



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

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

DR. FELIPE OCHOA ROSSO  
NOVIEMBRE, 1985

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

Felipe Ochoa<sup>1</sup>

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.

<sup>1</sup> Coordinador de la Especialidad de Ingeniería de Sistemas, Academia de Ingeniería.

DESARROLLO Y SU PLANEACION

1.1 NATURALEZA DEL DESARROLLO

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

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

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

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

2

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

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

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

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

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

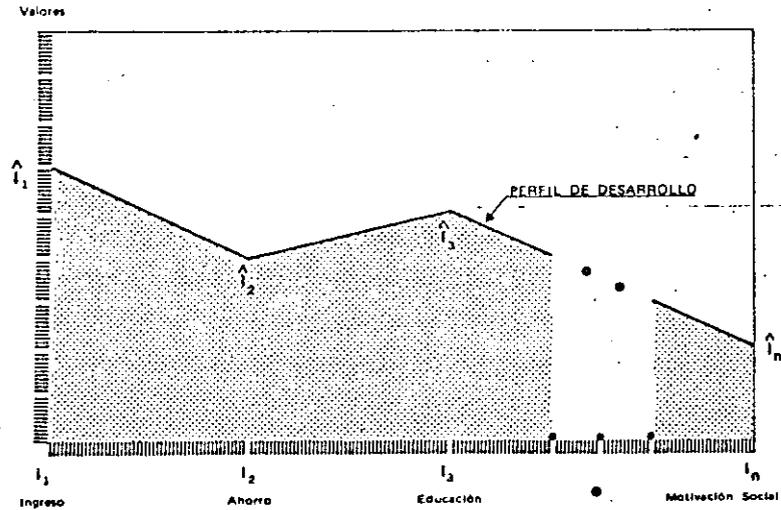


FIG. 1 PERFILES DE DESARROLLO INDIVIDUAL EN EL TIEMPO t.

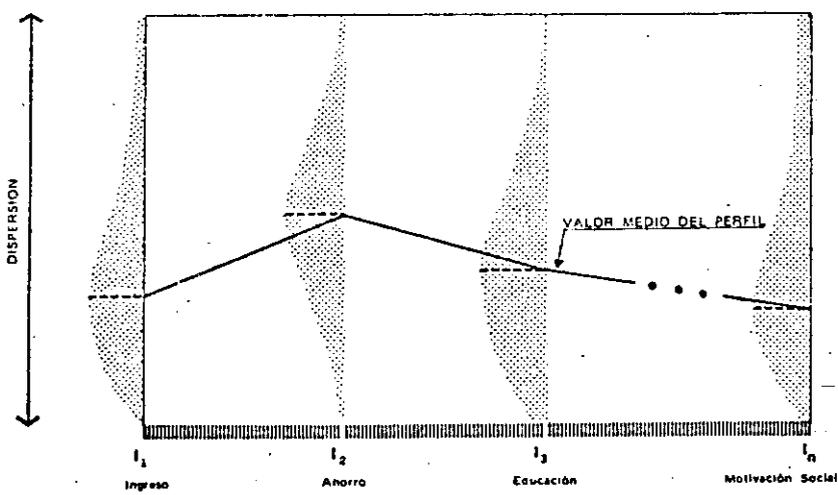


FIG. 2 PERFIL DE DESARROLLO DEL PAIS EN EL TIEMPO t.

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

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

### 1.2 ENCAUZAMIENTO DEL DESARROLLO

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

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

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

3

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

### 1.3 EL PROCESO DE PLANEACION

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

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

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

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, nos 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.

5

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

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

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

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

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

6

### ESTRUCTURA DE LA PLANEACION

#### 3.1 EXISTENCIA DE LA ESTRUCTURA

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

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

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

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

#### 3.2 ESQUEMA DE DESAGREGACION

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

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

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

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

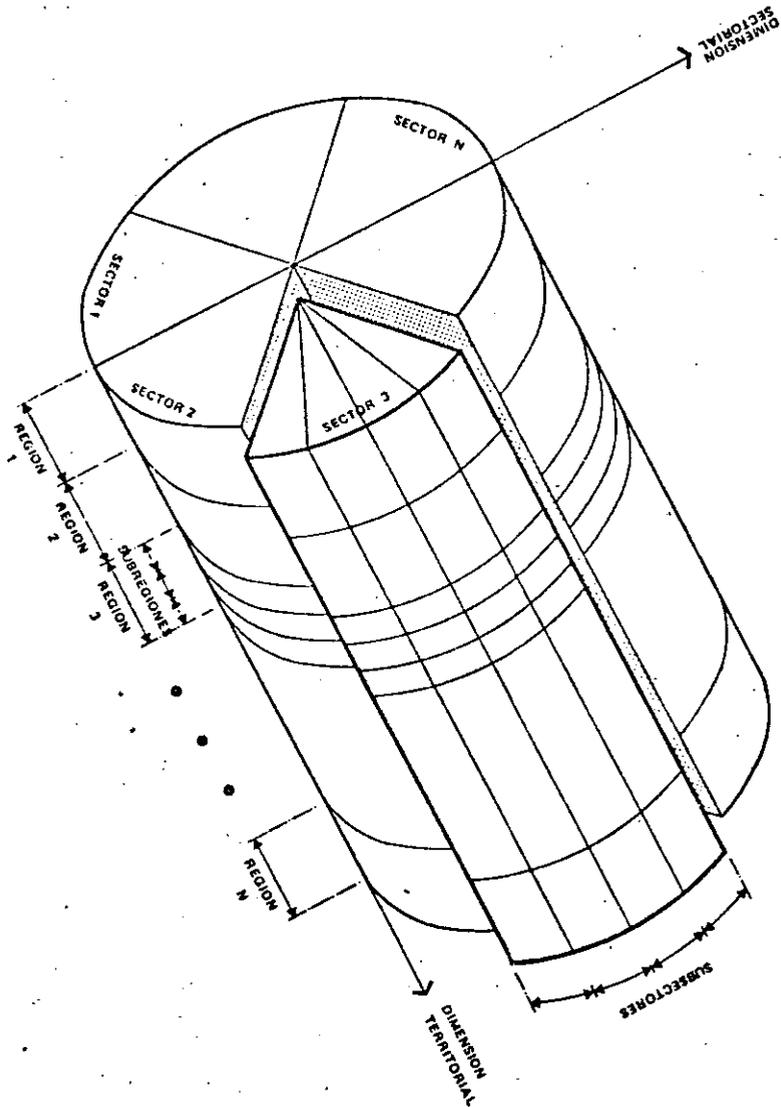
Por último, al desagregar simultáneamente bajo ambas dimensiones tendríamos el plan del sector *i*-ésimo en la región *j*-ésima, lo que equivale a la "rebanada" correspondiente del prisma regional. El proceso de partición al continuar, generaría planes subsectoriales de una subregión, terminando en el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

7

## 3.3 PRINCIPIOS GENERALES

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

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



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

### 3.4 GENERALIDAD DEL PROCESO DE PLANEACION

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

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

### 3.5 HERRAMIENTAS DE LA PLANEACION

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

8

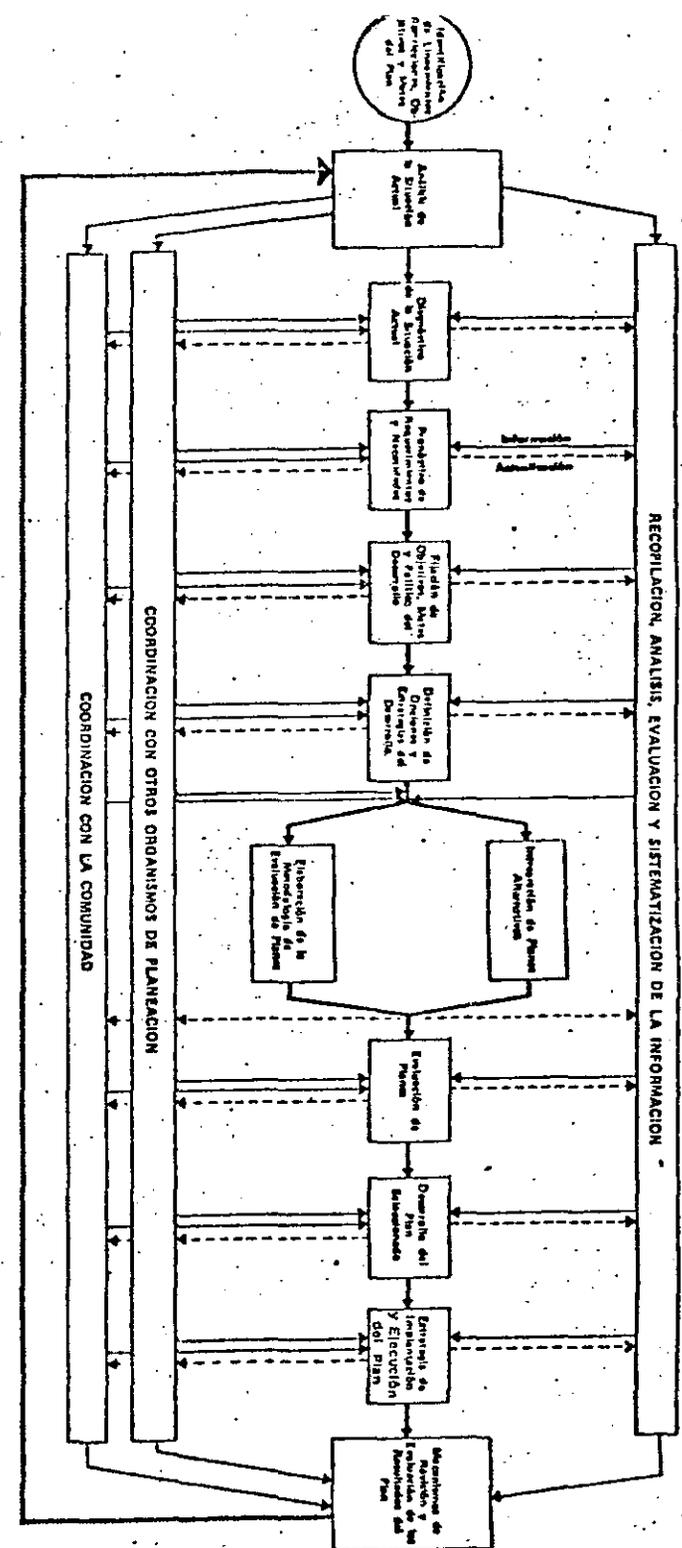


FIG. 4 DIAGRAMA CONCEPTUAL DEL PROCESO DE PLANEACION

Los métodos y algoritmos empleados de optimización y evaluación 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.

9

#### 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

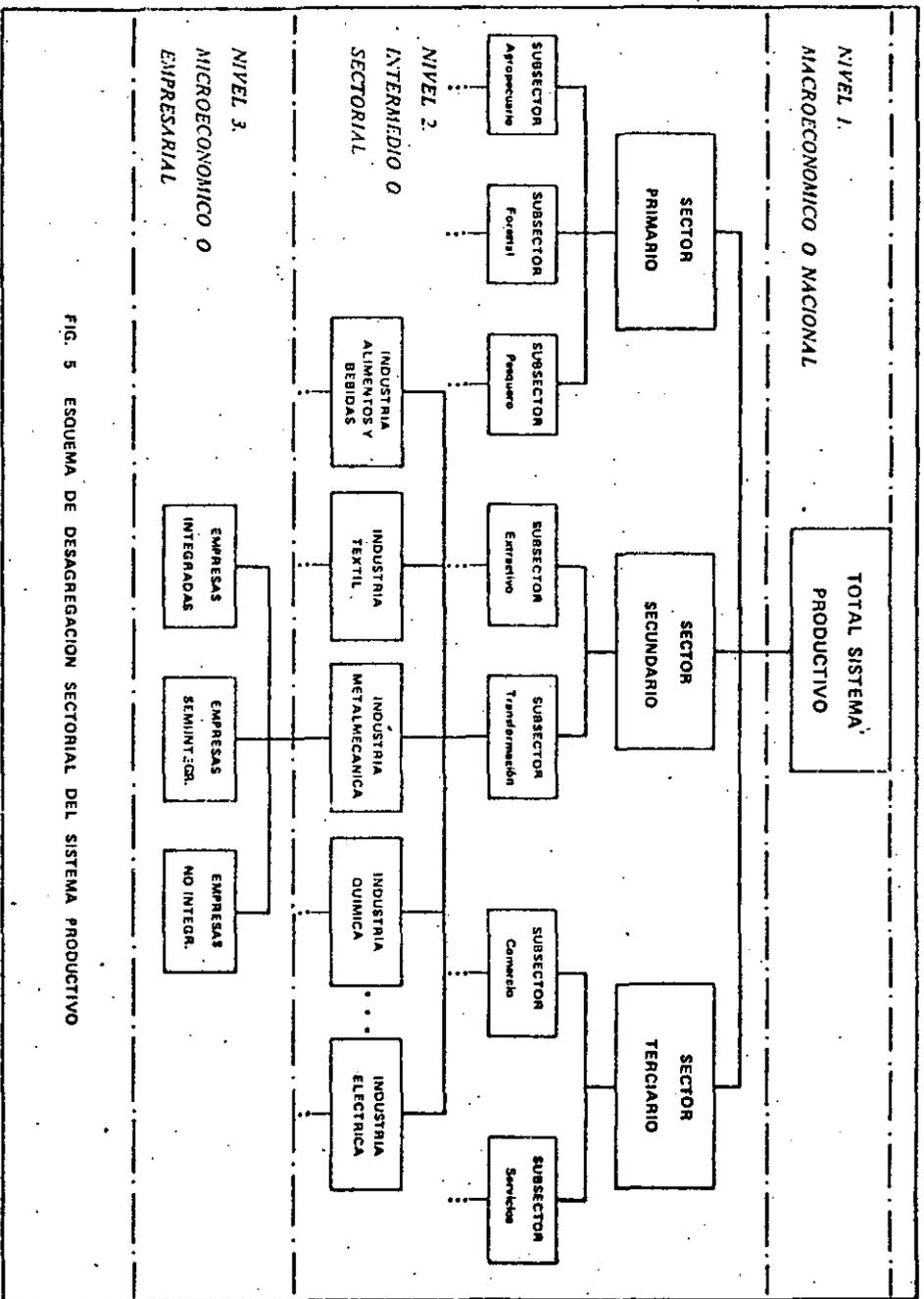


FIG. 5 ESQUEMA DE DESAGREGACION SECTORIAL DEL SISTEMA PRODUCTIVO

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

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

### 3.7 INFORMACION REQUERIDA PARA EL ANALISIS Y DIAGNOSTICO

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

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

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

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

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

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

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

### 3.8 RECURSOS HUMANOS PARA LA PLANEACION

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

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

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

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

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

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

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



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

COMPLEJIDAD DE LOS SISTEMAS

DR. FELIPE OCHOA ROSSO  
NOVIEMBRE, 1985

# LA UNIVERSALIDAD DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

Dr. Felipe Ochoa R.\*

## 1. EL PORQUE DE LA COMPLEJIDAD DE LOS SISTEMAS

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

Para iniciar, definiremos a un sistema productivo como "un todo formado por un conjunto de elementos humanos y mecánicos interrelacionados y estructurado para desempeñar la función de producción de satisfactores para la sociedad". Esto es, sistemas en el sentido teleológico, distinguiéndose un comportamiento del conjunto, con propósitos deliberados.

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

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

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

\* Presidente del Consejo de Vigilancia, Instituto Mexicano de Sistemas, Presidente de E.O.S. Consultores, S.C.

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

## 2. PROBLEMATICA DE LOS SISTEMAS.

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

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

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

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

## 3. DIFICULTAD DE TRATAMIENTO.

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

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

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

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

Como antídoto a la paradoja señalada anteriormente se ha respondido inicialmente con los llamados grupos *multidisciplinarios*, que descomponen el problema de creación de un nuevo sistema productivo, en subproblemas tratables por medio de disciplinas uniprofesionales. Resueltos estos en forma independiente, las soluciones se agregan, con resultados, que bien observa Ackoff<sup>1</sup>, frecuentemente se encuentran lejos de lo mejor que se podía obtener.

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

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

1 Ackoff, R.L., *Science in the Systems Age*, ORSA Vol. 21, No. 3, May-Jun, 1973.  
2 Octava F., *Aplicación de la Ciencia de los Sistemas a la Estructuración de Problemas de Evaluación*, Academia Mexicana de Ingeniería, Agosto 1977.

#### 4. LA NECESIDAD DE GENERALISTAS

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

La formación generalista es la que enfatiza el conocimiento de principios más que de habilidades. Es *la formación conceptual*, cuya importancia reconoce Koopman<sup>1</sup> y explica como la forma especial de intuición que percibe el "orden" la "unidad" y la "armonía" y que conduce inductivamente a principios generales.

Observa Weinberg<sup>2</sup> que, "el generalista, al igual que el viajero que visita consecutivamente varias ciudades desconocidas, se va relevando de su miedo por otros sistemas nuevos para él, al desplazarse hacia niveles cada vez más elevados de generalidad, hasta que las cosas llegan a adoptar ese orden familiar y comfortable". Y este desplazamiento permite ir integrando un proceso uniforme para la solución de los problemas de sistemas productivos —independientemente de la naturaleza de estos últimos— esto es, un solo paradigma, con base en la síntesis de que los paradigmas para sistemas distintos son muy semejantes, aunque oscurecidos por su propia terminología.

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

#### 5. EL METODO DE LOS SISTEMAS

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

1. Koopman, B.O., Intuition in Mathematical Operations Research, ORSA, 21, 1974.

2. Weinberg, G.M., An Introduction to General Systems Thinking, John Wiley, 1975.

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

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

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

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

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

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

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

sintético del todo.

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

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

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

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

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

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

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

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

**S. CONCLUSION**

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

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

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



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

DIAGNOSTICO

DR. JOSE DE JESUS ACOSTA FLORES

NOVIEMBRE, 1985

D I A G N O S T I C O

A. - INTRODUCCION

Dentro del enfoque de sistemas el diagnóstico consiste en comparar la realidad con lo deseado y si son fuertes las discrepancias determinar sus causas.

Presento a continuación lo que escribió Víctor Zárate (1) en sus apuntes de clase del Dr. Felipe Ochoa del Método de los sistemas:

"Diagnosticar es determinar el estado del sistema actual, es plantear causas por las cuales se encuentra así y definir las relaciones que guardan las partes del mismo.

"Detectados los problemas, se identifican en esta fase la o las cadenas causa-efecto, llegándose hasta sus últimas raíces causa-origen, no precisamente porque se consideren a éstas como los males del sistema, a combatir, sino porque ello marca las limitaciones o alcances de la siguiente fase.

"La creatividad del generalista vuelve a ser un elemento fundamental para la ejecución de esta fase. Un ejemplo sencillo pero objetivo de la aplicación de la creatividad como herramienta en el diagnóstico, lo constituye el siguiente caso: El problema del gran número de enfermos de disentería en el Río Bravo. Del análisis del problema se obtiene como resultado un altísimo índice de enfermos de disentería en las diferentes clínicas, gran ausencia a las escuelas y sitios de trabajo, etc. De la evaluación ex-post, obviamente se concluye que el sistema no está marchando adecuadamente. El Diagnóstico tiene como objeto desarrollar la cadena causa-efecto para que posteriormente se identifique una opción de corrección o mejoramiento para cada uno de los eslabones de la cadena (Ver figura).

"Una primera visión del problema llevaría a la conclusión de que solo un especialista en la materia podría resolverlo, sin embargo, al observar mas detalladamente la construcción de la cadena causa-efecto puede distinguirse que no es necesaria la presencia de dicho especialista, sino

CADENA CAUSA-EFECTO

GRAN NUMERO DE ENFERMOS

OPCIONES

DISENTERIA

DISTRIBUIR MEDICINAS EN LA POBLACION

EL AGUA NO ES POTABLE

INSTALAR UNA PLANTA POTABILIZADORA

LA FUENTE (EL RIO) NO ES POTABLE

BUSCAR OTRA FUENTE DE ABASTECIMIENTO

AGUAS ARRIBA LO CONTAMINA UNA PLANTA METALURGICA

BUSCAR OTRO AFLUENTE PARA LOS DESECHOS

LA PLANTA METALURGICA NO POSEE PLANTA DE TRATAMIENTO

QUE INSTALE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

NO TIENE MEDIOS ECONOMICOS PARA INSTALARLA

QUITAR LA PLANTA METALURGICA O SUBSIDIARLE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

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

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

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

## 1. ENFOQUE DE DINAMICA DE SISTEMAS.

### 1.1 Problemas y sistemas de retroalimentación.

La parte central de un estudio de Dinámica de Sistemas no es un sistema, sino un problema. Los problemas tratados desde la perspectiva de Dinámica de Sistemas tienen al menos dos rasgos en común: son dinámicos y surgen en sistemas de retroalimentación.

Un problema es dinámico si involucra cantidades que cambian en el tiempo. A continuación se analizan con todo detalle los sistemas de retroalimentación.

La retroalimentación es la transmisión y regreso de la información. Por ejemplo, un sistema de calefacción produce calor en una habitación. Un termostato conectado al sistema, regresa información sobre la temperatura del cuarto al sistema, encendiéndolo o apagándolo y por tanto, controlando esta temperatura. Juntos el termostato y el sistema de calefacción forman un sistema de retroalimentación.

Un circuito de retroalimentación es una sucesión cerrada de causas y efectos, una ruta cerrada de acciones e información. Por ejemplo, un sistema de control de inventarios. Los envíos bajan el inventario, cayendo a algún nivel deseado, alguien en el almacén coloca pedidos que producen la subida del inventario. La información (el inventario actual) se transmite (al departamento de pedidos y después a los productores) y eventualmente regresa (en la forma de artículos que se reciben en el almacén). Ver la figura No. 1.1.

Un sistema de retroalimentación es un conjunto interconectado de circuitos de retroalimentación.

Tradicionalmente, cuando se descubre un problema, se reflexiona sobre él, se desarrolla un plan y se actúa acorde con el plan. Usualmente se olvida el hecho que nuestra acción altera el estado del sistema, como se sugiere

por la línea punteada en la figura 1.2, dando como resultado una nueva comprensión del problema o quizá un conjunto nuevo de problemas que deben atacarse. -- Considere por ejemplo el problema de administrar un área pública para recreación como un parque natural, un lago, o una montaña para escalar. Mientras más y más personas descubren las delicias de acampar y caminar en tales áreas, la administración tiene un dilema: cómo proteger y preservar el carácter y belleza natural de un área y al mismo tiempo hacerla disponible al público para que la goce. Alguien puede ver la situación como en la figura No. 1.3. Esta visión carece de la perspectiva de retroalimentación, sugiere que una política razonable para minimizar el daño ambiental y preservar la calidad de las experiencias de los visitantes es tratar de aumentar el área de contacto y los servicios proporcionados por el parque. Animar la utilización de veredas poco usadas, hacer más veredas, construir más áreas para acampar con baño e instalaciones para recolectar basura, proveer instalaciones educativas como centros apoyados por guardabosques experimentados.

Aunque algunas de tales políticas pueden ser necesarias y deseables, la perspectiva que las generó es inadecuada. Se han ignorado los efectos de retroalimentación. Por ejemplo, el valor de la experiencia vivida tendrá un efecto obvio sobre el número de visitantes, como se muestra en la figura No. 1.4. La conclusión de aumentar servicios ya no es tan clara. Un aumento en los servicios eleva el valor de la experiencia, lo que incrementa los visitantes por año, acrecentando el amontonamiento que amplía el daño ambiental y disminuye el valor de la experiencia vivida. Las implicaciones a largo plazo de la política de ampliar servicios ya no son tan evidentes como lo fueron en la figura 1.3

### 1.2 El comportamiento de sistemas de retroalimentación.

Los circuitos de retroalimentación se dividen en dos categorías: los positivos y los negativos. Los negativos están buscando una meta y tratan de negar cualquier desviación de ella. Se muestran tres ejemplos en la figura 1.5. Los positivos amplifican las desviaciones produciendo el crecimiento. Se presentan tres ejemplos en la figura 1.6.

La distinción entre los circuitos de retroalimentación positivos y negativos se captura en la historia del cobertor eléctrico mal conectado de la figura 1.7.

Los problemas reales están formados por circuitos positivos y negativos acoplados; sin embargo, se ha observado que se responde a estos problemas como si fueran sistemas negativos de retroalimentación muy simplificados. Algunos ejemplos son:

Problema	Respuesta
Cosechas dañadas por plaga de insectos	regar con insecticida
Congestionamiento en el tráfico	construir más carreteras
Crímen	Contratar policías
Aumento en los costos	Fijar los precios

Los problemas reales a menudo son tan complicados que comprender su comportamiento y predecir las respuestas a diversas políticas es imposible sin un modelo formal. Dinámica de Sistemas procura proveer la comprensión de sistemas complicados de retroalimentación a fin de diseñar políticas que funcionen para mejorar el comportamiento del sistema.

1.3 Enfoque de Dinámica de Sistemas

Se parte de que el "comportamiento dinámico es una consecuencia de las estructuras de retroalimentación del sistema" y por tanto se buscan dentro de él las causas de su comportamiento problema y no se piensa que sean agentes externos los responsables.

