A R H
Auxiliar de Oficina
Reforma 107-7°
México 4, D.F.
535 02 52
Dr. Durán 39
México 7, D.F.
11. José Fernando Dávalos Orozco
ICATEC Consultores, S.A.
Especialista
San Francisco 25
México 03100, D.F.
543 18 54
Gabriel Mancera 1045-304
03100 México, D.F.
12. José Luis del Castillo
13. Arturo Delgado Reyes
PEMEX
Analista Programador de Computadoras
Marina Nacional 329
México 17, D.F.
250 26 11
Empresa 151
México 19, D.F.
14. Ana Rosa Esparza Alas
PEMEX
Abogada
Marina Nal 329
México 17, D.F.
254 04 31
Retoño 26
Col Retoño
México 23, D.F.
542 46 85

15. Sergio Franco Gutiérrez
 ICATEC, S.A.
 Jefe de Proyecto
 González de Cosío 24
 México 12, D.F.
 523 96 77
 Holbein 10 Bis C 203
 Mixcoac
 México, D.F.
 563 92 13
16. Apollinar Galván Olvera
 Dist. Conasupo del Norte
 Asesor de Gerencia
 Carr. Laredo
 Monterrey, N.L.
 Plaza de la República 81-1º
 México 1, D.F.
 566 64 82
17. Juan Gamboa
 Instituto Tecnológico de Sonora
 Profesor
 Chihuahua y Blvd. R. E. Calles
18. Hipólito Gómez González
 PEMEX
 Jefe del Depto. de Asignación y
 Control Presupuestal
 A. Marina Nat. 329
 México 17, D.F.
 2 20 44 54
 U. Lindavista Vallejo Edif. 98 Ent
 402
 Lindavista Vallejo
 México 14, D.F.
19. Elisa González del Valle Campoamor
 D E P F I
 Ayudante de Profesor
 UNAM
 México 20, D.F.
 550 52 15 Ext. 477
 Río Duro 51-501
 Cuauhtémoc
 México 5, D.F.
 525 62 23
20. José Gustavo Corocica Palma
 S A H O P
 D G M I
 M. Laurent 840-5º Piso
 México 12, D.F.
 575 70 05
 Pilares 1417
 México 13, D.F.
 672 48 09
21. Alberto Guajardo Flores
 D E P F I
 UNAM
 México 20, D.F.
22. Pablo Hernández Bazaldúa
 Comisión del Plan Nacional Hidráulico
 Jefe de Proyecto
 Tepi No. 40
 México 8, D.F.
 574 17 50
 Calle 1325 No. 16
 Col. del Parque
 México 8, D.F.
 768 12 02

23. Francisco Herrera García
Cía. General de Electrónica
Gerente de Control de Calidad
Tezozomoc 239
México 16, D.F.
561 74 77
Cordilleras 17
U. Iztacalco
México 8, D.F.
24. Javier Hernández Robert
Instituto Mexicano del Petróleo
U. Lomas Plateros H 3 1, 41
México 19, D.F.
651 86 59
25. Homero Izaguirre Cobos
PEMEX
Area Económica
Av. Marina Nal. 329 IIº Piso
México 17, D.F.
254 04 31
Retoño 26
México 23, D.F.
542 46 85
26. Rodolfo Jaime Alarid
Comisión del Plan Nacional Hidráulico
Especialista C
Tepic No. 40
México 7, D.F.
574 17 50
Atzacat M 4, L. 1
Ruiz Cortines
México 22, D.F.
677 49 99
27. Jorge Oswaldo Kuntzy Rodríguez
PEMEX
Contador
Av. Marina Nal. 329 IIº Piso
México 17, D.F.
254 04 31
Guanabana 251
Nva. Sta. Ma.
Méxicol6, D.F.
556 18 03
28. Antonio Lara Montoya
SARH
Jefe Oficina Control de Programa
P. de la República 31-2
México 4, D.F.
592 18 44
Teapan L 5 M 13
San Andrés
México 16, D.F.
382 01 92
29. Rafael Lucio Casas Rafael
Siempreviva 119
Xotepingo
México 21, D.F.
684 01 82
30. Sergio Medina Correa
Comisión del Plan Nal. Hidráulico
Jefe de Proyecto
Tepic 40
México 7, D.F.
574 14 97
Talismán 92
Estrella
México 14, D.F.
781 88 07

31. Leticia A. Moctezuma Pedrote
PEMEX
Contador
Marina Nacional 329 11º Piso
México 17, D.F.
254 04 31
- Retoño 26
México 23, D.F.
542 46 85
32. Felipe Ordóñez Armengol
S A R H
Analista
Reforma 107-8º
México 4, D.F.
59210 62
- Av. 3 # 152
Sn. P. de los Pinos
México 18, D.F.
515 80 44
33. Arturo Oropeza Ramírez
Zempoala 92-8
México 12, D.F.
530 47 57
34. Javier Payno Sánchez
UNAM
México 20, D.F.
- Pitágoras 617
Narvarte
México 03020, D.F.
536 04 00
35. Fernando Alonso Pérez López
DIESEL Nacional, S.A.
Subgerente de Estadística
M. Laurent 1803
México 12, D.F.
575 55 01
- Edificio 16 Ent. 4 Depto. 503
Tlatelolco
México 3, D.F.
597 59 19
36. Mario Pilatasig Montaluisa
Ciencias Básicas
Facultad de Ingeniería
UNAM
México 20, D.F.
550 52 15 Ext. 4611
- Madroño Lote 9
Agrarista
México, D.F.
37. Miguel Rodríguez Martínez
Organización Pando, S.C.
Ingeniero Industrial
Bahía San Hipólito 51
México 17, D.F.
545 65 70
- Serafio Rendón 102-1
México 4, D.F.
38. Jaime Salas Córdova
Secretaría de la Reforma Agraria
Asesor del Director
F. S. Empresa de Mier No. 39
México, D.F.
588 89 40
- Plaza de la República 51-1
México 1, D.F.
566 67 96

39. Gabriel Sánchez Guerrero
Analista
UNAM
DEPFI
México 20, D.F. Universidad 2016 Edif. 1-202
Oxtopolco
México 20, D.F.
40. Georgina Solano Lozano
PEMEX
Analista en Exploración
Marina Nacional No. 329
México 17, D.F.
250 26 11 Rosa Violeta 198-2
Molino de Rosas
México 19, D.F.
651 24 40
41. Felipe Toledo Mijangos
S A H O P
Jefe de la Oficina de Proceso de Datos
Xola y Av. Universidad
México 13, D.F.
530 30 00 Ext. 471 Benito Fernández Arrieta 67
Los Cipreses
México 21, D.F.
677 49 47
42. José Luis Vaca García
Departamento del Distrito Federal
Analista
S. A. Abad No. 231
México 8, D.F.
588 32 27 Calzada de Tlalpán 610 -401
Moderna
México 3, D.F.