En la figura 1.8 se presentan las etapas para atacar un problema desde esta perspectiva, comenzando y terminando con la comprensión de un sistema y sus problemas. Cada una de estas etapas se verá con mayor detalle en las sesiones siguientes.

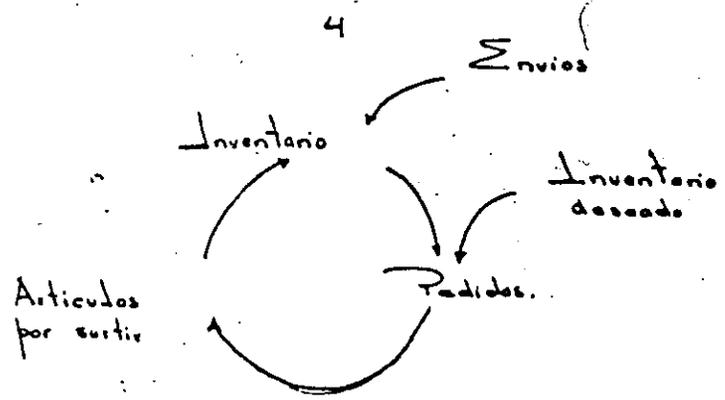


figura N° 1.1.

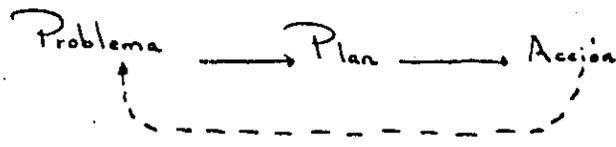


figura N° 1.2

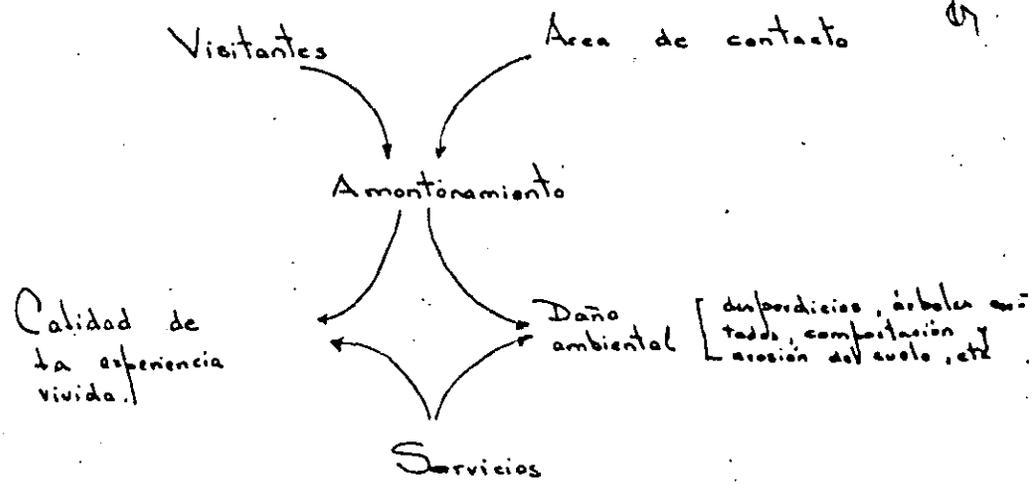


Figura N° 1.3

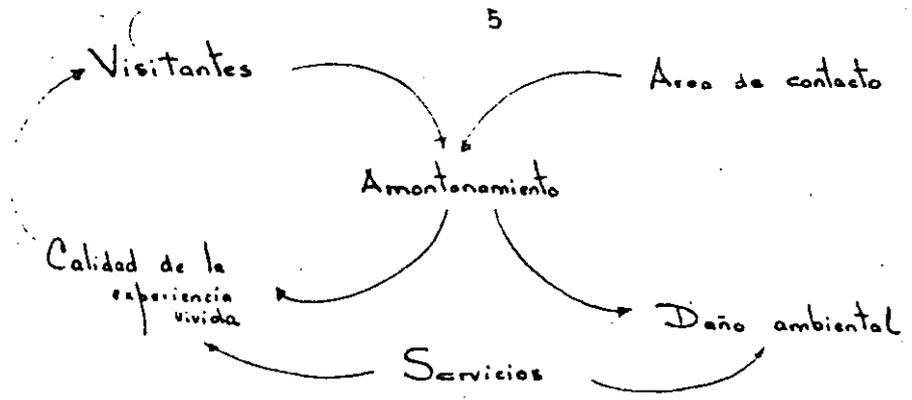
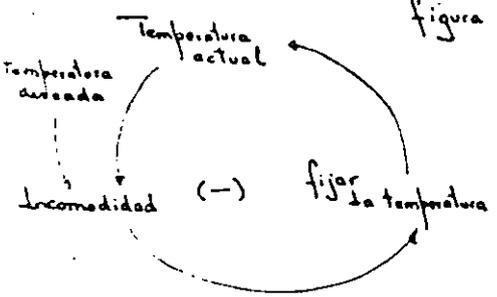
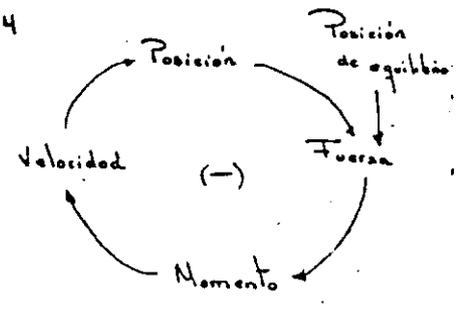


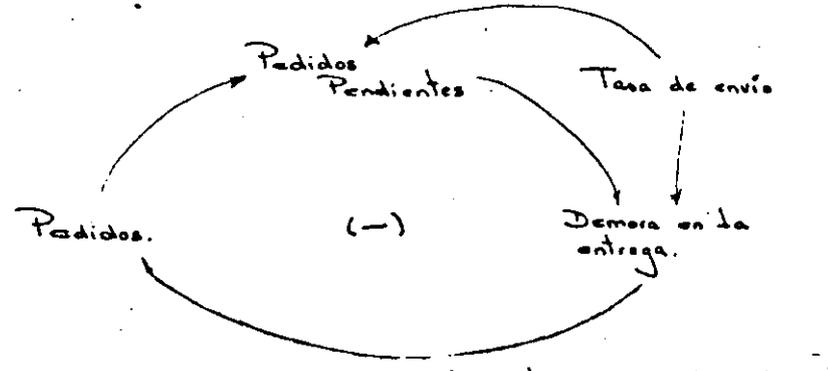
figura N° 1.4



A.- Cobertor aléctrico

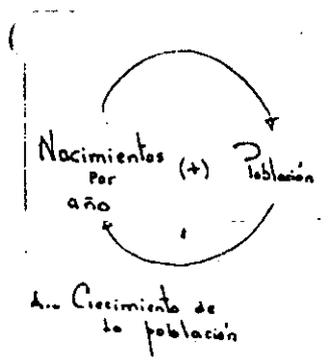


B.- Péndulo

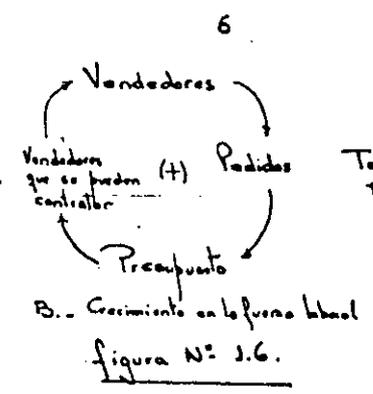


C.- Demora en la entrega de un producto.

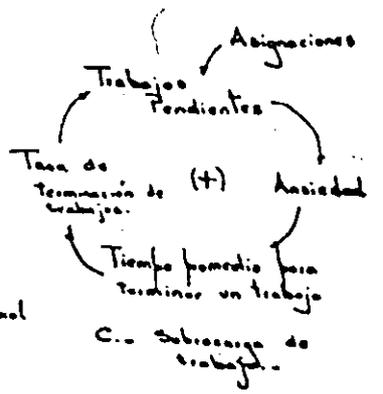
figura No 1.5



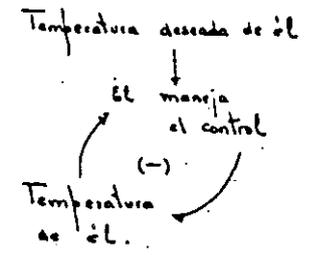
A.- Crecimiento de la población



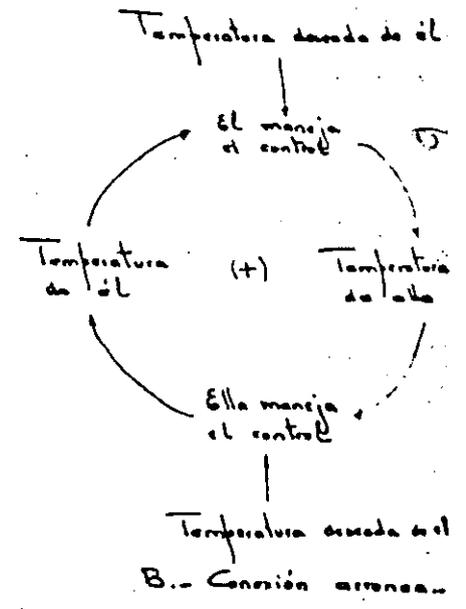
B.- Crecimiento en la fuerza laboral  
figura N° 1.6.



C.- Sobrecarga de trabajo.



A.- Conexión adecuada



B.- Conexión adecuada

figura N° 1.7.

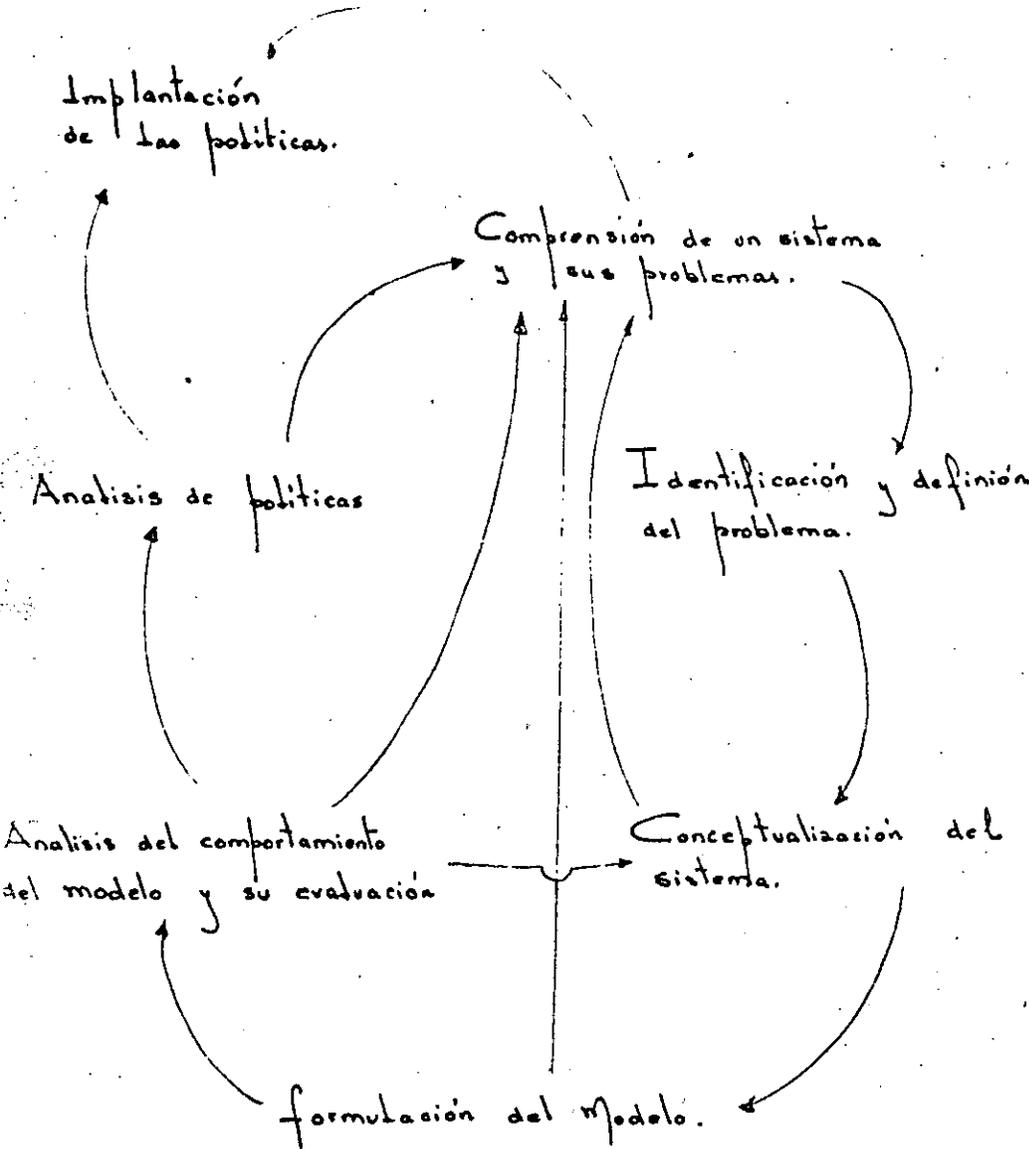


figura N° 1.8

### Identificación del problema y conceptualización del sistema.

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

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

#### 2.1. Definición del problema.

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

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

#### 2.2. Conceptualización del modelo.

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

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

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

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

En los causales se define:



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

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



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

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

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

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

2.3. -- Un ejemplo de definición y conceptualización del problema.

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

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

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

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

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

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

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

Etapas

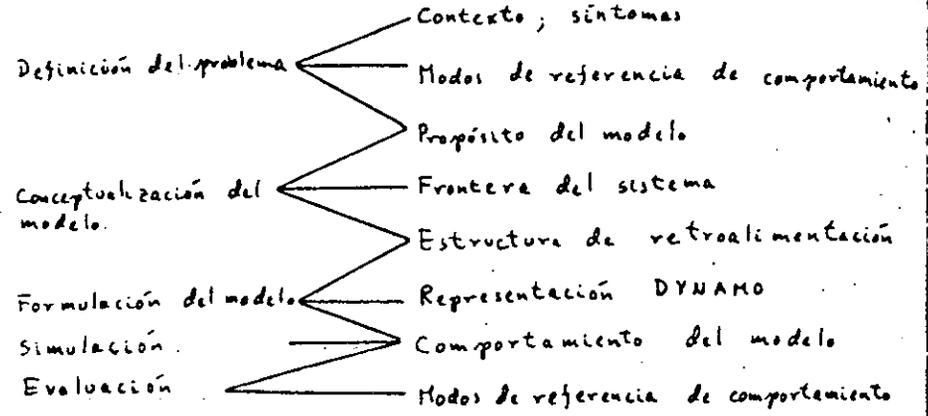


Figura 2.1: Etapas en el proceso de modelado en Dinámica de sistemas.

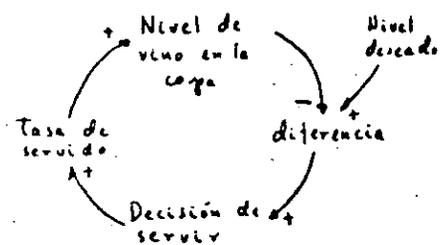


Figura 2.2

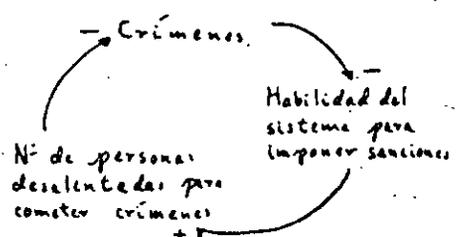


Figura 2.3

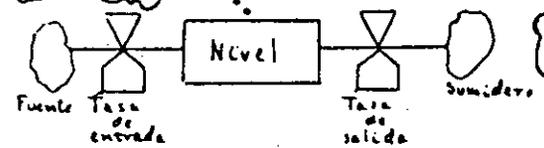


Figura 2.4

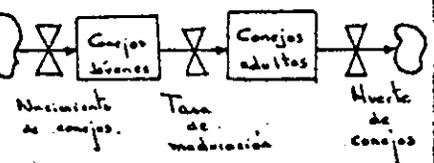


Figura 2.5

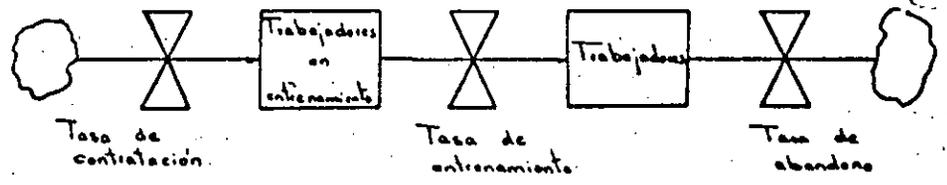


Figura 2.6

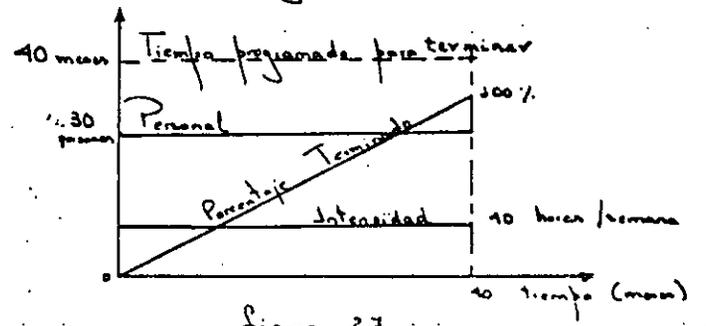


Figura 2.7

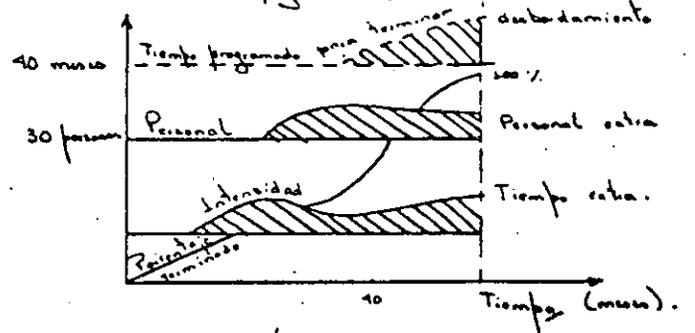


Figura 2.8

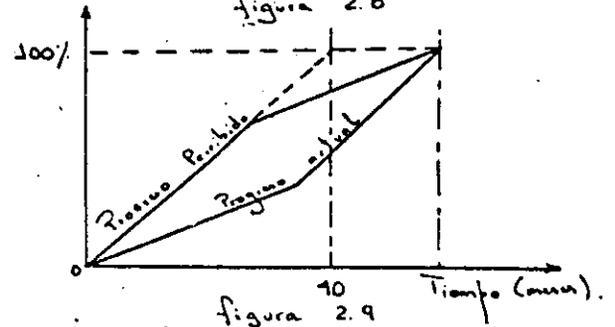


Figura 2.9

3.- UN EJEMPLO

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

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

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

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

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

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

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

11

⑨ La demanda del producto está obligando que la duración de la prueba de una unidad dependa del volumen de producción. La Cía. no conoce mucho sobre las políticas de sus clientes, pero siente que a los clientes les toma una cantidad considerable de tiempo determinar la calidad de las unidades que reciben.

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

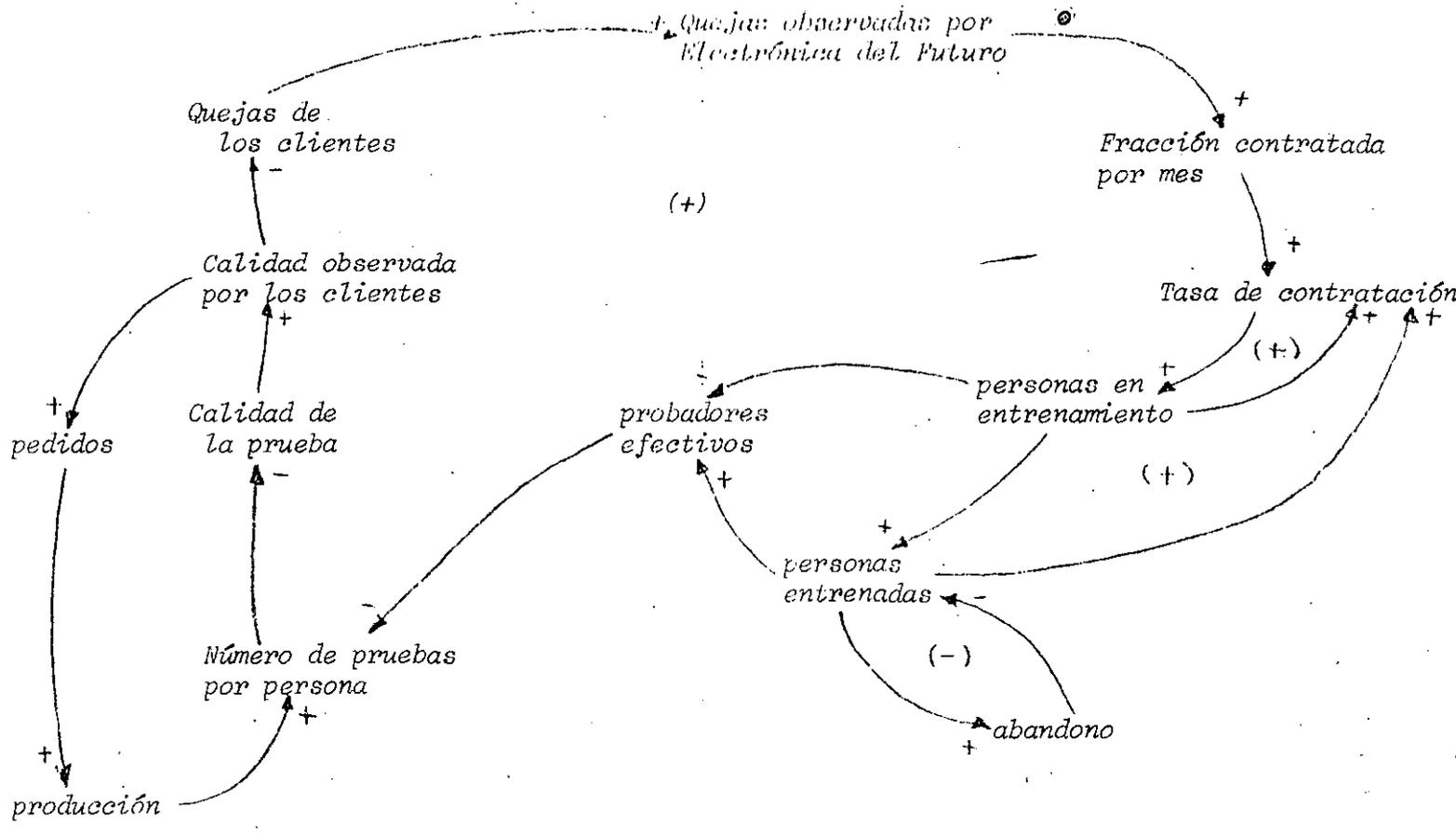
Respuesta.

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

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

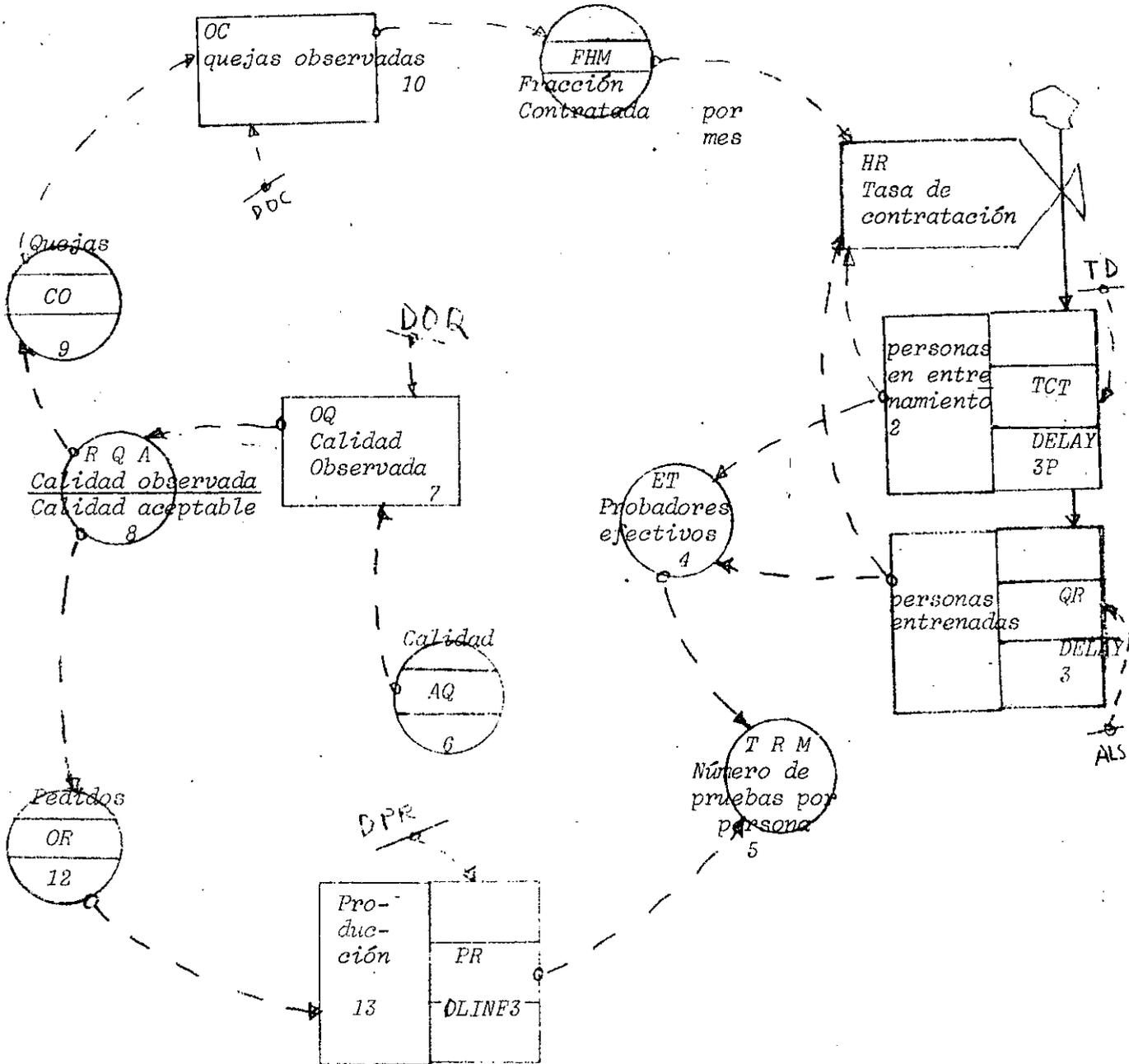
b).- Desarrolle un diagrama causal basado en el análisis anterior.

Respuesta.



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

Respuesta.





MODELO DE LA CIA ELECTRONICA FUTURO

(R.O.C.L = P.H.M.K) (T.D.R.K.T.C.K)  
 H.R.E.Z.D/69  
 NOTE: TASA DE CONTRATACION (NUMEROS/MESES)  
 NOTE: P.H.M. - FRACCION CONTRATADA POR MES  
 NOTE: T.D.R. - PROMEDIOS EN ENTRENAMIENTO (NUMEROS)  
 NOTE: T.E.P.R. - PROMEDIOS (NUMEROS)  
 R.C. = T.D.R. \* DELAY 3P (T.C.T. \* J.K. \* W.L.S. \* T.E.K)  
 C.T.D. = T.D.R.  
 NOTE: T.C.T. - TASA DE ENTRENAMIENTO TERMINADO POR CATEGORIA  
 NOTE: T.D.R. - TASA DE ENTRENAMIENTO  
 R.C. = T.D.R. \* DELAY 3P (T.C.T. \* J.K. \* W.L.S. \* T.E.K)  
 NOTE: TASA DE DESERCIÓN  
 NOTE: W.L.S. - PROMEDIOS DE TIEMPO EN SERVICIO  
 A.C. = T.C.T. \* K = P.H.M. \* K  
 A.C. = T.C.T. \* K = P.H.M. \* K / T.C.T.  
 NOTE: PROMEDIOS EN TIEMPO  
 NOTE: TASA DE MUESTREO POR PROMEDIOS EN TIEMPO  
 NOTE: P.H.M. - TASA DE PRODUCCION  
 A.C. = T.C.T. \* K = P.H.M. \* K \* 20 \* 25  
 I.T.V. = 1/1/1 - 1/1/1, 25/1, 7/1, 5/1, 5/1  
 NOTE: A.C. = CALIDAD ACTUAL  
 NOTE: T.C.T. - TASA DE CALIDAD DE MUESTREO  
 A.C. = SMOOTH(A.C. \* T.C.T.)  
 C.T.D. = SMOOTH(A.C. \* T.C.T.)  
 NOTE: CALIDAD OBSERVADA  
 NOTE: A.C. = CALIDAD ACTUAL  
 NOTE: P.H.M. - TASA DE CALIDAD OBSERVADA  
 A.C. = SMOOTH(A.C. \* T.C.T.)  
 C.T.D. = SMOOTH(A.C. \* T.C.T.)  
 NOTE: CALIDAD ACEPTABLE  
 NOTE: A.C. = CALIDAD ACEPTABLE  
 A.C. = T.C.T. \* K = P.H.M. \* K \* 25 \* 25  
 I.T.V. = 1/1/1, 1/1, 5  
 NOTE: CALIDAD ACEPTABLE  
 NOTE: T.C.T. - TASA DE CALIDAD DE MUESTREO  
 NOTE: A.C. = CALIDAD ACEPTABLE  
 A.C. = SMOOTH(A.C. \* T.C.T.)  
 C.T.D. = SMOOTH(A.C. \* T.C.T.)  
 NOTE: CALIDAD ACEPTABLE  
 NOTE: A.C. = CALIDAD ACEPTABLE  
 NOTE: T.C.T. - TASA DE CALIDAD DE MUESTREO  
 NOTE: A.C. = CALIDAD ACEPTABLE  
 A.C. = SMOOTH(A.C. \* T.C.T.)  
 C.T.D. = SMOOTH(A.C. \* T.C.T.)

PAGE 12 MODELO DE LA CIA ELECTRONICA FUTURO 10/20/82

P.H.M. \* TASA DE CALIDAD DE MUESTREO, C.T.D. = SMOOTH(A.C. \* T.C.T.)  
 I.T.V. = 1/1/1, 1/1, 5/1, 25/1, 7/1, 5/1, 5/1  
 NOTE: TASA DE FRACCION CONTRATADA POR MES  
 NOTE: T.C.T. - TASA DE CONTRATACIONES VS. SUJETOS  
 NOTE: A.C. = CALIDAD OBSERVADA  
 A.C. = T.C.T. \* K = P.H.M. \* K \* 0.1 \* 5 \* 5 (1 - SMOOTH(A.C.))  
 I.T.V. = 1/1/1, 1/1, 5/1, 25/1, 7/1, 5/1, 5/1  
 NOTE: TASA DE FRACCION CONTRATADA POR MES  
 NOTE: T.C.T. - TASA DE CONTRATACIONES VS. SUJETOS  
 NOTE: A.C. = CALIDAD OBSERVADA  
 A.C. = T.C.T. \* K = P.H.M. \* K \* 0.1 \* 5 \* 5 (1 - SMOOTH(A.C.))  
 I.T.V. = 1/1/1, 1/1, 5/1, 25/1, 7/1, 5/1, 5/1  
 NOTE: TASA DE FRACCION CONTRATADA POR MES  
 NOTE: T.C.T. - TASA DE CONTRATACIONES VS. SUJETOS  
 NOTE: A.C. = CALIDAD OBSERVADA  
 A.C. = T.C.T. \* K = P.H.M. \* K \* 0.1 \* 5 \* 5 (1 - SMOOTH(A.C.))  
 I.T.V. = 1/1/1, 1/1, 5/1, 25/1, 7/1, 5/1, 5/1

Threats to Order  
Control of Disruption

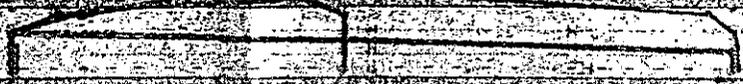
Procedures

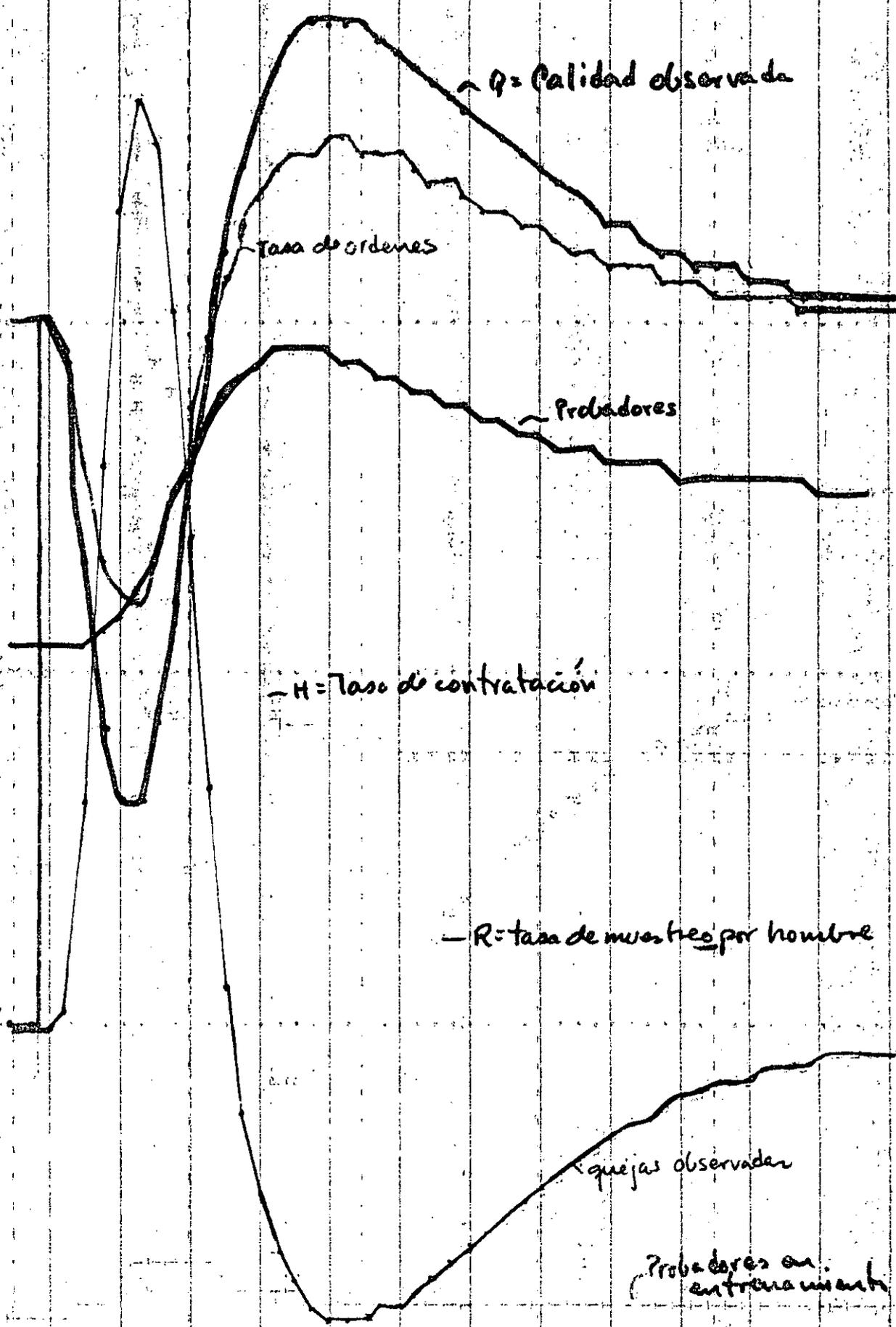
Threats to Security

Threats to Continuity

Disruption

Procedures  
Subsequent to







# MODELO DE LA CIA ELECTRONICA FUTURO

R HR.KL=(HR.K)(TT.K+T.K)  
C HR=20/69

NOTE HR=1ASA DE CONTRATACION (HOMBRES/MES)

NOTE HR=FRACCION CONTRATADA POR MES

NOTE TT=PRUBADORES EN ENTRENAMIENTO (HOMBRES)

NOTE T=PROBADORES (HOMBRES)

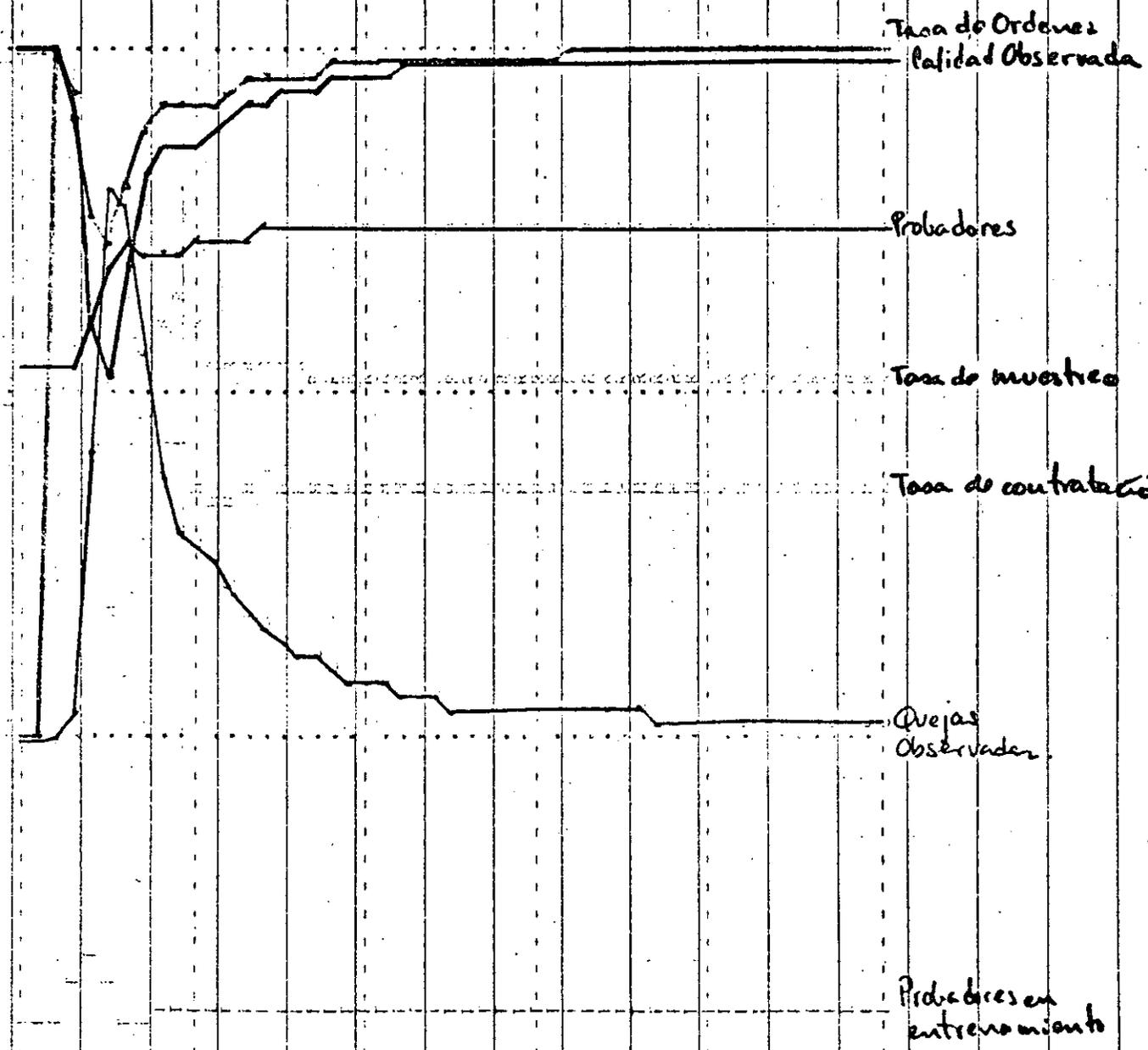
R ICT.KL=DELAY3P(HR.KJ,TD,TT,K)  
C T=3

NOTE ICT=PRUBADORES Y TERMINAL EN ENTRENAMIENTO

NOTE TD=RETRASO POR ENTRENAMIENTO

R CT.KL=DELAY3P(ICT,KJ,ALS,T,K)

NOTE CT=PRUBADORES Y TERMINAL EN ENTRENAMIENTO



Tasa de Ordenes  
Palidad Observada

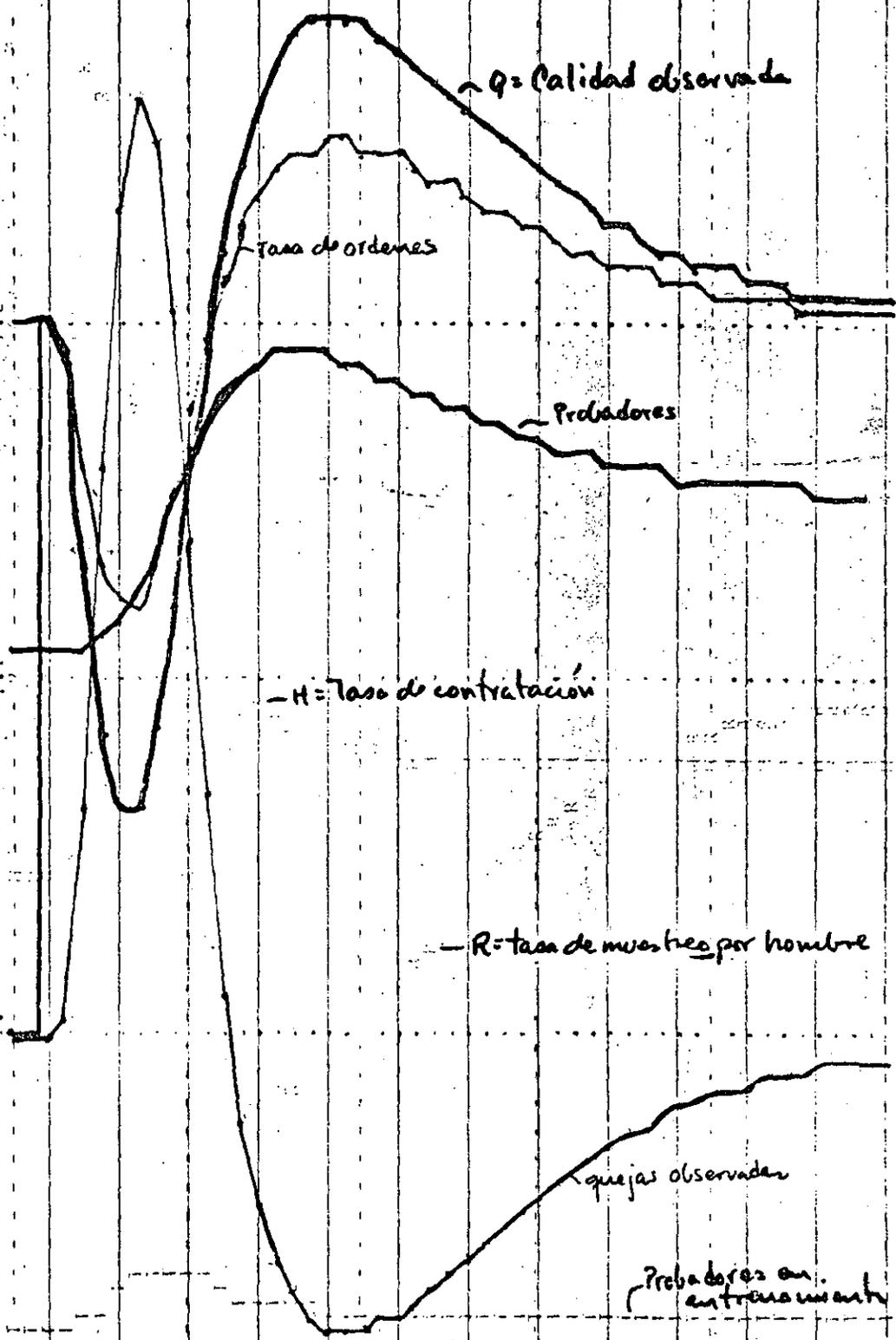
Probadores

Tasa de muestreo

Tasa de contratación

Ovejas  
Observadas

Probadores en  
entrenamiento

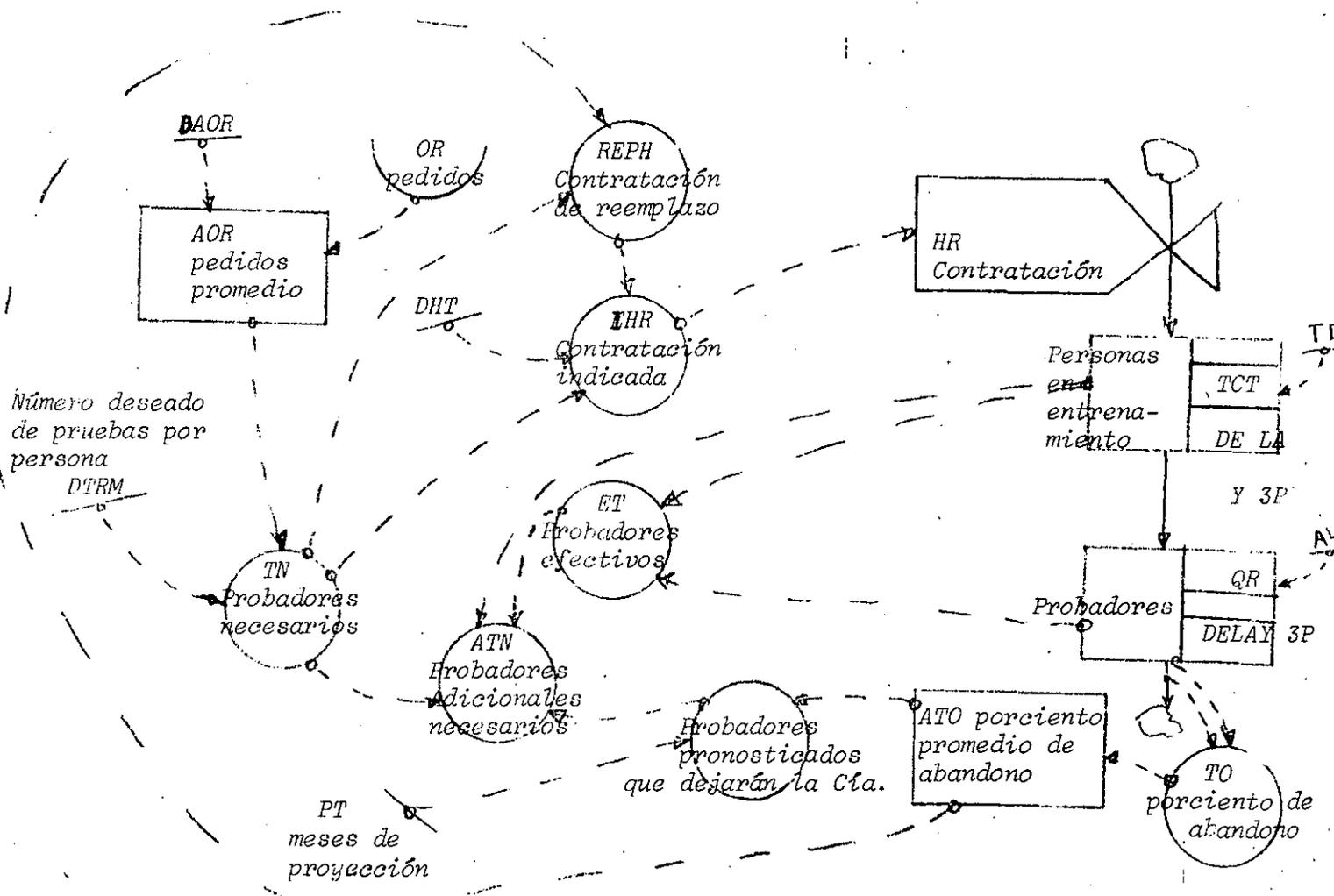


Probadores en  
entrevistas

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

Respuesta.

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



4.- REFERENCIAS

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



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

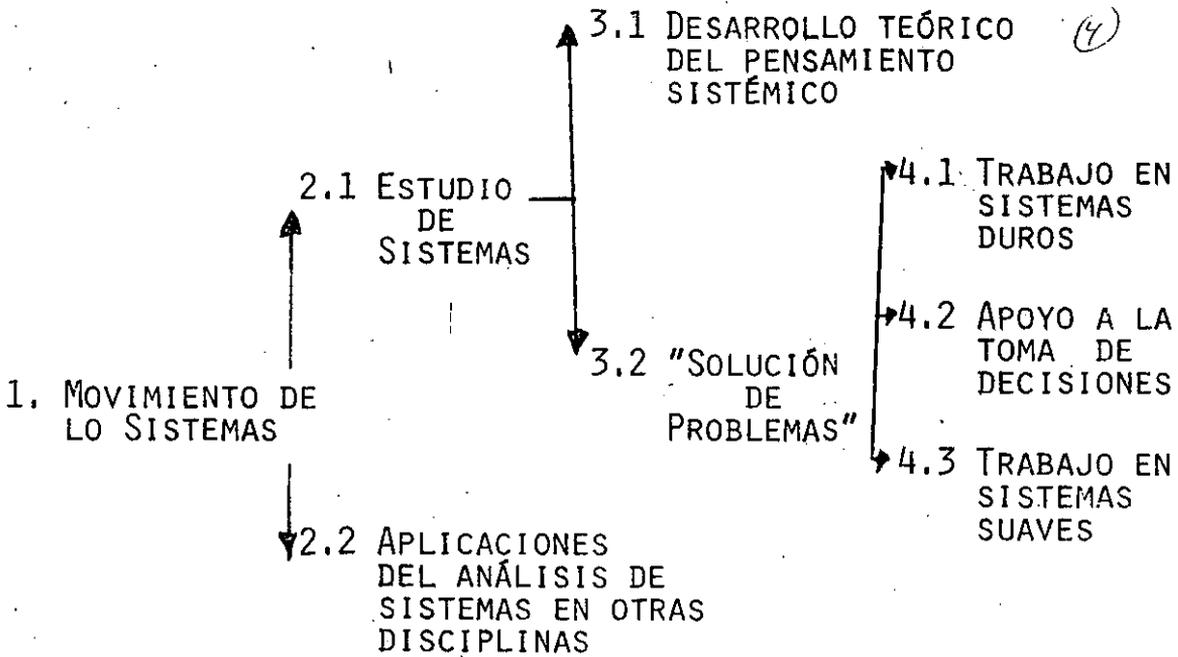
DISEÑO DE SISTEMAS

M. EN I. ARTURO FUENTES ZENON

NOVIEMBRE, 1985

## CONTENIDO (1)

1. EL MOVIMIENTO DE LOS SISTEMAS
2. NECESIDAD DEL DISEÑO DE SISTEMAS
3. DISEÑO NORMATIVO
4. FACTORES DE DISEÑO



PROBLEMAS TÉCNICOS

PROBLEMAS SOCIALES

PROBLEMAS TÁCTICOS

PROBLEMAS ESTRATÉGICOS

## II NECESIDAD DEL DISEÑO DE SISTEMAS (5)

### ¿DISEÑO DE SISTEMAS?

CUANDO CONSIDERAMOS LOS PROBLEMAS MÁS CRÍTICOS DE NUESTRO TIEMPO, TALES COMO:

DETERIORO AMBIENTAL

POBREZA

SALUD

EDUCACIÓN

CRIMEN

ALIMENTACIÓN

INFLACIÓN

TRANSPORTE

SE OBSERVA QUE ES VIRTUALMENTE IMPOSIBLE TRATARLOS COMO PROBLEMAS AISLADOS, QUE LO QUE SE CONSIDERA COMO SOLUCIÓN DE UNA CLASE DE PROBLEMAS PUEDE GENERAR PROBLEMAS DE OTRA CLASE.

LOS "SISTEMAS" ESTÁN CONSTITUIDOS POR UN COMPLEJO DE PROCESOS INTERACTUANDO E INSTITUCIONES Y PERSONAS QUE DISEÑAN, PRODUCEN, DISTRIBUYEN, COMERCIALIZAN, CONSUMEN.

ESTOS COMPLEJOS NO SON SISTEMAS ORGANIZADOS; SON UN AGREGADO DE PARTES CONTROLADAS INDEPENDIENTEMENTE.

EL EFECTO ACUMULATIVO DE MEJORAMIENTO DE LAS PARTES, TOMADAS SEPARADAMENTE, RARAS VECES PRODUCE UN MEJORAMIENTO DEL COMPORTAMIENTO TOTAL DEL SISTEMA.

UN AUTOMÓVIL

UNA BIBLIOTECA

EL COMPORTAMIENTO DE UN SISTEMA DEPENDE MÁS  
DE LA INTERACCIÓN DE SUS PARTES QUE DE LA  
ACCIÓN DE ÉSTAS CONSIDERADAS INDEPENDIENTE-  
MENTE.

UN SISTEMA DE PROBLEMAS



UN SISTEMA DE SOLUCIONES

CUANDO EL REDISEÑO DE UNA PARTE ES HECHO INDEPENDIENTEMENTE DEL REDISEÑO DE OTRAS PARTES, EL RANGO DE POSIBILIDADES QUE SON CONSIDERADAS FACTIBLES ES SEVERAMENTE LIMITADO.

HACIENDO COMBINACIONES DE CAMBIOS EN LAS PARTES UNO PUEDE CONTEMPLAR GRANDES EFECTOS POTENCIALES EN EL SISTEMA.

### III DISEÑO NORMATIVO

TRADICIONALMENTE SE HA PLANEADO EN BÚSQUEDA DE RESULTADOS Y SE IGNORAN LAS CONSECUENCIAS, LO CUAL HA MOSTRADO SER MUY COSTOSO.

ESTO ES PRODUCTO DE UNA VISIÓN TECNO-UTILITARIA, RESULTADO DE UNA CULTURA ALTAMENTE COMPETITIVA ORIENTADA A ALCANZAR RESULTADOS.

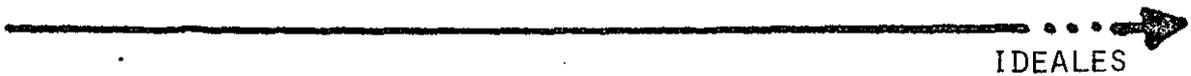
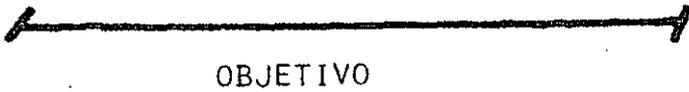
LO QUE SE HA CONOCIDO COMO PLANEACIÓN POR OBJETIVOS MEJOR DEBERÍA CONOCERSE COMO PLANEACIÓN O ADMINISTRACIÓN POR METAS.

TENEMOS UNA CADENA

ACCIÓN - RESULTADO - CONSECUENCIA



PERÍODO DE PLANEACIÓN

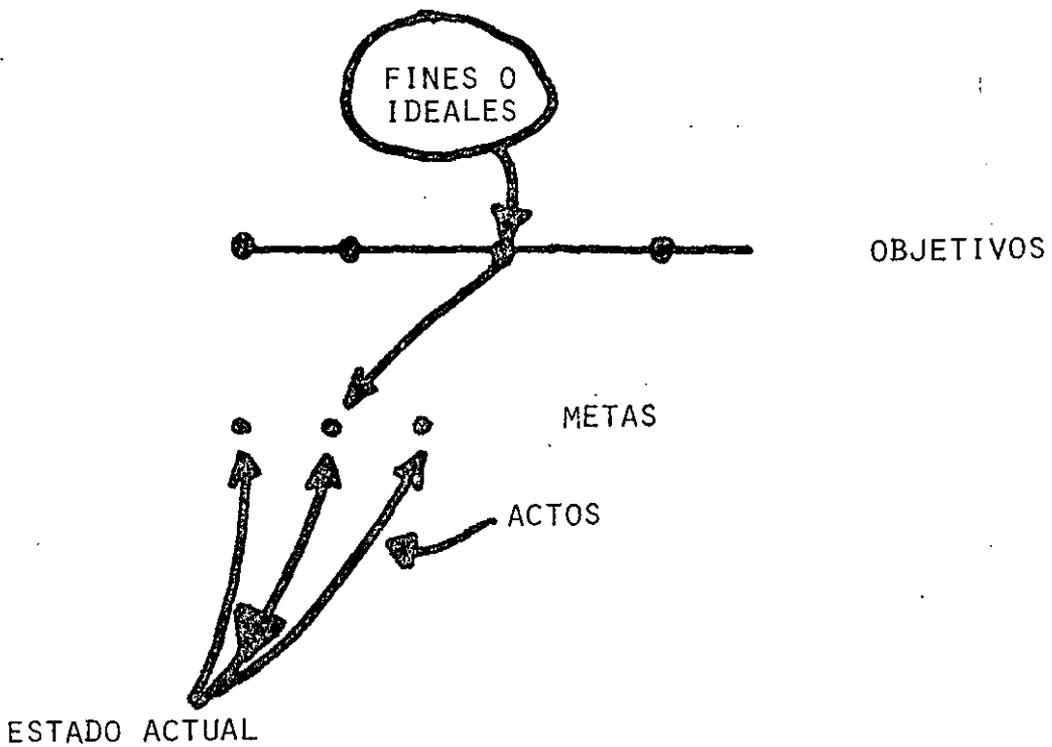


EN MUCHOS ESQUEMAS DE PLANEACIÓN NO SE CONSIDERA LA CONECCIÓN ENTRE RESULTADO Y CONSECUENCIA, O BIEN, ENTRE META-OBJETIVO-IDEAL.

PUEDE LLEGARSE A AFIRMAR QUE SE HA PLANEADO - SIN CONTAR CON UNA BASE DE OBJETIVOS FIRMEMENTE ESTABLECIDOS.

LOS CONCEPTOS DE OBJETIVO E IDEAL PERMITEN SUGERIR UN SUTIL CAMINO QUE ENLACE LA BRECHA EXISTENTE ENTRE METAS Y OBJETIVOS (O RESULTADOS Y CONSECUENCIAS).

- 1º VISUALIZACIÓN DE FINES
- 2º FIJACIÓN DE OBJETIVOS
- 3º FIJACIÓN DE METAS
- 4º DISEÑO DE ACTOS



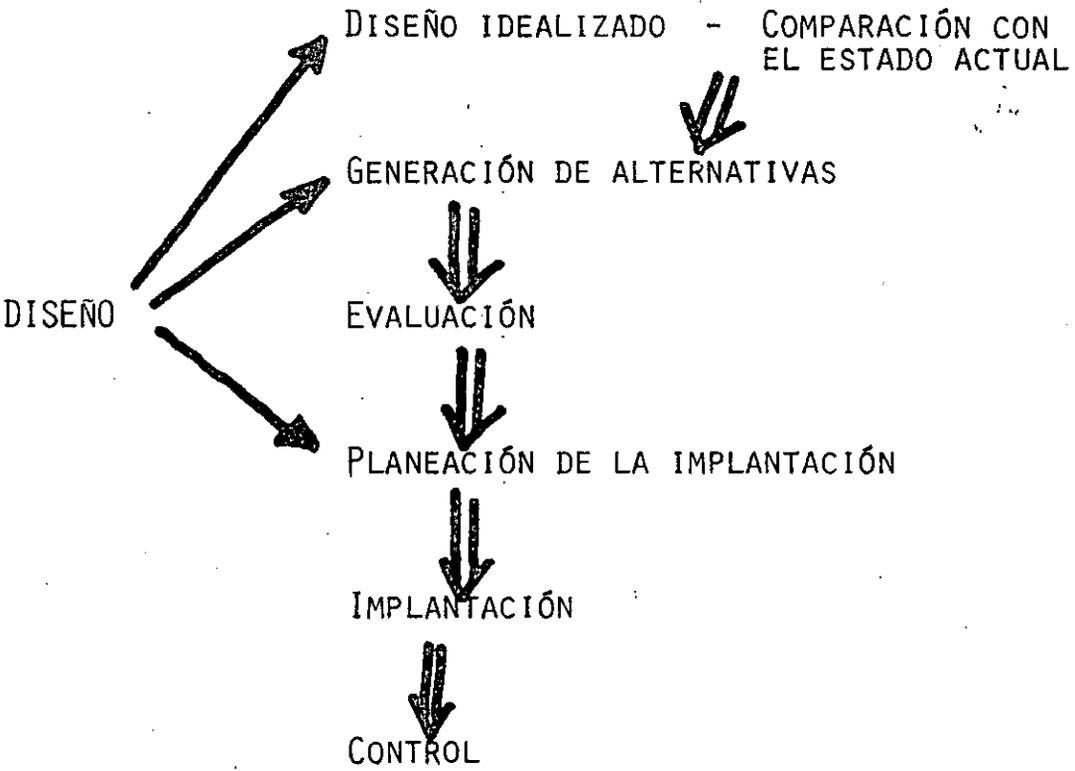
## PROCESO DE IDEALIZACION

### RESTRICCIONES:

- A) TECNOLÓGICAMENTE FACTIBLE
- B) OPERACIONALMENTE VIABLE
- C) CONOCIMIENTO, INFORMACIÓN, COMPRENSIÓN Y DISCERNIMIENTO

### VENTAJAS:

- A) SE PASA DE UNA ORIENTACIÓN RETROSPECTIVA A UNA PROSPECTIVA
- B) PERMITE UNA AMPLIA PARTICIPACIÓN
- C) PERMITE QUE SE GENERA MÁS FÁCILMENTE CON SENSO
- D) ALIENTO A LOS QUE PARTICIPAN A TENER UNA VISIÓN GLOBAL, MÁS QUE A ENFOCARSE EN UNA O MÁS PARTES CON EXCLUSIÓN DE LAS OTRAS.
- E) GENERA UN COMPROMISO PARA EL PROGRESO HACIA LOS IDEALES
- F) INDUCE UNA MAYOR CREATIVIDAD AL RELAJARSE RESTRICCIONES
- G) AMPLÍA LA FRONTERA DE LO QUE SE CONSIDERA FACTIBLE.



# IV. FACTORES DISEÑO

(15)

DISEÑO DE LA ORGANIZACION

DISEÑO POR FACTIBILIDAD ECONOMICA

DISEÑO POR SOPORTABILIDAD

DISEÑO POR MANTENIBILIDAD

DISEÑO POR CONFIABILIDAD

## BIBLIOGRAFIA

(16)  
CHECKLAND, PETER B. SYSTEMS THINKING SYSTEMS PRACTICE, JOHN WILEY, 1981.

ACKOFF, RUSSELL L. EL ARTE DE RESOLVER PROBLEMAS. LIMUSA, 1981.

OZBEKHAN, HASAN. THE EMERGING METHODOLOGY OF PLANNING. FIELDS WITHIN FIELDS, No. 10, 1974, pp. 68-80.

BLANCHARD AND FABRYCKY. SYSTEMS ENGINEERING AND ANALYSIS. PRENTICE HALL, 1981.



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

ANALISIS DE DECISIONES

DR. JOSE DE JESUS ACOSTA FLORES

NOVIEMBRE, 1985

---

## 1. CONCEPTOS GENERALES

La etapa inicial en la formulación consiste en la descripción por escrito del problema, la que se presentará al decisor para ver si él está de acuerdo en que efectivamente se trata de su problema o modificarla hasta conseguirlo. De esta manera se evita que el analista esté trabajando en un problema que al final resulta no ser el que interesaba.

Esta descripción deberá tener la "fecha de evaluación" más allá de la cual no vale la pena tomar en consideración ningún acto o evento, el o los objetivos y sus criterios de evaluación, y un diagrama de decisión.

Un criterio de evaluación es la definición de un indicador que permitirá medir el logro de un objetivo.

El diagrama de decisión deberá mostrar:

1. Todos los actos inmediatos entre los que el decisor desea seleccionar;
2. Todos los actos y eventos inciertos futuros que el decisor

desea considerar porque ellos pueden afectar directamente las consecuencias de los actos inmediatos, y

3. Todos los eventos inciertos que el decisor desea considerar porque pueden proporcionar información que puede afectar su selección futura entre actos y por consiguiente afectar las consecuencias de los actos inmediatos de manera indirecta.

Una rama en el diagrama puede representar un acto o un evento incierto. Un cuadrado del que salen ramas que representan actos es un punto de decisión y un círculo del que salen ramas que representan eventos es un punto de incertidumbre.

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

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

## 2. EJEMPLOS

### Problema de inundación y deslizamiento de tierra

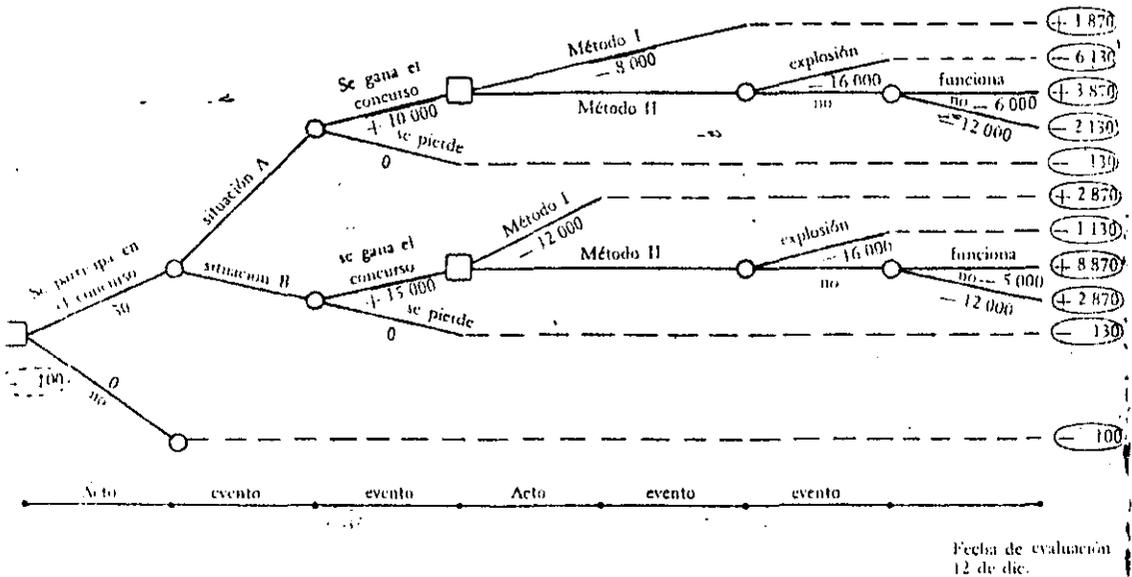
En el municipio de Villa II. se están realizando obras para evitar que una avenida muy grande del río Los Metates inunde la población, las cuales estarán concluidas dentro de un año. Si se tiene una inundación la ciudad quedará parcialmente destruida, pero existirá además el peligro de un deslizamiento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



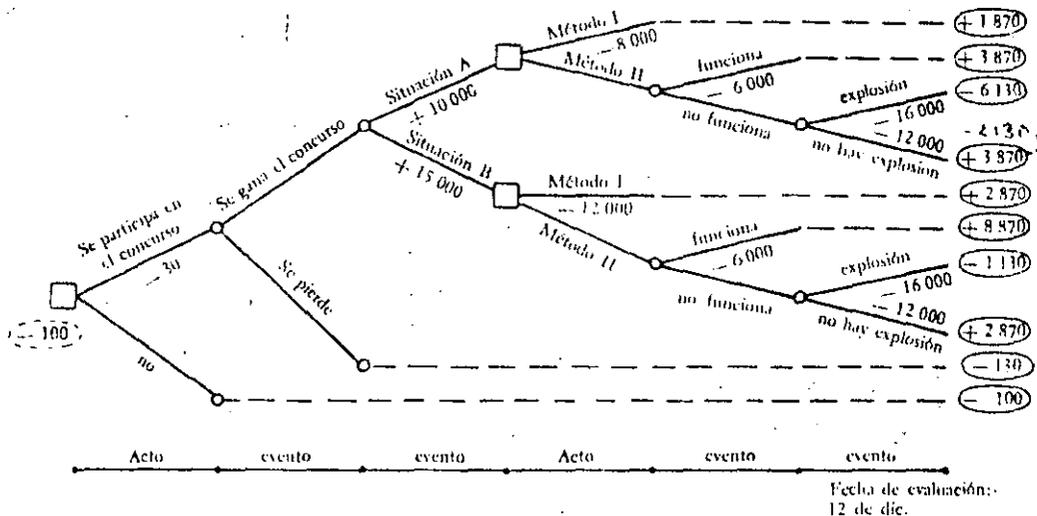
**Problema de participación en un concurso**

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

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



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



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

**Problema de la longitud de pilotes**

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

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

Para ayudarle a decidir el gerente llama a un miembro joven

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

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

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

### 3. FLUJO CONTEXTUAL

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

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

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

---

## 1. INTRODUCCION

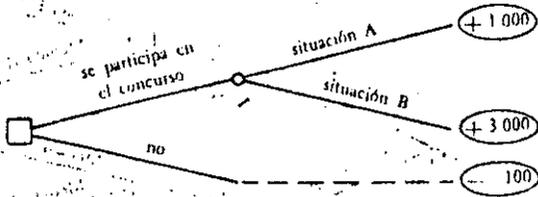
En este capítulo se analizará un problema considerando exclusivamente el aspecto monetario; los no monetarios se estudiarán en el capítulo 5. También se supondrá en todo el libro que existe un solo decisor y que está perfectamente determinado.

Los pasos para analizar un problema son:

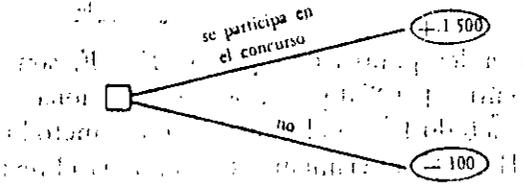
1. Selección de la fecha de evaluación.
2. Criterio de evaluación.
3. Diagrama de decisión.
4. Evaluación en los puntos terminales.
5. Descomposición del problema y determinación de los equivalentes bajo certeza, y
6. Selección de la mejor estrategia.

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

Sustituyendo lo anterior en el diagrama queda:



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



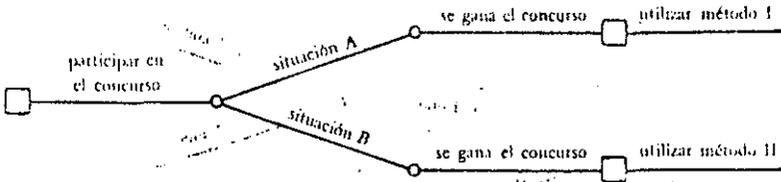
La selección final será entre ganar + 1 500 si se participa en el concurso o perder 100 si no. La decisión por tanto es participar en el concurso.

**Selección de la mejor estrategia**

En primer lugar se da la definición de estrategia.

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

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



### 3. HIPÓTESIS Y SIGNIFICADO DEL RESULTADO

Hipótesis I. Existe un solo decisor.

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

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

#### Significado del resultado

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

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

$$3 + 5 + 4 = 10$$

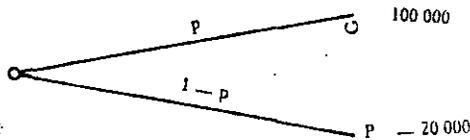
conocemos que existe un error, pero no podemos decir cuál de los cuatro números es el equivocado. En esta situación lo que se debe hacer es pedirle al decisor que considere nuevamente la determinación de sus equivalentes bajo certeza (quizá algunas de sus respues-

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

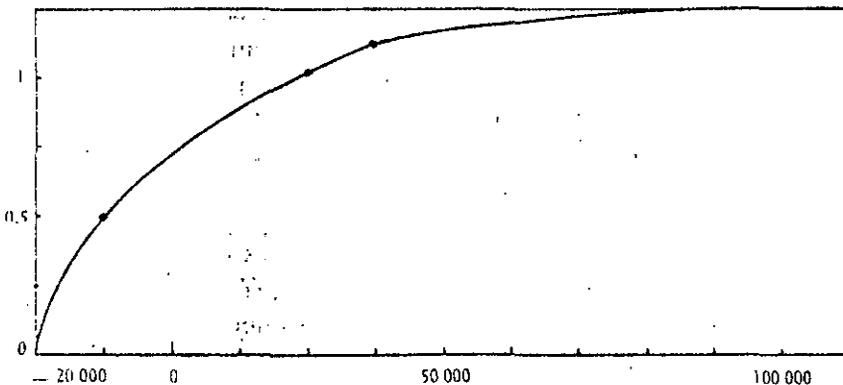
#### 4. CURVA DE PREFERENCIA PARA EL CALCULO DE EQUIVALENTES BAJO CERTEZA

##### Curva de preferencia

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



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

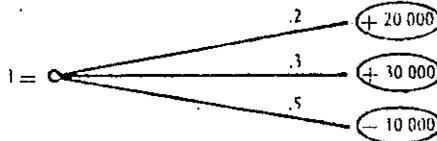


17

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

**Cálculo del equivalente bajo certeza**

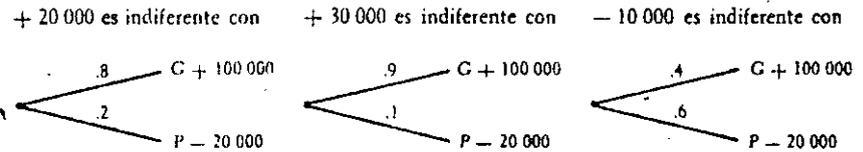
Suponga que desea calcular el equivalente de la lotería siguiente



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

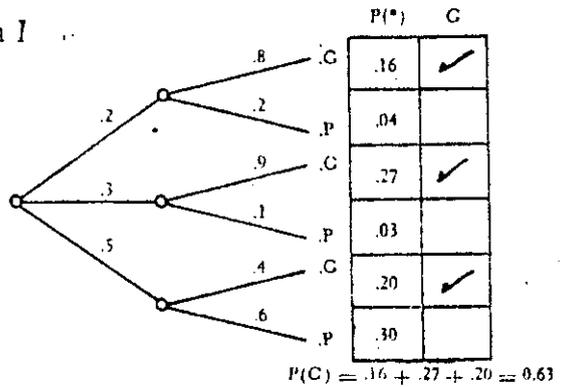
Conoce además que la curva de preferencia del decisor es la mostrada en el inciso anterior.

De la curva se conoce que

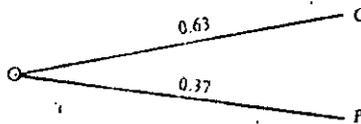


Entonces la lotería I

es equivalente con



luego la anterior es equivalente a



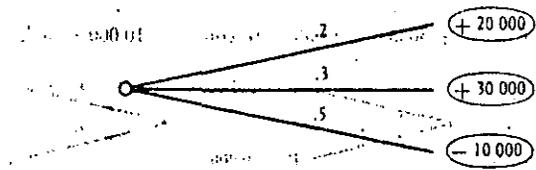
que yendo a la curva corresponde bajo certeza con + 2 000.

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

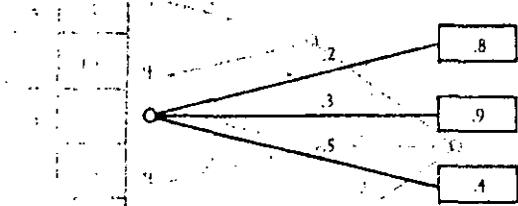
**Método para el cálculo del equivalente bajo certeza para una lotería**

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

En el ejemplo anterior



i) Sustituyendo los valores por sus preferencias queda



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

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

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

---

## 1. PROBABILIDAD

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

Debe cumplir con los tres axiomas siguientes.

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

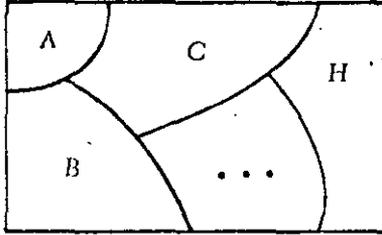
*Axioma 2.* La probabilidad que ocurra un conjunto formado por eventos mutuamente exclusivos y colectivamente exhaustivos es uno.

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

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

La probabilidad de cualquier evento  $A$  se representará como  $p(A)$ .

Considérese una lista de eventos  $A, B, C, \dots, H$  mutuamente exclusivos y colectivamente exhaustivos.



Sea  $U$  el evento que comprende a todos los de la lista. Por el axioma 2  $p(U) = 1$

Por el axioma 3  $p(U) = p(A) + p(B) + \dots + p(H)$

Por el axioma 1  $p(A) \geq 0, p(B) \geq 0, \dots, p(H) \geq 0$

luego si la suma de números positivos es igual a uno, ninguno de ellos puede ser mayor que la unidad.

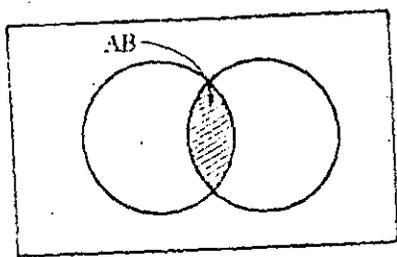
De manera que podemos concluir que las probabilidades son números mayores o iguales que cero y menores o iguales a uno y representan posibilidades de ocurrencia.

Por ejemplo, considérese una moneda que al tirarla tiene la misma posibilidad de caer águila que sol. Entonces la probabilidad de águila será igual a 0.5 y la de sol también. Considere ahora una moneda que tiene águila en ambos lados, la probabilidad de águila será uno y la de sol cero. La probabilidad cero corresponde en este caso a un evento imposible (que salga sol en una moneda sin sol). Todos los eventos imposibles siempre tienen probabilidad cero, pero no todos los que tienen probabilidad cero son imposibles.

### Probabilidad condicional

Primero se definirá lo que es la intersección de eventos.

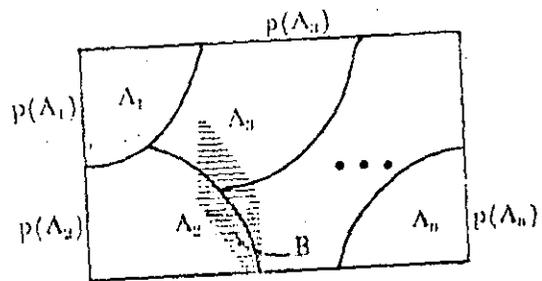
La intersección de los eventos  $A$  y  $B$  es el conjunto de todos los puntos que están en  $A$  y en  $B$  simultáneamente; Se acostumbra representar por  $AB$



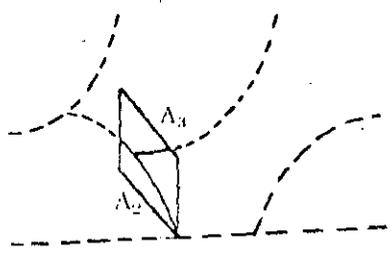
Por ejemplo si  $A = \{1, 2, 5, 8, 9, 10\}$   $B = \{2, 3, 4, 5, 8\}$   
 $C = \text{Jorge va al cine}$   $D = \text{María va al cine.}$

entonces  $AB = \{2, 5, 8\}$  y  $CD = \text{Jorge y María van al cine.}$

Considérese la lista de eventos  $A_1, A_2, \dots, A_n$  mutuamente exclusivos y colectivamente exhaustivos y un evento  $B$  con sus probabilidades respectivas.



Se establece ahora la condición que sólo el evento  $B$  puede ocurrir.



A partir de este momento todos aquellos eventos que no tienen puntos en común con  $B$  tendrán como nueva probabilidad cero. (Esta probabilidad nueva se representará como  $p(A_i/B)$ ).

Léase probabilidad condicional de  $A_1$  dado  $B$ ). Aquellos que sí tienen puntos en común (la intersección no está vacía) tendrán como probabilidad nueva el cociente que resulta al dividir la probabilidad de la intersección entre la probabilidad del evento condicionante. Así en la figura anterior:

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

### Independencia

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

### Ejemplo

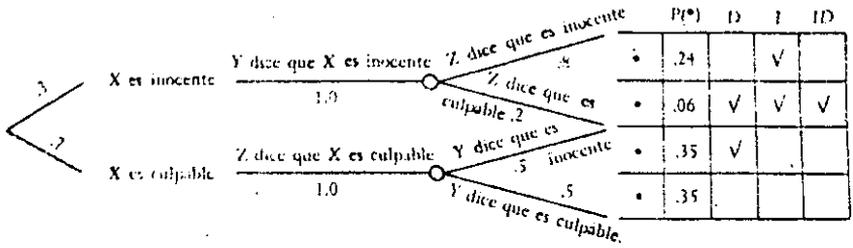
El Sr. X con probabilidad 0.7 puede ser culpable del fraude en la compra de barcos pesqueros por el que se le está enjuiciando.

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

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

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

a) El diagrama de eventos es el siguiente:



Evento D: los testigos están en desacuerdo.

Evento I: X es inocente.

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

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

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

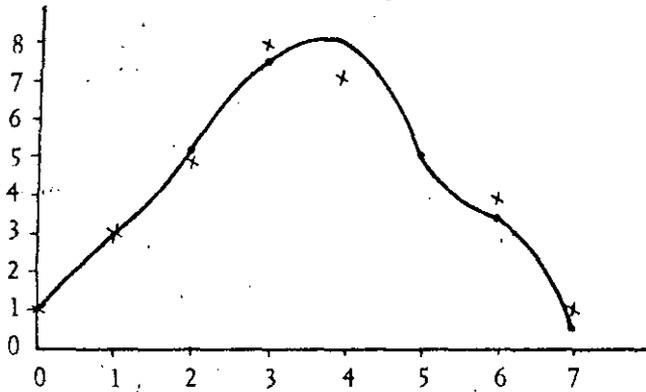
## 2. EVALUACION DE PROBABILIDADES

### Número suficiente de datos

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

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

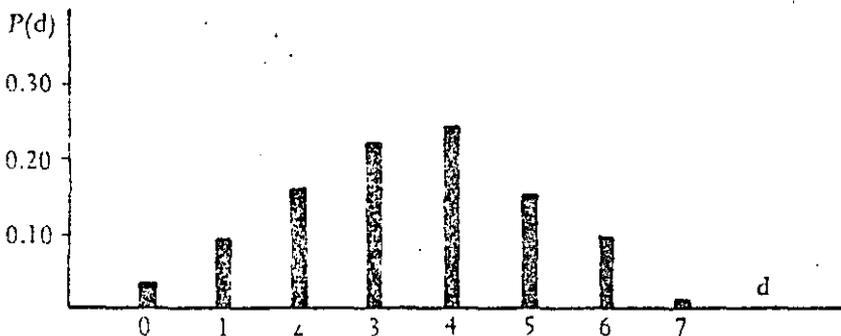
Graficando se tiene



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

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

Gráficamente



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

$$E(d) = 0 \times 0.3 + 1 \times 0.09 + 2 \times 0.16 + 3 \times 0.22 + 4 \times 0.24 + 5 \times 0.10 + 6 \times 0.10 + 7 \times 0.01 = 3.35.$$

**Número insuficiente de datos**

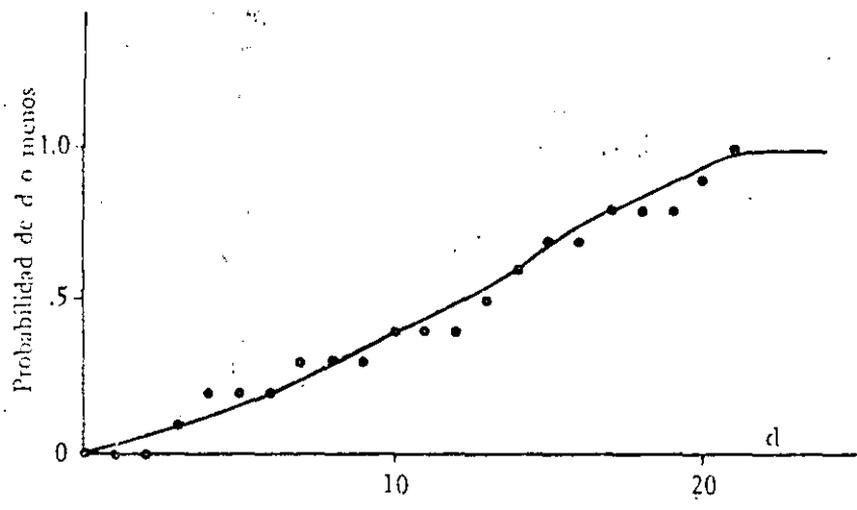
Ahora el registro tiene muy pocas observaciones, por lo que ya no es posible utilizar el método anterior. Supóngase que ahora la información es:

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

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

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

Gráficamente



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

**Evaluación de probabilidades utilizando la opinión de expertos**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Teniendo presente (2) en (1)

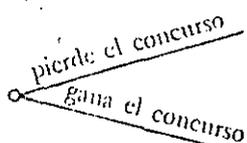
$$p(\text{ganar el concurso}) + p(\text{perder el concurso}) = 1$$

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

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

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

Opción A



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

Tendrá que boxear dos rounds con M. Ali.

Opción B

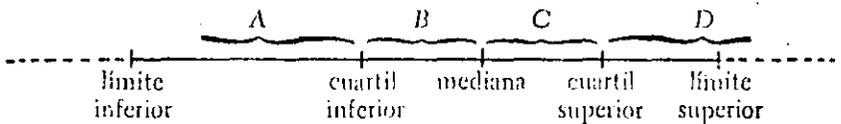
75 pelotas rojas
25 blancas

Si sale una pelota roja, usted tendrá que boxear dos rounds con M. Ali.  
Si sale blanca tendrá el viaje a Acapulco todo pagado asistiendo a la elección de Miss Universo.

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

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

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

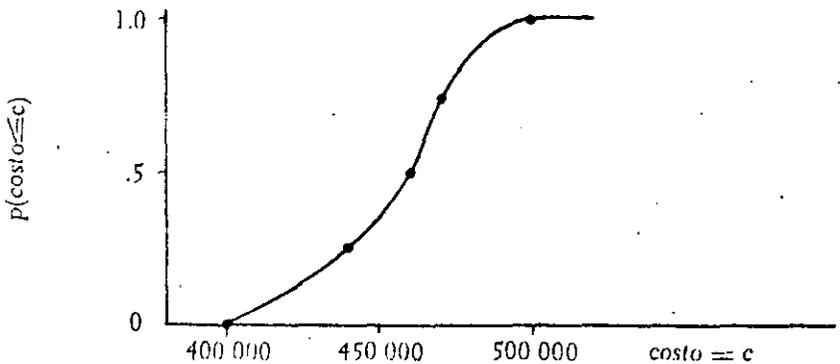


De manera que  $p(A) = p(B) = p(C) = p(D) = 0.25$ .

Sean estos valores:

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

Gráficamente la distribución de probabilidad es:

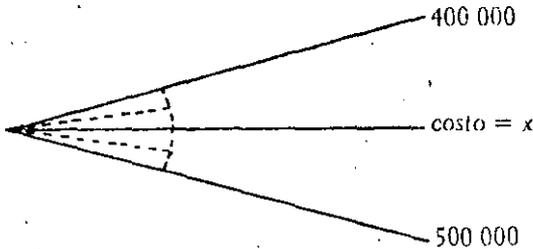


Un punto importante es que las consideraciones de los expertos quedan en forma explícita para análisis posteriores.

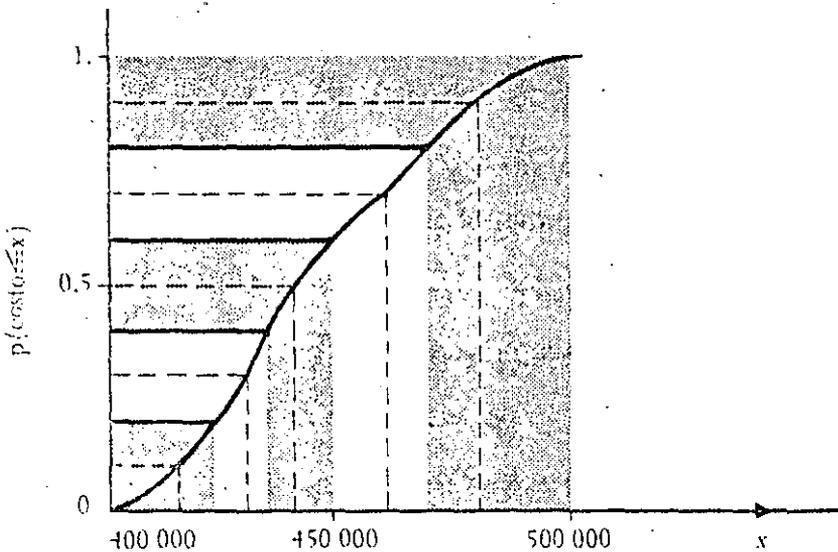
### 3. APROXIMACION EN EL CALCULO DEL VALOR ESPERADO Y ANALISIS DE SENSIBILIDAD

#### Aproximación en el valor esperado

Suponga que se tiene el punto de incertidumbre siguiente:



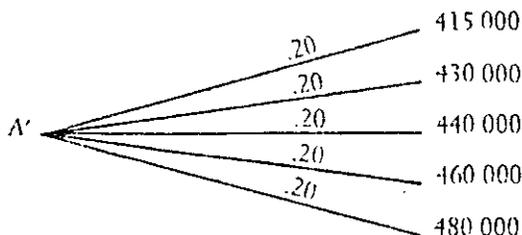
donde la distribución de probabilidad es:



y se desea determinar el valor esperado de  $x$ .

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

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



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

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

#### Análisis de sensibilidad

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

#### Ejercicios

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



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

SIMULACION DIGITAL

M. EN I. SILVA MIDENCES  
NOVIEMBRE, 1985

I N D I C E

	Pág
INTRODUCCION	1
ALGUNOS CONCEPTOS BASICOS	2
EL PROCESO DE SIMULACION	8
- DEFINICION DEL SISTEMA	9
- FORMULACION DEL MODELO	9
- OBTENCION DE DATOS	10
- SIMULACION/LENGUAJES	12
- EJEMPLO: SISTEMA DINAMICO DYNALCO	15
- EXPERIMENTACION	20
VALIDEZ	24
CONCLUSIONES	25
BIBLIOGRAFIA	

INTRODUCCION

LA SIMULACION, APOYADA EN INSTRUMENTACIONES CUANTITATIVAS Y CUALITATIVAS, CUBRE UN AMPLIO RANGO QUE VA DESDE LO INTUITIVO HASTA LAS TECNICAS MAS REFINADAS, DESDE DIEZ HASTA DOS MIL O MAS ECUACIONES O DESDE LA BIOLOGIA MICROCELULAR HASTA LA MACRO-  
MIA.

EN LA ACTUALIDAD ES FACTIBLE EFECTUAR EXPERIMENTOS CONTROLADOS ACERCA DE SITUACIONES DEL MUNDO REAL, GRACIAS A LAS COMPUTADORAS QUE HACEN EL TRABAJO REQUERIDO POR LOS MODELOS MATEMATICOS QUE REPRESENTAN EL SISTEMA BAJO ESTUDIO, POR LO QUE PUEDEN ANALIZARSE CIRCUNSTANCIAS QUE RARA VEZ SE ENCUENTRAN A LA MANO, E INVESTIGARSE CAMBIOS DESAFIANTES QUE PODRIAN PARECER DEMASIADO RIESGOSOS PARA PROBARLOS EN ORGANIZACIONES VERDADERAS.

COMO BIEN SABEMOS, LA SIMULACION RECIBIO SU PRINCIPAL IMPETU DEBIDO A LOS PROGRAMAS AEROSPAZIALES PERO SU APLICACION SE ENCUENTRA AHORA EN FORMA COMUN EN EL MUNDO DE LOS NEGOCIOS (1, 2, 3), ECONOMIA (4, 5), MERCADOTECNIA (6, 7), EDUCACION (8), POLITICA (9), CIENCIAS SOCIALES (10, 11) CIENCIAS DE LA CONDUCTA (12, 13), RELACIONES INTERNACIONALES (14, 15), TRANSPORTE (16), LEYES, ESTUDIOS URBANOS, ETC.

EN LA FIG 1 PUEDE UBICARSE FACILMENTE EL PAPEL QUE DESEMPEÑA LA SIMULACION, DENTRO DE LAS SEPT GRANDES ETAPAS QUE INTEGRAN EL ESTUDIO DE UN SISTEMA. EN DICHA FIGURA PUEDE APRECIARSE TAMBIEN LA NATURALEZA CICLICA E INTERACTIVA, DESDE LA DEFINICION DE OBJETIVOS DEL SISTEMA, HASTA SU IMPLEMENTACION Y CONTROL, ENFASIS QUE NACE EVIDENTEMENTE DE UNA PERSPECTIVA SISTE-

MICA Y POR LO MISMO, NO ES UNA SECUENCIA SISTEMÁTICA DE ETAPAS EN LÍNEA O "DE UN SOLO GOLPE"

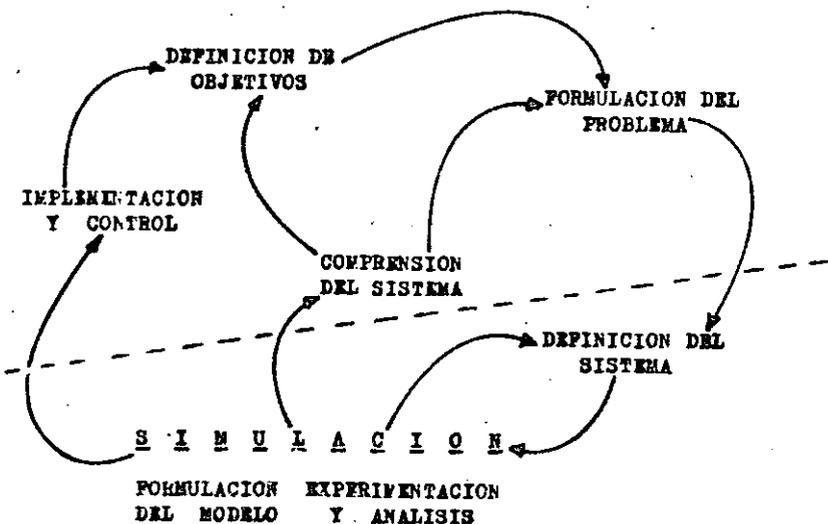


Fig. 1 ESTUDIO DE UN SISTEMA

#### ALGUNOS CONCEPTOS BASICOS

UNO DE LOS INSTRUMENTOS MAS UTILES PARA EL ANALISIS, DISEÑO Y OPERACION DE PROCESOS COMPLEJOS O SISTEMAS, ES LA SIMULACION, GENERALMENTE DEFINIDA COMO: "FINGIR, FRAUDE O ALTERACION DE LA CAUSA, FINGIMIENTO O IMITACION..." Y SIMULAR: "...REPRESENTAR UNA COSA IMITANDOLA O FINGIENDO LO QUE NO ES..."

EN FORMA SUBSTANCIAL: CADA MODELO O REPRESENTACION DE UN OBJETO ES...UNA FORMA DE SIMULACION.

LA SIMULACION SE HA CONSIDERADO GENERALMENTE EN FORMA MUY AMPLIA Y POCO CONCISA, LO CUAL NO VA ACORDE CON SU IMPORTANCIA DENTRO DEL ESTUDIO DE LOS SISTEMAS. CON LO EXPUESTO EN PAGINAS ANTERIORES FACILMENTE SE PUEDE AFIRMAR QUE LA SIMULACION ES:

UN PROCESO DE:
 

- DISEÑO DE MODELOS DE SISTEMAS
- Y
- CONDUCCION DE EXPERIMENTOS Y ANALISIS DE SUS RESULTADOS

PUDIENDOSE CITAR COMO ALGUNOS DE SUS PROPOSITOS:

- EVALUACION: DETERMINAR CONTRA UN CRITERIO ESPECIFICO, EL DESEMPEÑO DEL SISTEMA PROPUESTO
- COMPARACION: COMPARAR SISTEMAS MUTUAMENTE COMPETITIVOS, DISEÑADOS PARA UNA FUNCION ESPECIFICA, O BIEN COMPARAR POLITICAS O PROCEDIMIENTOS PROPUESTOS
- PREDICCION: ESTIMAR EL DESEMPEÑO DEL SISTEMA BAJO UN CONJUNTO DE CONDICIONES DE PROYECTO
- SENSITIVIDAD: DETERMINAR CUAL(ES) DE TODOS LOS FACTORES SON LOS MAS SIGNIFICATIVOS EN EL COMPORTAMIENTO GLOBAL DEL SISTEMA -ANALISIS MARGINAL.
- OPTIMIZACION: DETERMINAR CUAL COMBINACION DE NIVELES PRODUCIRA LA MEJOR RESPUESTA GLOBAL DEL SISTEMA. MANERA OPTIMA DADO UN CIERTO CRITERIO DE COMPORTAMIENTO.
- RELACIONES FUNCIONALES: ESTABLECER LA NATURALEZA DE LAS INTERRELACIONES ENTRE UNO O MAS FACTORES SIGNIFICATIVOS DEL SISTEMA.

SIENDO UN MODELO LA REPRESENTACION DE UN SISTEMA, OBJETO O IDEA EN ALGUNA FORMA QUE NO SEA EL MISMO ENTE, FORRESTER (17) RECONOCE QUE ES POSIBLE CLASIFICAR DE MUCHAS FORMAS LOS MODELOS PERO BAJO EL ENFOQUE DINAMICO DE SISTEMAS, EL APORTA UNA UTIL SUBDIVISION COMO SE ILUSTRAN EN LA FIG. 2:



NOSOTROS ENCONTRAREMOS SIEMPRE QUE CUALQUIER MODELO ASI, CON -  
SISTE DE ALGUNA COMBINACION DE LOS SIGUIENTES "INGREDIENTES":

- Componentes. PARTES CONSTITUYENTES DEL SISTEMA, TAMBIEN DEMO  
MINADOS COMO ELEMENTOS O SUBSISTEMAS.

- Parámetros. CANTIDADES CONSTANTES, QUE NO VARIAN Y QUE GENE  
- RAN UNA FAMILIA DE SISTEMAS.

- Variables. EXOGENAS O ENDOGENAS. LAS PRIMERAS SE GENERAN FU  
- RA DEL SISTEMA Y AFECTAN A ESTA PERO NO HAY "RECIPROCIDAD", EN  
ESTADISTICA SE CONOCEN COMO INDEPENDIENTES. LAS SEGUNDAS, OB  
- VIAMENTE SE ENCUENTRAN DENTRO DEL SISTEMA, CONOCIDAS TAMBIEN  
COMO VARIABLES DE ESTADO, DE NIVEL O DEPENDIENTES,

- Interrelaciones Funcionales. DESCRIBE A LAS VARIABLES Y PA  
- RAMETROS EN SU COMPORTAMIENTO DENTRO DE UNA COMPONENTE, O EN  
- TRE COMPONENTES DE UN SISTEMA. ESTAS INTERRELACIONES O CARACTE  
- RISTICAS OPERACIONALES PUEDEN SER DE NATURALEZA DETERMINISTICA  
O ESTOCASTICAS.

- Restricciones. SON LIMITACIONES IMPUESTAS A LOS VALORES DE -  
LAS VARIABLES O LA FORMA EN QUE LOS RECURSOS PUEDEN SER DISTRI  
- BUIDOS O ERROGADOS.

- Función Objetivo. ES UNA DECLARACION EXPLICITA DE LOS OBJE  
- TIVOS DEL SISTEMA. USUALMENTE ES UNA PARTE INTEGRAL DEL MODELO.  
Y SU MANIPULACION SE ABOCA A OPTIMIZAR O SATISFACER EL CRITE  
- RIO ESTABLECIDO.

ELMAGHRABY (18) DISTINGUE AL MENOS CINCO USOS COMUNES Y JUSTIFI  
- CADOS:

1. APOYO AL RACIOCINIO
2. FACILITA LA COMUNICACION
3. COADYUVA AL CONOCIMIENTO
4. HERRAMIENTA UTIL PARA ESTIMAR EVENTOS FUTUROS
5. APOYO PARA LA EXPERIMENTACION

EL PROCESO POR EL CUAL SE CONCRETA UN MODELO DEL SISTEMA BAJO  
ESTUDIO, POR SU GRAN DOSIS DE INTUITIVIDAD SE HA DENOMINADO -  
"EL ARTE DEL MODELADO".... CUALQUIER CONJUNTO DE REGLAS ES LI  
- MITANTE PER SE, Y DEBERAN ADOPTARSE COMO LINEAMIENTOS QUE SU  
- GIEREN..., NORMAN..., INDICAN..., HAY UNA GRAN DIFERENCIA ENTRE  
APRENDER MODELOS Y APRENDER A MODELAR.

LA EXPERIENCIA INDICA QUE LA SUCESIVA RESTRUCTURACION DE UN MO  
- DELO ES LA BASE DE SU ELABORACION Y ENRIQUECIMIENTO..... . .  
SE EMPIEZA CON UN MODELO MUCHO MUY SIMPLE Y SE EVOLUCIONA HA  
- CIA UNO MAS ELABORADO, MAS EXTENSO Y PROFUNDO QUE REPLJE UNA  
FENOMENOLOGIA ALTAMENTE COMPLEJA LO MAS CLARO POSIBLE..... . .  
ESTABLECER EN LO POSIBLE, ANALOGIAS O ASOCIACIONES CON ESTRU  
- CTURAS PREVIAMENTE ELABORADAS, DISCUTIDAS Y COMPROBADAS..... . .  
EL PROCESO DE ELABORACION Y ENRIQUECIMIENTO INVOLUCRA UNA CONS  
- TANTE INTERACCION Y RETROALIMENTACION ENTRE EL MUNDO REAL Y EL  
MODELO QUE SE ESTA PORJANDO.

"EL ARTE DEL MODELADO" CONSISTE EN LA HABILIDAD DE ANALIZAR -  
UN PROBLEMA, ABSTRAER SUS ASPECTOS ESENCIALES, SELECCIONAR Y  
MODIFICAR LAS HIPOTESIS BASICAS QUE CARACTERIZAN EL SISTEMA Y  
ENTONCES CONFRONTARLO HASTA APROXIMARSE A RESULTADOS UTILES.

MORRIS (19) SUGIERE LOS SIGUIENTES LINEAMIENTOS:

- DESCOMPONGA EL SISTEMA PROBLEMA EN VARIOS PROBLEMAS SIMPLES
- ESTABLEZCA UN ENUNCIADO CLARO DE LOS OBJETIVOS
- BUSQUE ANALOGIAS
- ADJUDIQUE NOTACIONES O SIMBOLOGIA PROPIA
- NO OLVIDE ESCRIBIR AL MARGEN LO OBVIO
- SI HA LOGRADO UN MODELO MANIPULABLE, ENRIQUEZCALO; CASO CON  
- TRARIO SIMPLIFIQUELO

EL PROCESO DE SIMULACION

EXTENDIENDO LO ANTERIOR HACIA LA INVESTIGACION DE LAS PROPIEDADES Y COMPORTAMIENTO DE UN SISTEMA DADO, ANALIZEMOS LA PORCION INFERIOR DEL CORTE HECHO EN LA FIG. 1 Y PROFUNDICEMOS DE ACUERDO A LA FIG. 3:

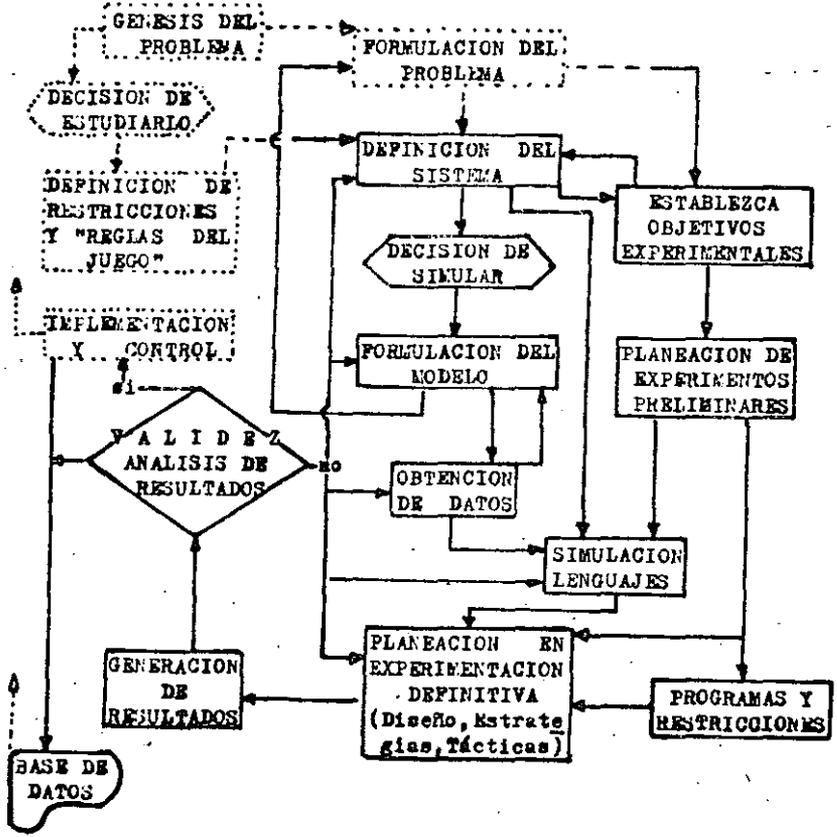


Fig. 3 PROCESO DE SIMULACION

EINSTEIN EXPRESO UNA VEZ QUE LA ADECUADA FORMULACION DE UN PROBLEMA, ES AUN MAS ESENCIAL QUE SU SOLUCION SIENDO ESTA EXCLUSIVAMENTE HABILIDAD MATEMATICA.

LA DEFINICION DE UN SISTEMA GENERALMENTE SE INICIA CON IMAGENES VERBALES (MODELO VERBAL) EN QUE SE NOS EXPRESA EN FORMA NO MUY PRECISA A VECES, LA SITUACION QUE DESEA RESOLVERSE, POR LOS EFECTOS MAS QUE POR LAS CAUSAS: PERDIDAS,...DEMORAS..."CUELLOS DE BOTELLA"...CONFLICTOS LABORALES...ETC.

LA FORMULACION DEL MODELO PUEDE DESCOMponERSE EN DOS FASES: LA PRIMERA COMO UN PERIODO DE ORIENTACION Y FORMULACION DEL PROBLEMA (NO COMO LO VIVE QUIEN GENERA EL ESTUDIO) Y LA SEGUNDA FASE, LA INVESTIGACION DE LOS SUBSISTEMAS. (GERENCIAL, ADMINISTRATIVO, PROCESOS DE PRODUCCION, DISTRIBUCION, CONSUMO, PUBLICIDAD, FINANCIERO, ETC)

EN LA PRIMERA FASE ACKOFF Y SASIENI (20) PROponEN:

1. IDENTIFIQUE LAS DECISIONES CRUCIALES Y QUIEN (ES) LA(S) EJECUTAN, ASI COMO EL PROCESO DE TOMA DE DECISIONES RELATIVAS AL SISTEMA
2. DETERMINE LOS OBJETIVOS RELEVANTES DE CADA UNO DE LOS RESPONSABLES EN CADA FACETA DE UNA DECISION HECHA.
3. IDENTIFIQUE LA(S) PERSONA(S) QUE DE ALGUN MODO PARTICIPAN, SU GRADO DE INFLUENCIA Y LOS CANALES A TRAVES DE LOS CUALES EJERCEN SU INFLUENCIA.
4. DETERMINE LOS OBJETIVOS E INTERESES PARTICULARES CON RESPECTO AL SISTEMA DE DICHAS PERSONAS
5. ESTABLEZCA CUALES ASPECTOS DE LA SITUACION ESTAN BAJO CONTROL Y EL RANGO DE ACCION QUE PUEDEN EJERCER LOS RESPONSABLES DE LA TOMA DE DECISIONES.
6. IDENTIFIQUE AQUELLOS ASPECTOS DEL ENTORNO O PROBLEMAS DENTRO DEL CONTEXTO QUE AFECTEN EL RESULTADO DE POSIBLES SOLUCIONES QUE NO ESTEN CONTROLADAS POR LOS DECISORES.

7. DETERMINE QUE OBJECIONES SON PROBABLES DE CONCRETARSE POR A QUELLOS PARTICIPANTES QUE SE OPONGAN A CAMBIOS EN EL SISTEMA.

EN CUANTO A LA OBTENCION DE DATOS, SEGUNDA FASE:

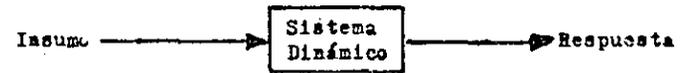
1. ESPECIFIQUE CLARA Y CONCISA, LAS TAREAS QUE DEBEN REALIZARSE PARA EL SISTEMA O SUBSISTEMA (RUTA CRITICA)
2. DETERMINE LAS RESTRICCIONES DEL CASO: PERSONAL, FECHA DE ENTREGA, RECURSOS MONETARIOS, TIEMPO EN COMPUTADORA, ETC.
3. ESTABLEZCA UN "CUARTEL GENERAL" DE COORDINACION, ADMINISTRACION, INFORMACION, ETC.
4. OBTENGA CARTA BLANCA PARA OBTENER TODO TIPO DE INFORMACION.
5. ASEGURE LA PARTICIPACION DEL PERSONAL NECESARIO
6. DESARROLLE CRITERIOS PARA EVALUAR RESULTADOS
7. DEFINA LOS LIMITES DE PARTICIPACION DEL PERSONAL Y DECISORES

LO ANTERIOR ES CRUCIAL, CONSIDERE SEGUN EL CASO, MANUALES, INSTRUMENTOS, REPORTES, FORMAS DE CAPTACION DE INFORMACION, ENTRE VISTAS, DIAGRAMAS DE PROCESOS, DIAGRAMAS DE FLUJO DE PROCESAMIENTO DE INFORMACION, ETC.

TODO LO ANTERIOR SE DIRIGE A DEFINIR EL MODELO, POR LO TANTO: YA ESPECIFICADO EL PROPOSITO O PROPOSITOS DEL MODELO:

- A. ESPECIFIQUE LOS COMPONENTES QUE DEBEN INCLUIRSE
- B. ESPECIFIQUE LOS PARAMETROS Y VARIABLES ASOCIADOS CON CADA COMPONENTE
- C. ESPECIFIQUE LAS INTERRELACIONES FUNCIONALES ENTRE COMPONENTES, PARAMETROS Y VARIABLES

PARA LO ANTERIOR, CONSIDEREMOS QUE PUEDEN PRESENTARSE VARIOS TIPOS DE PROBLEMAS, LOS CUALES PODEMOS CONCEPTUALIZARLOS DE LA MANERA SIGUIENTE:



DE LO ANTERIOR DEBEMOS CONTAR O ASUMIR DOS DE LOS TRES ENTES, SI CONOCEMOS LA ECUACION QUE DESCRIBE EL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA DINAMICO, LOS PROBLEMAS SERIAN: ENCONTRAR LA RESPUESTA DEL SISTEMA BAJO UN INSUMO(S) CONOCIDO(S), O BIEN EL DE ENCONTRAR QUE INSUMO(S) PRODUCE(N) TAL RESPUESTA, (PROBLEMAS DE CONTROL). MAS DIFICIL ES CUANDO SE TIENEN LAS ENTRADAS Y SALIDAS Y SE TIENE QUE INFERIR O ENCONTRAR LA DESCRIPCION MATEMATICA DEL SISTEMA, (CAJA NEGRA)

EN GENERAL, HAY TRES TIPOS DE SISTEMAS COMPONENTES QUE CONVIERTEN INSUMOS EN PRODUCTOS, Y QUE SE ILUSTRAN EN LA FIG. 4, SIENDO EL PROCESO DE CONVERSION DETERMINISTICO O ESTOCASTICO

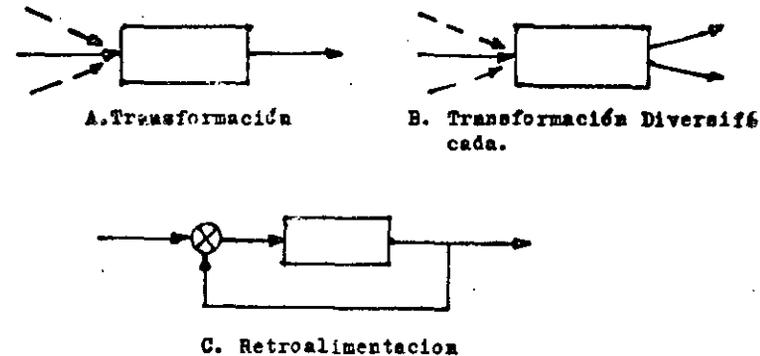


Fig. 4. SISTEMAS COMPONENTES BASICOS

EN LO QUE RESPECTA A LAS ESPECIFICACIONES FINALES ANTERIORMENTE ENUNCIADAS, BREVEMENTE SE INDICAN LAS TECNICAS ESTADISTICAS DEL DOMINIO TECNICO NORMAL Y OTRAS METODOLOGIAS QUE PUEDEN SER UTILES PARA DETERMINAR LAS RELACIONES ENTRE COMPONENTES, VARIABLES Y PARAMETROS.

SIMULACION/LENGUAJES

AL FINALIZAR LOS '40 VON NEUMANN Y ULAN ACUÑARON EL TERMINO DE "MONTE CARLO" Y CUYA TECNICA, APLICADA EN ASPECTOS COLATERALES CON EL PROBLEMA NUCLEAR EN "LOS ALAMOS", POSTERIORMENTE GANO BASTANTE POPULARIDAD EN DIFERENTES CAMPOS, SIENDO SU NOMBRE SINONIMO DE SIMULACION PARA MUCHAS GENTES.

EL METODO DE MONTE CARLO ES BASICO PARA EL CONCEPTO DE SIMULACION EN SISTEMAS QUE CONTIENEN ELEMENTOS ESTOCASTICOS O PROBABILISTICOS. LA TECNICA ES DESARROLLADA COMO EXPERIENCIA ARTIFICIAL GENERANDO NUMEROS ALEATORIOS Y USANDO LA FUNCION DE DISTRIBUCION ACUMULADA DE INTERES. LA GENERACION DE NUMEROS ALEATORIOS PUEDE REALIZARSE EN FORMA MANUAL, TABLAS, CON UNA SUBRUTINA POR COMPUTADORA (21) O POR OTRO MEDIO QUE NOS ARROJE DIGITOS ALEATORIOS, UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDOS. LA FUNCION DE DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD PUEDE DERIVARSE DE DATOS HISTORICOS, EXPERIMENTOS RECIENTES O POR UNA DISTRIBUCION TEORICA CONOCIDA LOS NUMEROS ALEATORIOS SON USADOS PARA PRODUCIR UNA CORRIENTE ALEATORIZADA QUE "DUPLICARA" UNA EXPERIENCIA QUE PUDO HABER SIDO PRODUCIDA POR UNA FUNCION DE DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD MUESTREADA.

LA PRUEBA DE DISCREPANCIA ENTRE UNA FRECUENCIA OBSERVADA Y LA ESPERADA PROPUESTA POR KARL PEARSON EN 1903 Y DESARROLLADA POR SIR RONALD FISHER EN TABLAS PUBLICADAS EN 1924 ES LA  $\chi^2$  (CHI CUADRADA) Y USADAS HOY EN DIA. OTRA PRUEBA ES LA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV PUBLICADA INICIALMENTE EN 1948

¿COMO "ATACAR EL PROBLEMA" CUANDO ADEMAS DE EXISTIR ELEMENTOS ESTOCASTICOS, EXISTE RETROALIMENTACION? APORA BIEN, LOS SISTEMAS REALES SON MAS CONTINUOS DE LO QUE COMUNMENTE SE SUPONE LA CONCEPTUALIZACION POR FLUJOS CONTINUOS ES UNA PRIMERA APROXIMACION EFECTIVA, INCLUSO DONDE SE DAN DECISIONES Y ACONTECIMIENTOS

REPETITIVOS PERO DISCRETOS, A PARTIR DEL CUAL SE PUEDE AGREGAR DESPUES LA REALIDAD DE LAS ACCIONES SEPARADAS EN LAS CUALES ES NECESARIA DICHA REPRESENTACION. SE PROCEDERIA ASI ANTES DE ESTABLECER LAS CARACTERISTICAS ESTOCASTICAS (EN QUE CADA DECISION SE GENERA SOBRE UNA BASE ALEATORIA DE ALGUNA DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD CONTROLADA). EL "RUIDO" (PERTURBACIONES ALEATORIAS) PUEDE AÑADIRSE DESPUES A LAS FUNCIONES DE DECISION. TAL ES EL ENFOQUE A LA DINAMICA DE SISTEMAS DE PARAR (11) POR MEDIO DEL LENGUAJE DE SIMULACION "DYNAMO", (DYN<sub>mic</sub> MO<sub>dels</sub>).

SIN OLVIDAR LAS ESPECIFICACIONES A CUMPLIR PARA LA DEFINICION DEL MODELO, CONCRETAMENTE, LAS INTERRELACIONES ENTRE VARIABLES LA ESTADISTICA NOS PROPORCIONA LOS ANALISIS DE REGRESION, CORRELACION, NO LINEALIDAD Y/O REGRESION MULTIPLE (22), Y QUE SON DEL DOMINIO COMUN TECNICO.

PARAMETROS ¿CUANDO NO SE PUEDE DETERMINAR EL VALOR DE LOS PARAMETROS EMPIRICAMENTE? ¿NO SE CUENTA CON REGISTROS HISTORICOS O FORMA DE EXPERIMENTAR?...PODEMOS RECURRIR A UN GRUPO DE EXPERTOS A FIN DE OBTENER UNA EVALUACION SUBJETIVA. UNA TECNICA MUY UTIL AL RESPECTO ES EL METODO DE DELPHIS (O DELPHI), DESARROLLADO EN LA RAND CORP., (23) DEBIDO A OLAF FELVER Y NORMAN DALKEY. ES UN PROCEDIMIENTO ITERATIVO QUE SUJETA EL PUNTO DE VISTA DE CADA PARTICIPANTE A LA CRITICA DE LOS DEMAS, PERO SIN CONFRONTACION DIRECTA CARA A CARA. LA IDEA ES MANIPULAR UN MECANISMO QUE PRESERVE EL ANONIMATO DE LOS PARTICIPANTES, SU PERSONALIDAD O FUERZA POLITICA. LA INTERACCION ES DIRIGIDA POR UN GRUPO O UN SOLO COORDINADOR, QUIEN(ES) COORDINA(N) LAS DELIBERACIONES Y PRESERVA(N) EL ANONIMATO. LAS RESPUESTAS SON COMPUTADAS Y REGRESADAS A LOS PARTICIPANTES EN FORMA DE RESPUESTAS ESTADISTICAS. EN TRES O CUATRO ITERACIONES (ROUNDS) LOS EXPERTOS LOGRAN PONERSE DE ACUERDO.

CONCLUYENDO:

1. DEFINA EL PROBLEMA REAL
2. ESTABLEZCA LOS OBJETIVOS DEL ESTUDIO
3. DEFINA LAS FRONTERAS DEL SISTEMA
4. DETERMINE LAS COMPONENTES Y VARIABLES RELEVANTES
5. ESTABLEZCA HIPOTESIS Y ABSTRAIGA LAS RELACIONES ENTRE COMPONENTES Y VARIABLES
6. ESTIME LOS VALORES DE LOS PARAMETROS INVOLUCRADOS

EN LO QUE RESPECTA AL LENGUAJE DE SIMULACION, PARTAMOS DE LAS MAQUINAS COMPUTADORAS. DESPUES DE LA SEGUNDA GUERRA MUNDIAL, - EL ADVENIMIENTO DE ESTE TIPO DE EQUIPOS PERMITIO TRATAR SISTEMAS COMPLEJOS (RECUERDESE A LOS PIONEROS EN ECONOMIA: COURNOT, MARSHALL, EDGEWORTH, WALRAS, LOS TRABAJOS EN ESTADISTICA ALLA POR LOS '20, '30, '40 DE FISHER, NEYMAN, PEARSON, WALD, JEFFREYS y OTROS. TINBERGEN CON SU MODELO MATEMATICO PARA EL ANALISIS ECONOMICO; 1937, 39; UN MODELO DINAMICO MULTIECUACIONAL, CON 50 ECUACIONES DE DIFERENCIA LINEALES ESTOCASTICOS). LAS COMPUTADORAS DE TIPO ANALOGICO SE DESARROLLARON ENTRE 1930 y 1950 Y FUERON USADAS EN LOS ANALIZADORES DE REDES ELECTRICAS Y EN ANALIZADORES DE ECUACIONES DIFERENCIALES. EN UN PRINCIPIO SE INTENTO EL USO DE APARATOS DE COMPUTACION ANALOGICOS PARA EL ESTUDIO DE LOS SISTEMAS ECONOMICOS PERO RESULTARON INADECUADOS FRENTE A LOS PROBLEMAS DE INTERES PRACTICO. EL ADVENIMIENTO DE LA COMPUTADORA DIGITAL ELECTRONICA, CUYO USO SE GENERALIZO ENTRE 1955-60 PERMITIO EFECTUAR LA GRAN CANTIDAD DE TRABAJO QUE SE NECESITA PARA OBTENER SOLUCIONES ESPECIFICAS A LAS CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS COMPLEJOS SIN QUE SEA ECONOMICAMENTE PROHIBITIVO.

SE HABLA DE COMPUTADORAS DE LA CUARTA GENERACION, PERO ASENTEMOS ALGUNOS ASPECTOS BASICOS: COMPUTADORAS ANALOGICAS, DIGITALES E HIBRIDAS. LAS VENTAJAS RELATIVAS DESCANSAN EN SUS CARAC

TERISTICAS BASICAS: LAS ANALOGICAS REPRESENTAN LAS VARIABLES DE UN PROBLEMA EN FORMA DE CANTIDADES FISICAS LAS CUALES SON MANIPULADAS COMO VOLTAJES ELECTRICOS LLEGANDO A LA SOLUCION CON OPERACIONES SIMULTANEAS (O EN PARALELO), MIENTRAS QUE LA DIGITAL OPERA EN FORMA SECUENCIAL. POR OTRO LADO, LAS DIGITALES SON DE MAYOR PRECISION Y CAMPO DE ACCION DINAMICO, DEBIDO A SU HABILIDAD DE CALCULAR, OBEDECER REGLAS LOGICAS, PUNTO PLOTANTE ETC., EN LAS ANALOGICAS SU PRECISION SE ENCUENTRA LIMITADA EN FUNCION DE LA CALIDAD DE LOS CIRCUITOS COMPONENTES MIENTRAS QUE EN LA DIGITAL EL LIMITE ES LA CAPACIDAD DE MEMORIA.

DESGRACIADAMENTE EN NUESTRO PAIS, EL PROGRESO DE LAS MAQUINAS SE MANTIENE CADA VEZ MUY POR DELANTE DEL PROGRESO CONCEPTUAL - DE LA DINAMICA DE SISTEMAS.

LA FIG. 5 PRESENTA UNA CLASIFICACION DE LOS LENGUAJES DE SIMULACION MAS UTILIZADOS (24). MUCHOS DE ESTOS LENGUAJES TIENEN VARIAS VERSIONES Y DIALECTOS, POR LO QUE SOLO SE PRESENTA EL NOMBRE GENERICAMENTE DE LA FAMILIA. RESALTAN COMO VENTAJAS DE LOS LENGUAJES ORIENTADOS SOBRE LOS DE PROPOSITO GENERAL EL QUE SE REQUIERE MENOS TIEMPO EN ELABORAR EL PROGRAMA, SE TIENE ALTA - MENTE SISTEMATIZADO LA DETECCION DE ERRORES, CON SUBROUTINAS YA ELABORADAS, AUTOMATICAMENTE GENERAL DATOS ESPECIFICOS NECESARIOS EN LAS CORRIDAS SUCESSIVAS, MEJORES FACILIDADES PARA CAPTAR INFORMACION Y VISUALIZACION DE RESULTADOS, ETC.

#### EJEMPLO: SISTEMA DINAMICO (DYNAMO)

LOS PROBLEMAS QUE VERDADERAMENTE SON UN RETO DESDE LA PERSPECTIVA DE LA DINAMICA DE SISTEMAS, TIENEN AL MENOS DOS COSAS EN COMUN: PRIMERO Y OBTIVAMENTE, SON DINAMICOS, INVOLUCRAN CANTIDADES FLUCTUANTES Y QUE PUEDEN EXPRESARSE EN FORMA DE GRAFICAS, CON SUS VARIACIONES A TRAVES DEL TIEMPO: NIVELES OSCILANTES DE EMPLEO, DECLINACION DE LA CALIDAD DE LA VIDA CIUDADANA, DEPRESIONES PSICOLOGICAS, TRANSPORTE, CONSUMO DE AGUA, ETC., SEGUNDO EL CONCEPTO DE RETROALIMENTACION, QUE EXISTE CUANDO EL MEDIO -

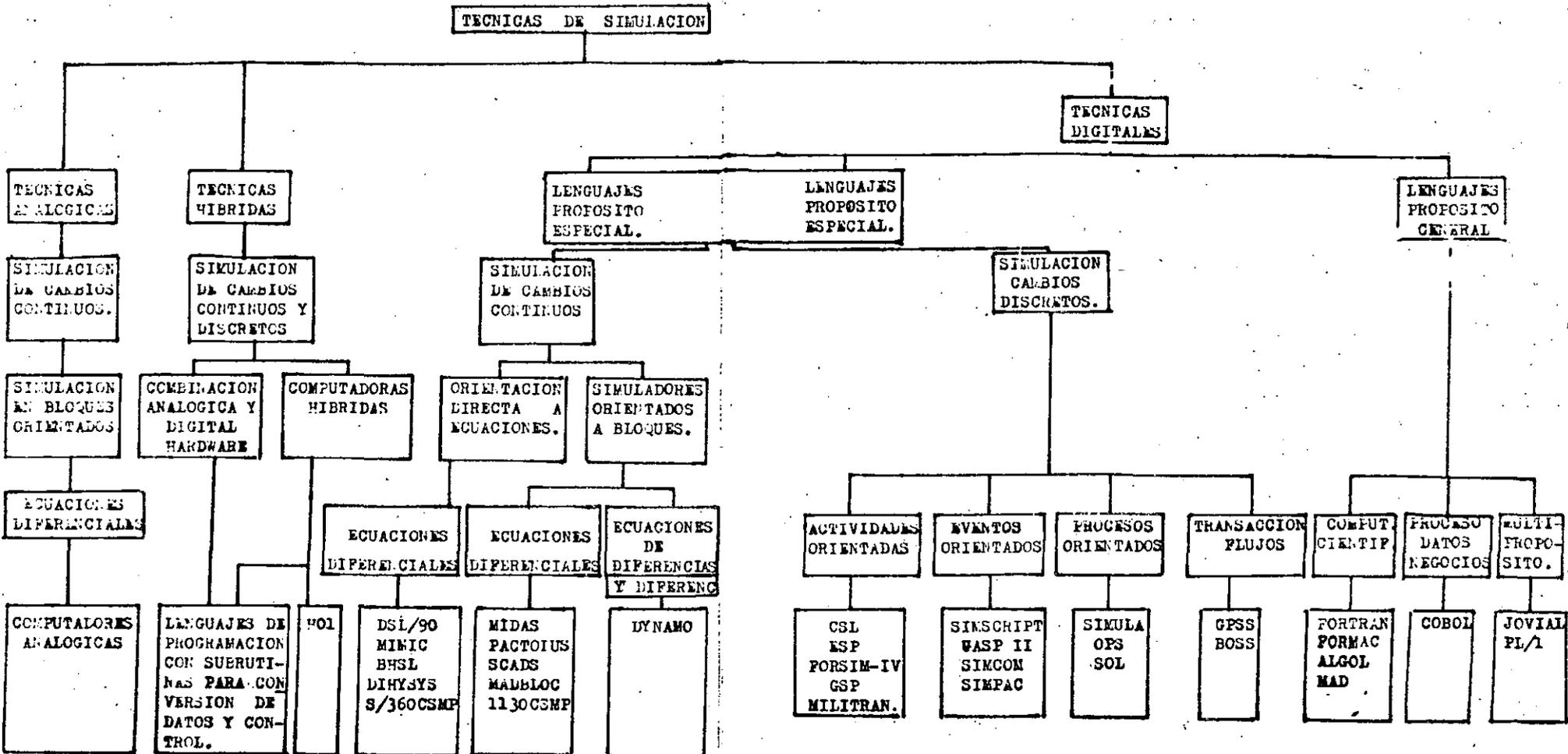


FIG.5 CLASIFICACION

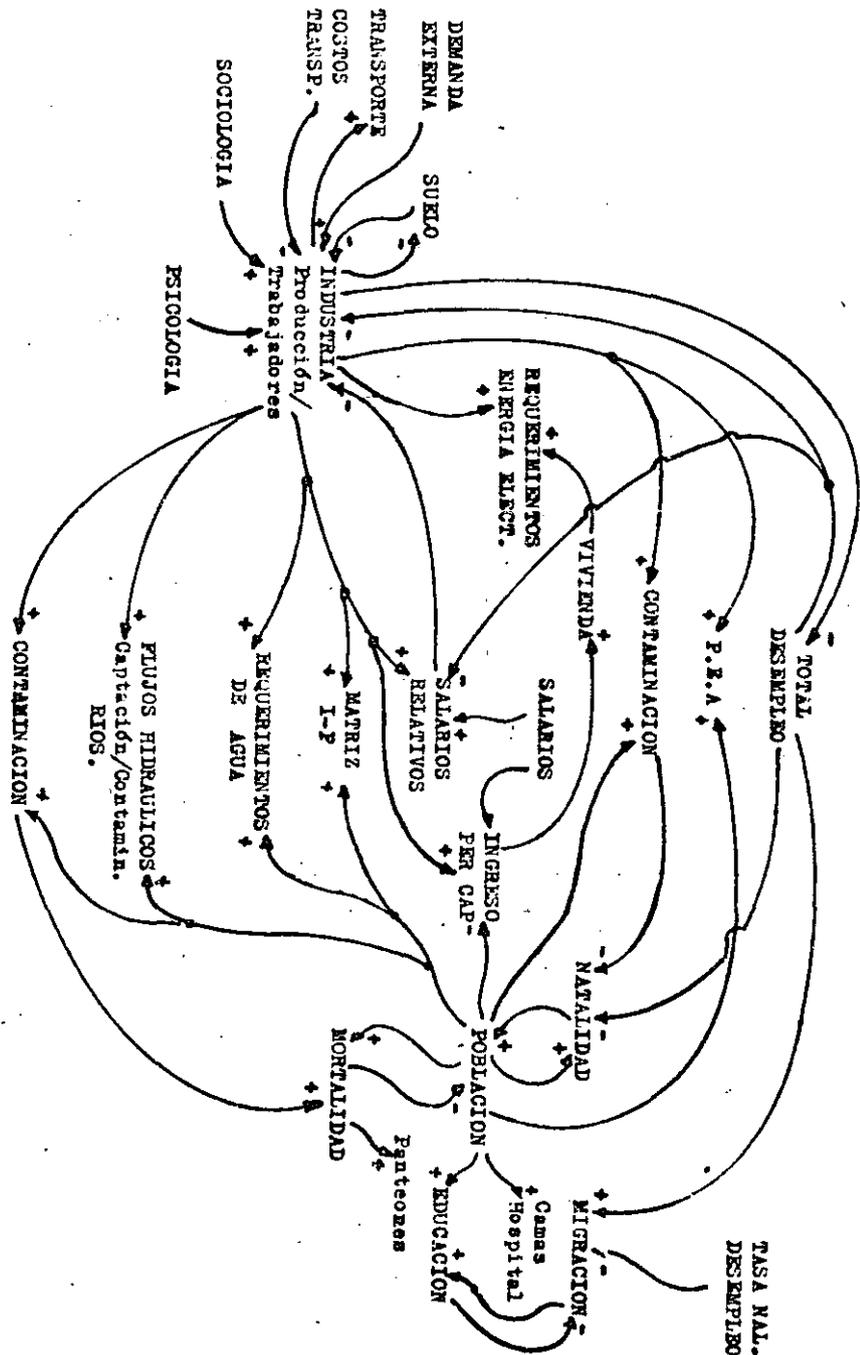
DE LENGUAJES

CONDUCE A UN ACTO DECISIVO CUYO RESULTADO ES UNA ACCION QUE INFLUYE EN EL MEDIO Y POR LO TANTO EN LAS DECISIONES FUTURAS..." (17). ESTA DEFINICION ABARCA TODAS LAS DECISIONES CONSCIENTES E INCONSCIENTES TOMADAS POR UN INDIVIDUO, INCLUYE TAMBIEN LAS DECISIONES MECANICAS ASOPTADAS POR APARATOS LLAMADOS SERVOMECANISMOS Y DEBIDO A ELLOS APARECIO DICHA DEFINICION; LOS FISIOLOGOS UTILIZAN LA PALABRA HOMEOSTASIS.

TODOS CUANTO HACEMOS COMO INDIVIDUOS, COMO ORGANIZACION, INDUSTRIA O SOCIEDAD SE LLEVA A CABO DENTRO DEL CONTEXTO DE UN SISTEMA DE RETROALIMENTACION INFORMATIVA, PERO SU DEFINICION ABARCA TANTO QUE, EN PRINCIPIO PARECIERA CARECER DE SIGNIFICACION LOS SISTEMAS DE RETROALIMENTACION SEAN MECANICOS, BIOLOGICOS O SOCIALES, DEBE SU COMPORTAMIENTO A TRES CARACTERISTICAS: ESTRUCTURA, DEMORAS Y AMPLIFICACION. LA ESTRUCTURA NOS MUESTRA COMO ESTAN RELACIONADAS LAS PARTES UNAS CON OTRAS. SIEMPRE HAY DEMORAS PARA DISPONER DE LA INFORMACION; PARA TOMAR DECISIONES FUNDADAS EN ESTA Y LA AMPLIFICACION SE MANIFIESTA CUANDO UNA ACCION ES MAS EMERGICA EN SU EFECTO DE LO QUE SE INFERIRIA EN UN PRINCIPIO A PARTIR DE LA ENTRADA DE INFORMES EN LAS DECISIONES, POR EJEMPLO, DEL GOBIERNO.

LO ANTERIOR SE HA ABORDADO CON UN LENGUAJE ORIENTADO PARA MODELAR LOS DINAMICOS COMO ES EL DYNAMO, EL QUE, APOYANDOSE EN DIAGRAMAS CAUSALES, FIGS 6 y 7 FACILMENTE PUEDE ANALIZARSE LA INTERACCION DE LAS PARTES COMPONENTES (SUBSISTEMAS) DE UN MODELO SISTEMICO DE UNA REGION (24). EN LAS FIGS 8 a la 15 SE ILUSTRAN LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA UNA CORRIDA BASE CON ALGUNAS DE LAS VARIABLES MAS RELEVANTES (73) OBTENIENDOSE RESULTADOS NUMERICOS DE SOLAMENTE 122, DE UN CONJUNTO DE UNAS 1400 ECUACIONES APROXIMADAMENTE. (DE NIVEL, TASA, AUXILIARES, PARAMETROS, INICIALES Y FUNCIONES-TABLA), PARA UN HORIZONTE DE 50 AÑOS Y CON COMPUTOS DE DIFERENCIAL DE TIEMPO  $\Delta t = 0.125$  de AÑO

FIG 6 DIAGRAMA CAUSAL GENERAL



BEGAN PLOTTING AT 10:45.0000, 18 SEPTEMBER 1982

VBP=P, PBI=B, CPBI=C, SBC=X, EMPLE=L, AUSFI=G, CE=Y, TOLL1=0

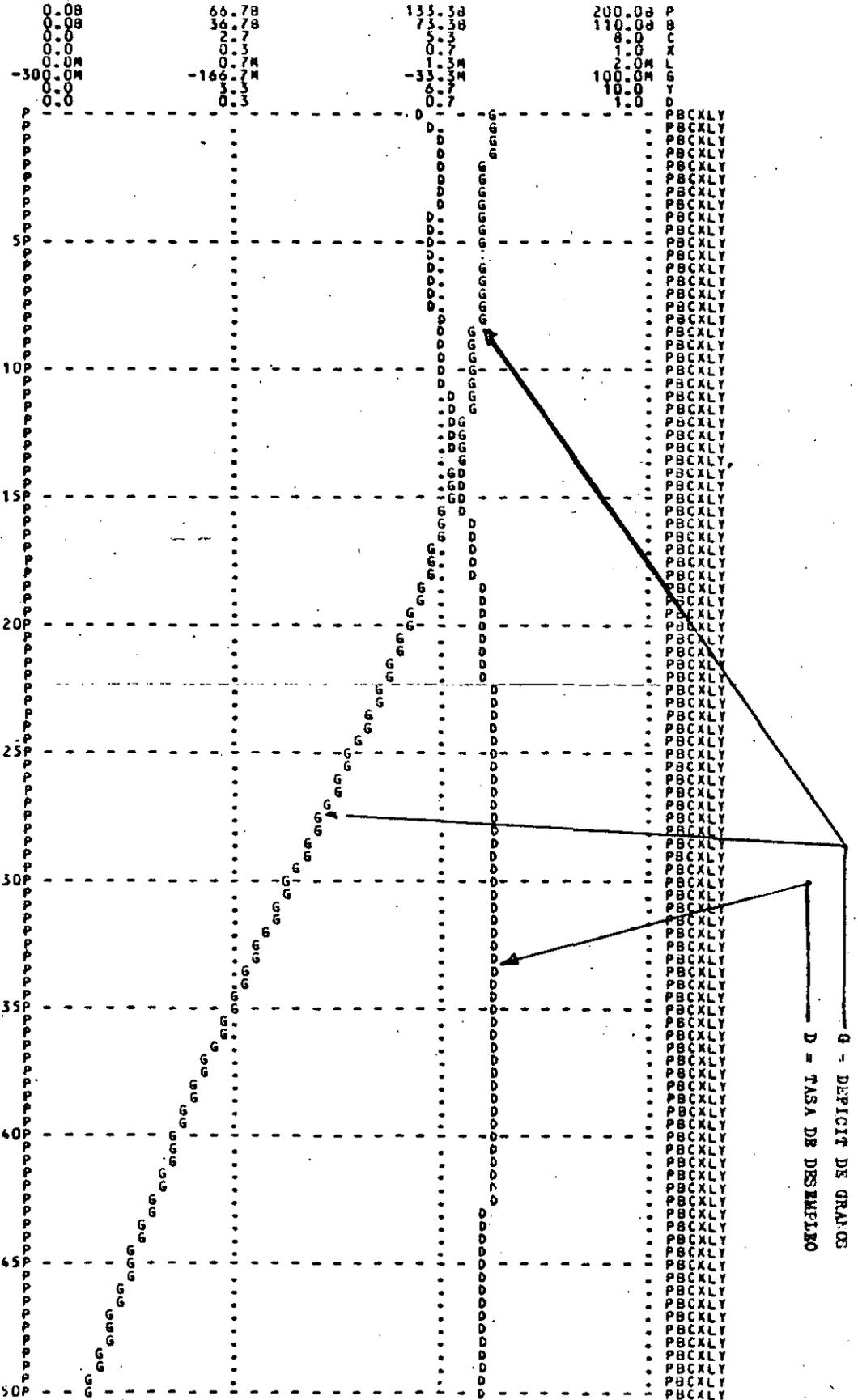


Fig. 8

BEGAN PLOTTING AT 10:45.2372, 18 SEPTEMBER 1982

SR11=S, IPCAY1=I, POBDD1=, POCPL1=F, MGNTD1=M, CHOSPD=H, APANTD=, PCAPD1=E

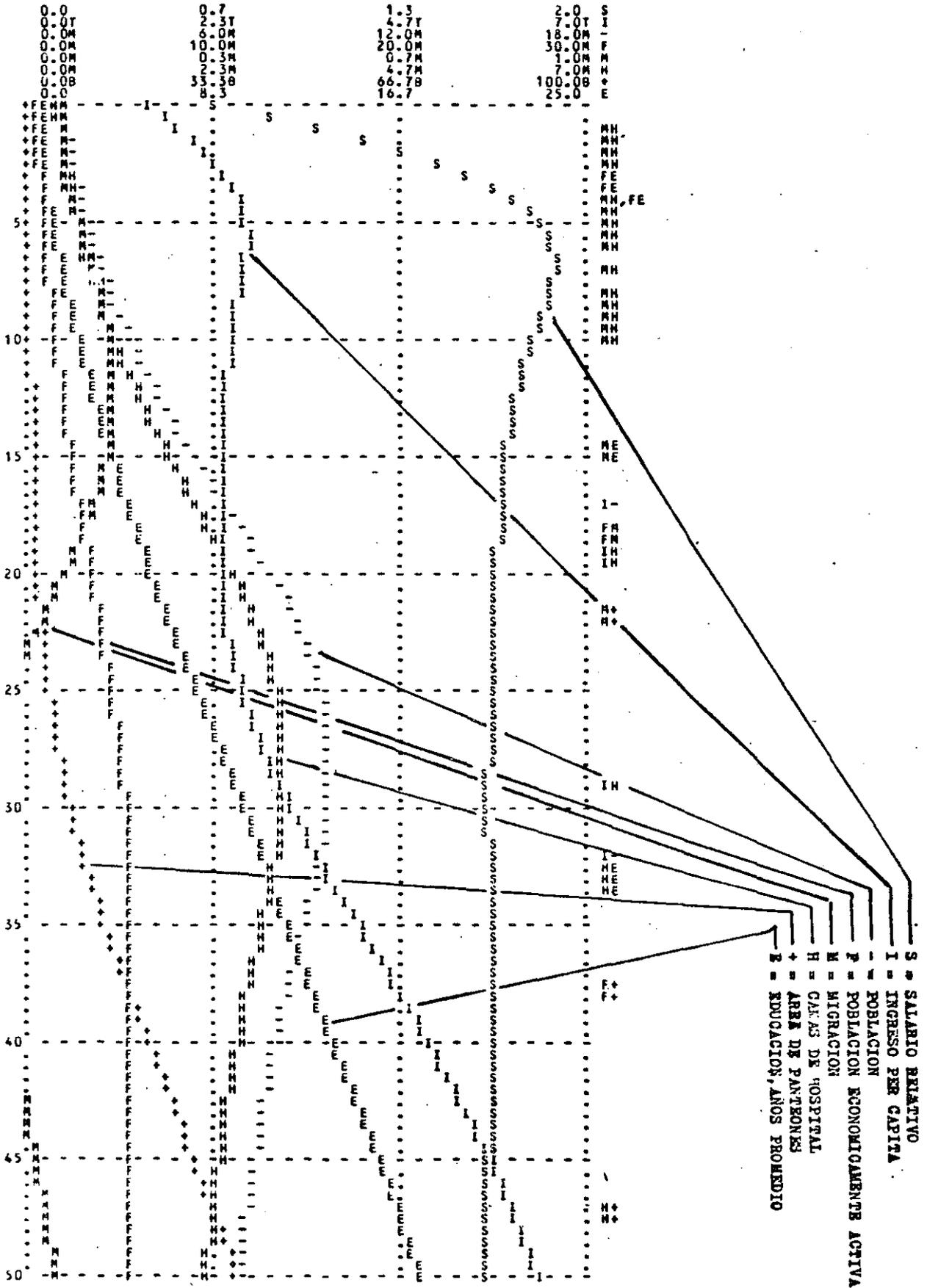


Fig. 9

13

BEGAN PLOTTING AT 10:45.2914, 18 SEPTEMBER 1982

TPRII1=G, TPRII2=D, TSEI1=J, TSOI1=I, TBDI1=J, TBN011=4, TPIL11=5, TPIC11=6

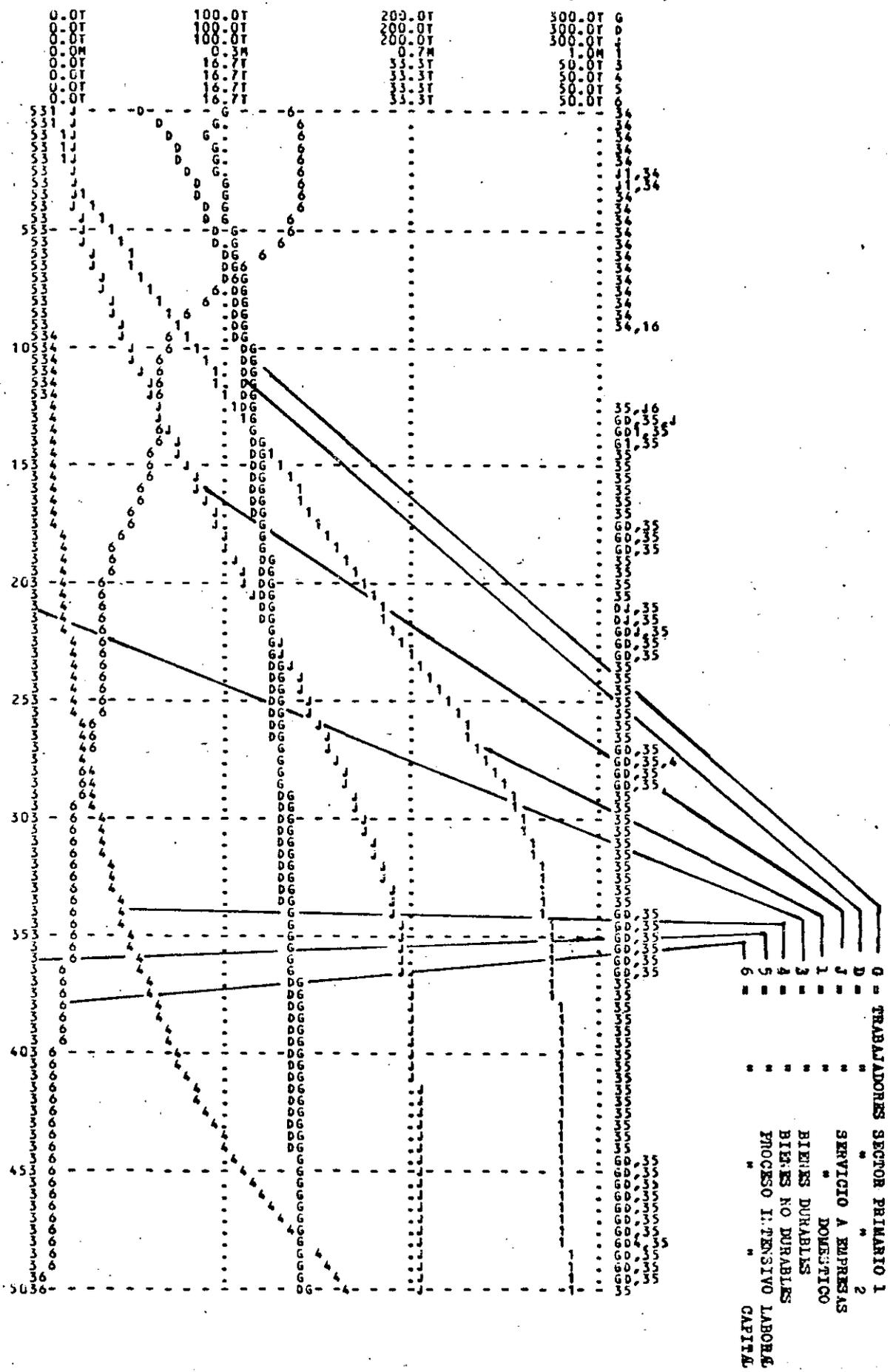


Fig 10

BEGAN PLOTTING AT 10:45.3622, 18 SEPTEMBER 1982

14

NNIVD1=P, NNIVD1=C, NNIVSK=B, NNIVSK=A, MORTD1=L, MORTSK=Y

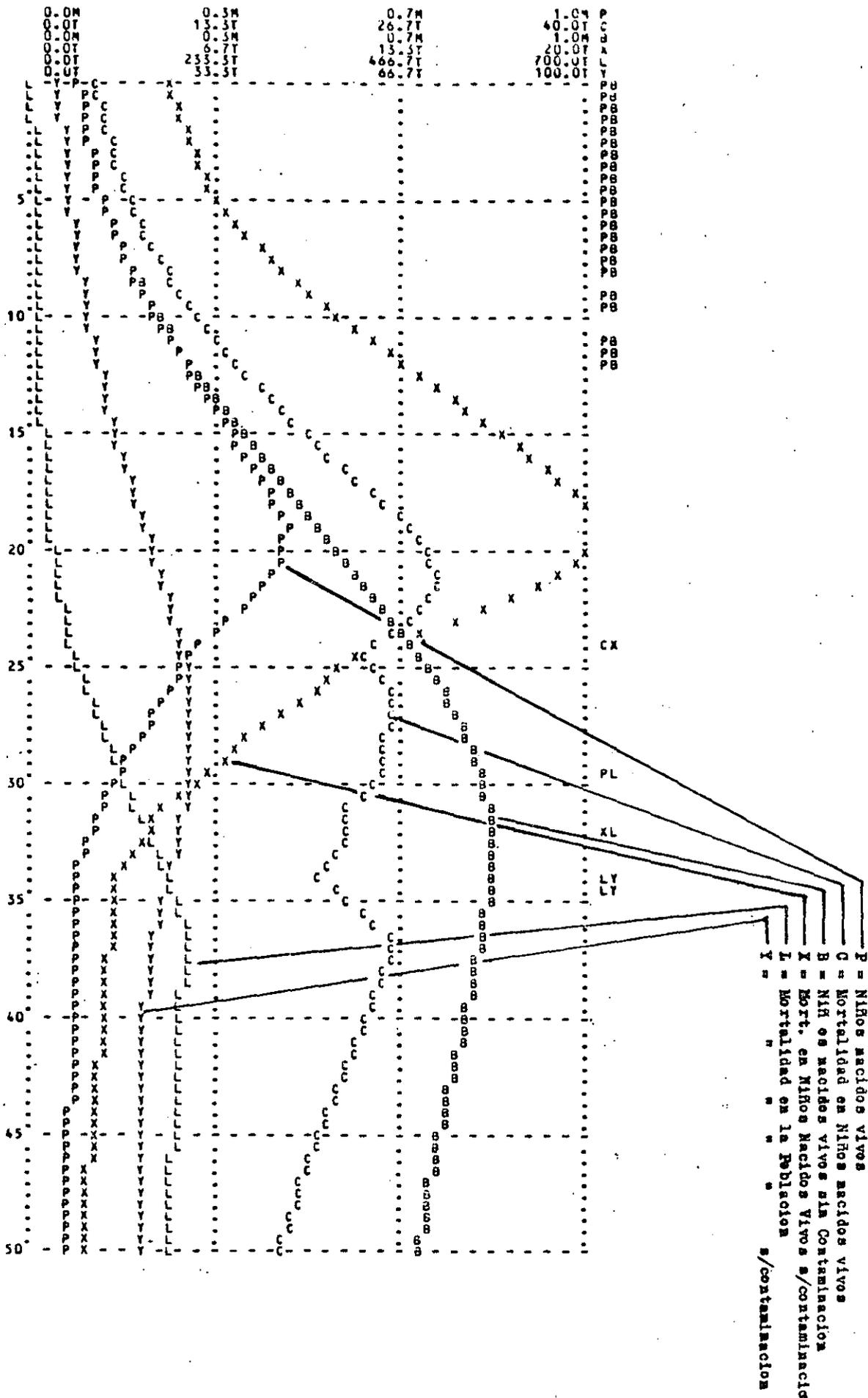
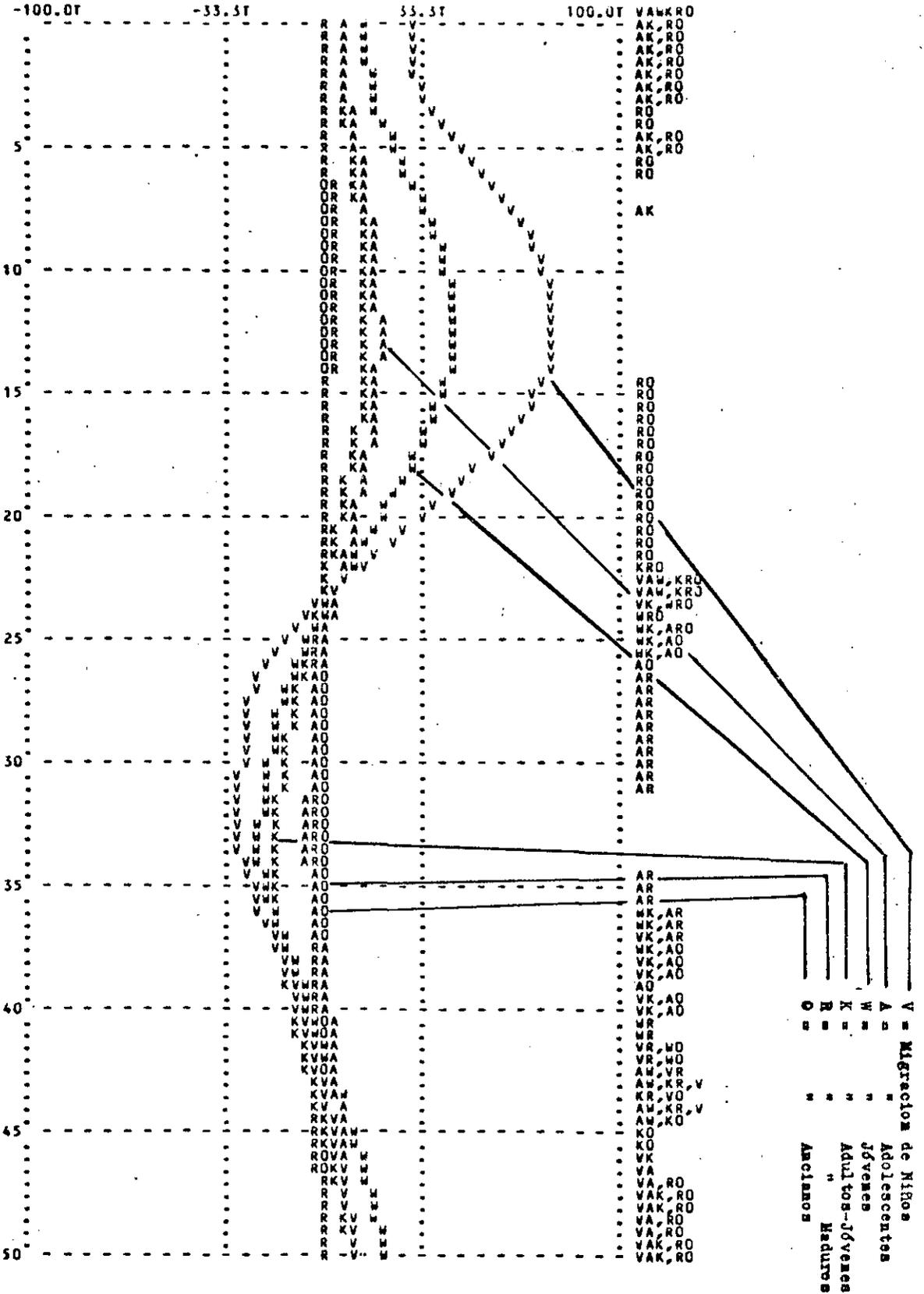


Fig. 11

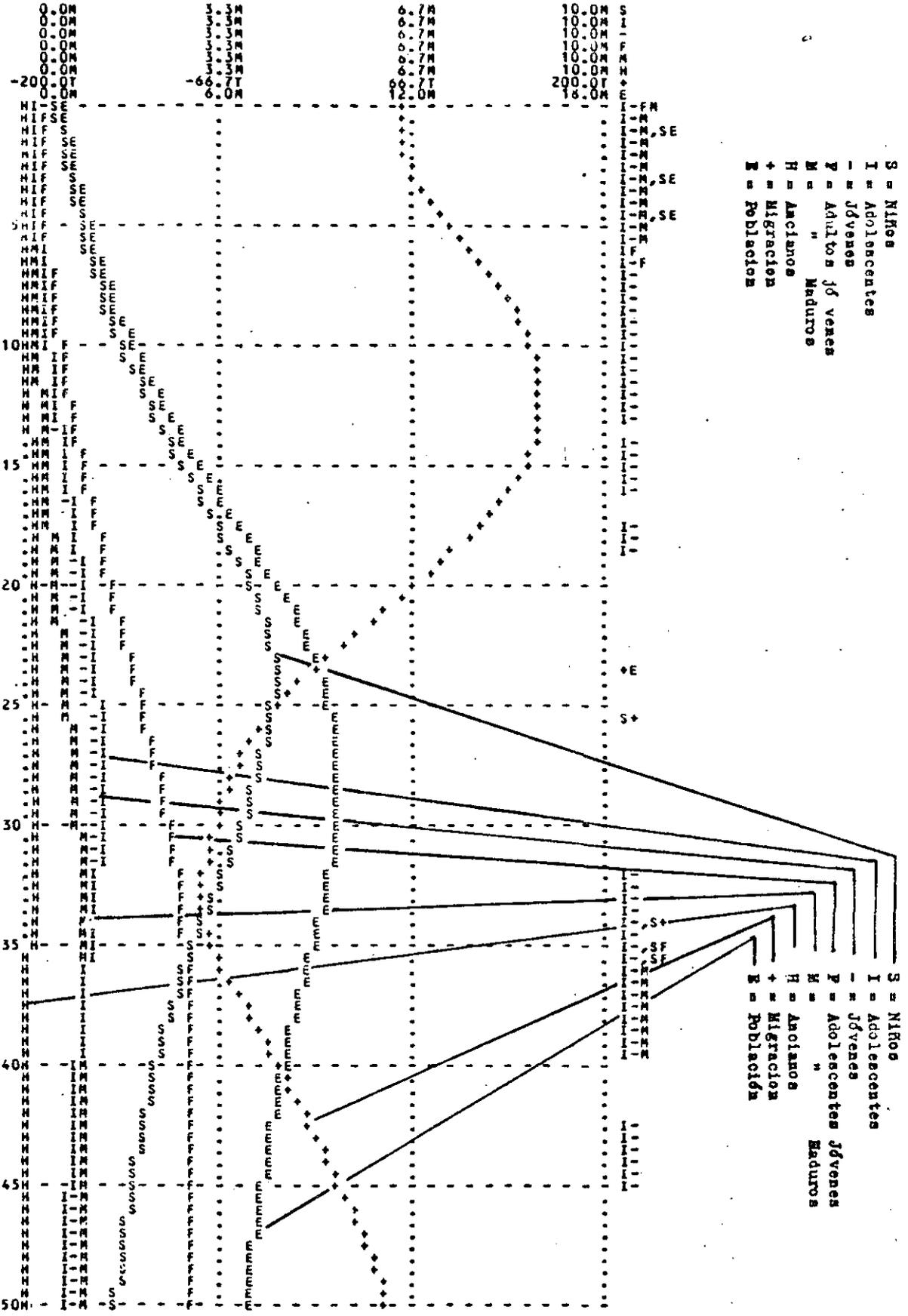
BEGAN PLOTTING AT 10:45.4158, 18 SEPTEMBER 1962

MGNDI=V, MGADDI=A, MGJDDI=W, MGAJDI=K, MGANDI=L, MGANDI=O



BEGAN PLOTTING AT 10:45.4669, 18 SEPTEMBER 1982

NID1=S, ADD1=I, JOVD1=-, ADJOD1=F, ADMAD1=M, ANCD1=N, MIG=+, P=E

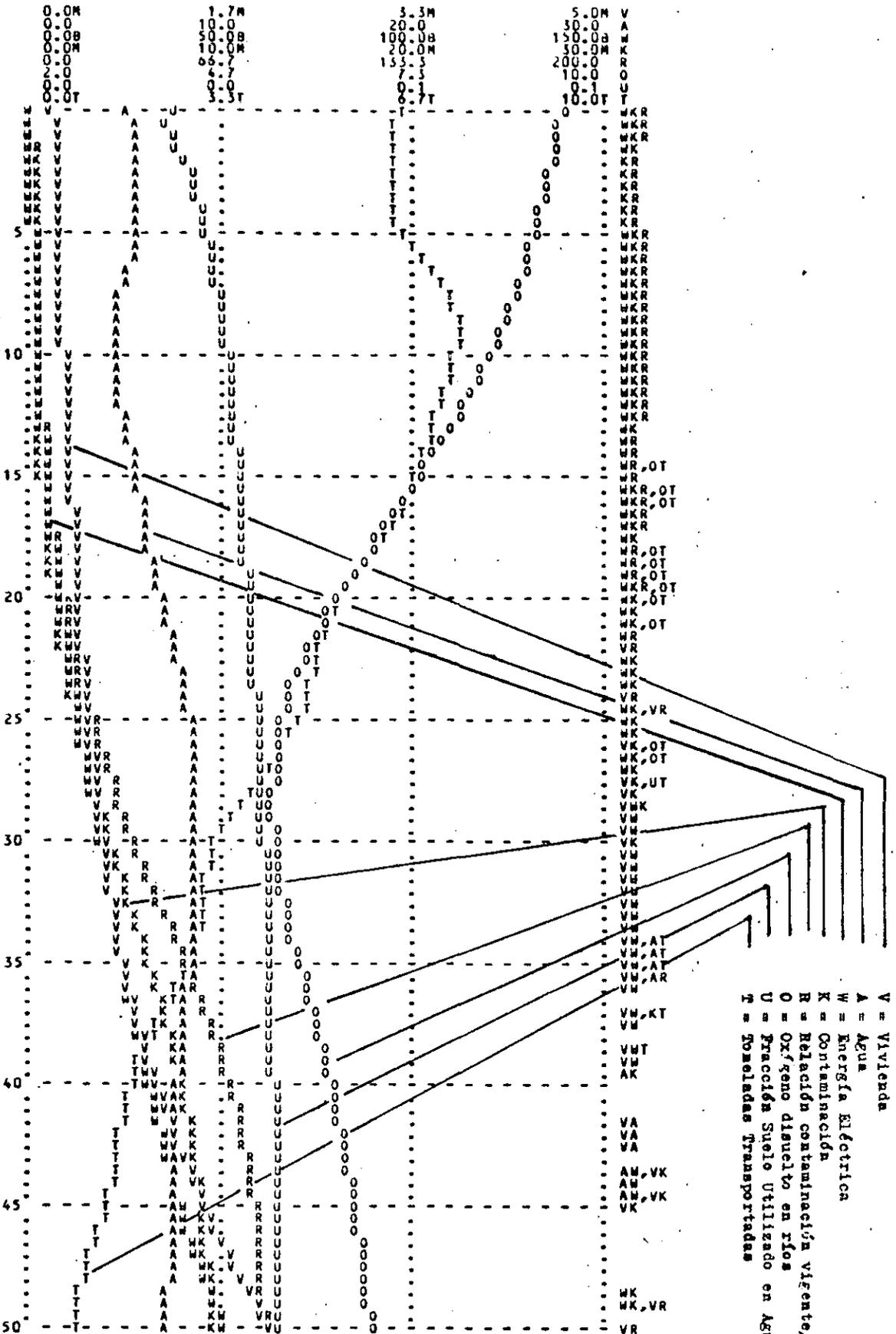


S = Niños  
 I = Adolescentes  
 P = Jóvenes  
 M = Adultos Jóvenes  
 H = Maduros  
 + = Migración  
 E = Población

S = Niños  
 I = Adolescentes  
 P = Jóvenes  
 M = Adultos Jóvenes  
 H = Maduros  
 + = Migración  
 E = Población

BEGAN PLOTTING AT 10:45.5228, 18 SEPTEMBER 1982

VIV=V, TC1A1=A, CTE1=W, CONTK1=K, RCOPK1=R, OD1A1=O, FSOA1=U, VAD907=T



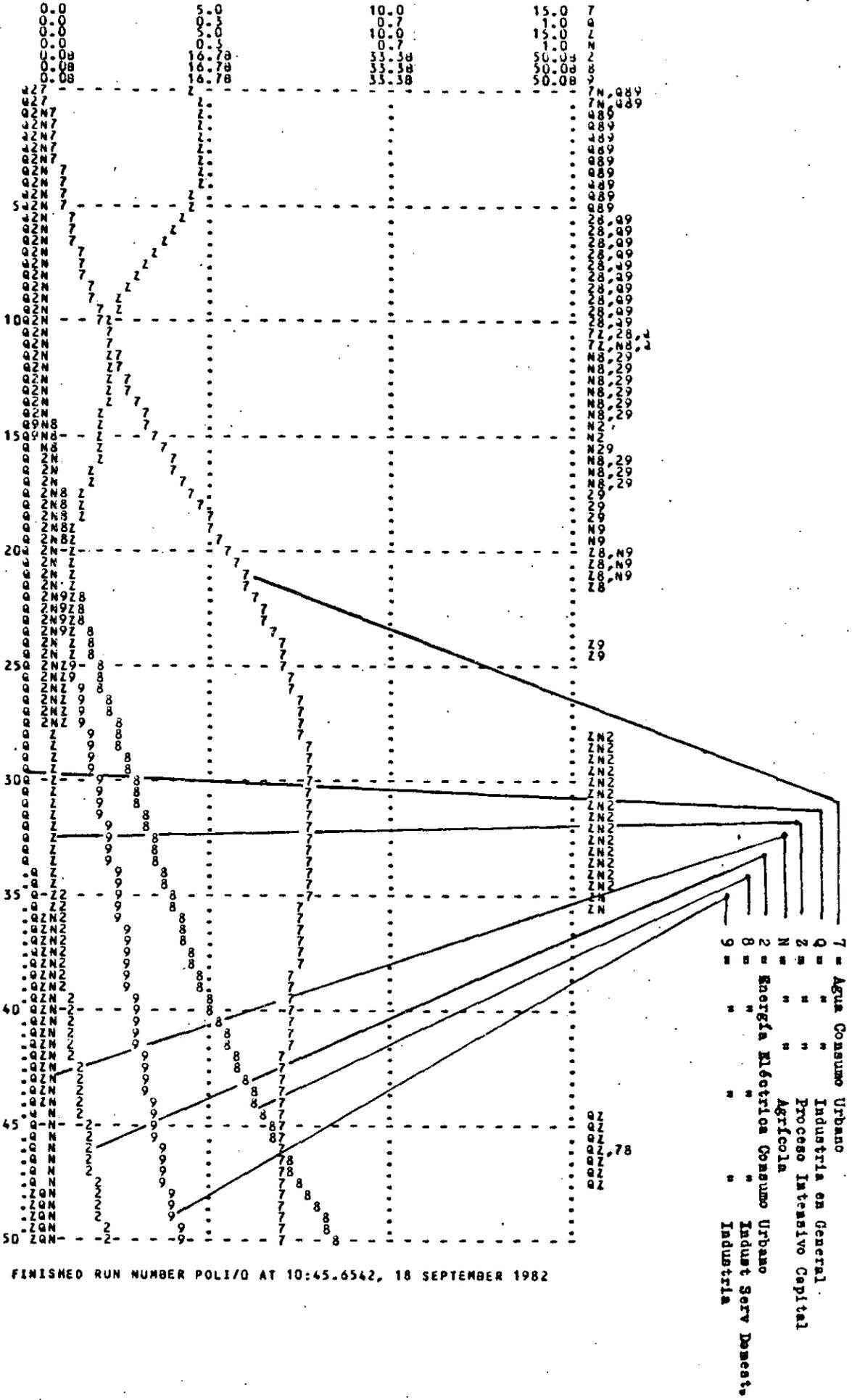
- V = Vivienda
- A = Agua
- W = Energía Eléctrica
- K = Contaminación
- R = Relación contaminación vigente/original
- O = Orfeno disuelto en ríos
- U = Fracción Sólido Utilizado en Agricultura
- T = Toneladas Transportadas

Fig. 5

BEGAN PLOTTING AT 10:45.6008, 18 SEPTEMBER 1982

18

CVU1A1=7, CIF1A1=0, CIP1A1=L, CPH1A1=N, CVU1=2, CSOW1=8, CINI=9



FINISHED RUN NUMBER POLI/O AT 10:45.6542, 18 SEPTEMBER 1982

Fig 15

EXPERIMENTACION

EL DISEÑO DE EXPERIMENTOS ESENCIALMENTE ES UN PLAN PARA CAPTAR LOS RESULTADOS EN DIFERENTES NIVELES DE CANTIDAD Y CALIDAD DE INFORMACION RESULTANTE Y POR LO MISMO, A DIFERENTES PRECIOS. EL USO EFECTIVO DE LOS RECURSOS ESTA PROFUNDAMENTE AFECTADO POR EL DISEÑO, YA QUE ÉSTE DETERMINA EN GRAN MEDIDA LA FORMA DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA REVISAR LOS RESULTADOS, ASÍ COMO LAS RESPUESTAS A LOS PLANTEAMIENTOS GENERADOS, SIN EXCESIVO USO DE TIEMPO Y DINERO, POR LO MISMO, LA CONFORMACION DE EXPERIMENTOS REQUIERE UN PARTICULAR ENFOQUE PARA MANIPULAR LA INFORMACION/ RESULTADOS.

EXISTEN ALGUNAS DIFERENCIAS QUE DEBEN TOMARSE EN CUENTA, ENTRE REALIZAR UN EXPERIMENTO DE SIMULACION POR COMPUTADORA Y UNO FÍSICO:

- FACILIDAD PARA REPRODUCIR UNA CONDICION EXPERIMENTAL DADA
- FACILIDAD PARA DETENERSE Y RESUMIR, Y REFLEXIONAR LO REALIZADO (SINERGISMO-HOMBRE/MAQUINA)
- CONTROL EN LA VARIACION. EN LOS EXPERIMENTOS FISICOS ESTO - CASTIGOS LA VARIABILIDAD SE ENCUENTRA MAS ALLA DEL CONTROL - DEL EXPERIMENTADOR Y POR COMPUTADORA ES CONSTRUIDA EN FORMA DELIBERADA.

EN LOS ESTUDIOS MAS COMPLEJOS DE SIMULACION, EL NUMERO DE POSIBLES COMBINACIONES DE FACTORES Y SUS VALORES DENTRO DEL RANGO QUE PUEDA ADOPTAR CADA FACTOR ES INFINITO ASÍ COMO LOS ANÁLISIS QUE SE DERIVAN SIENDO LOS MAS COMUNES:

- COMPARACION DE MEDIAS Y VARIANCIAS DE LAS ALTERNATIVAS
- DETERMINACION DE LA IMPORTANCIA O EFECTOS DE DIFERENTES VARIABLES Y SUS LIMITACIONES
- BUSQUEDA DEL VALOR OPTIMO PARA UN CONJUNTO DE VARIABLES

LOS ANÁLISIS DEL PRIMER TIPO USUALMENTE SON CONOCIDOS COMO EX-

PERIMENTOS UNIFACTORIALES Y SE ENCUENTRAN ESTRECHAMENTE LIGADOS CON LA MUESTRA, CONDICIONES INICIALES Y LA PRESENCIA O AUSENCIA DE CORRELACION. EN EL SEGUNDO TIPO DE ANÁLISIS PRIMORDIALMENTE SE APOYA EN EL ANÁLISIS DE VARIANCIAS Y TECNICAS DE REGRESION PARA ANALIZAR LOS RESULTADOS Y, EN EL ÚLTIMO, SE REQUIEREN TECNICAS DE BUSQUEDA O SECUENCIALES

EL NUMERO POSIBLE DE COMBINACIONES DE FACTORES Y SU RANGO DE VARIABILIDAD, SE CONOCE COMO "MODELO ESTRUCTURAL" EN EL CUAL NO DEBE DE PERDERSE DE VISTA LO SIGUIENTE:

- ¿LOS VALORES SON CUALITATIVOS O CUANTITATIVOS?
- ¿SON FIJOS (CONTROLADOS) O ALEATORIOS?
- ¿LOS EFECTOS LINEALES PUEDEN SER MEDIDOS?

DICHO MODELO SE EXPRESA COMO SIGUE:

$$N_e = (q_1)(q_2)(q_3) \dots (q_k)$$

EN DONDE :  $N_e$  = NUMERO DE CELDAS EN EL EXPERIMENTO

$k$  = NUMERO DE FACTORES EN EL EXPERIMENTO

$q_i$  = NUMERO DE NIVELES DEL I-AVO FACTOR,  $i=1, 2, \dots, k$

ESTE MODELO INDICA LO QUE PODRIA HACERSE, NO LO QUE PUEDE HACERSE.

SI QUOTE; EL MODELO SERIA SIMETRICO:  $N_e = q^k$

EL "MODELO FUNCIONAL" NOS INDICA LO QUE PUEDE HACERSE:

$$N = pq^k$$

EN DONDE  $k$  = NUMERO DE FACTORES (PARAMETROS O VARIABLES DE ENTRADA

$q$  = NUMERO DE NIVELES DE LOS FACTORES

$p$  = NUMERO DE REPETICIONES

$N$  = NUMERO DE CORRIDAS REQUERIDAS

CON RESTRICCIONES POR COSTO DE TIEMPO EN COMPUTADORA, EL REDUCIR EL NUMERO DE CORRIDAS SERIA CON EL CRITERIO DE CUALES FACTORES SON DOMINANTES Y EN BASE ELLO DISMINUIR EL NUMERO DE CORRIDAS; DE LA ECUACION ANTERIOR:

$$\frac{dN/dk}{dN/dq} = \frac{q \ln q}{k}$$

EN EL CASO DE QUE:  $\frac{dN}{dk} > \frac{dN}{dq}$

ENTONCES UNA UNIDAD DE CAMBIO EN EL NUMERO DE FACTORES ES DOMINANTE SOBRE UNA UNIDAD DE CAMBIO EN EL NUMERO DE NIVELES Y EN LA REDUCCION DEL NUMERO TOTAL DE CORRIDAS POR COMPUTADORA, INVERSAMENTE:

$$\frac{dK}{dk} < \frac{dN}{dq}$$

ENTONCES UN CAMBIO UNITARIO EN EL NUMERO DE NIVELES ES DOMINANTE SOBRE UN CAMBIO EN EL NUMERO DE FACTORES/

SI AHORA CONSIDERAMOS:

$$\frac{dN/dp}{dN/dq} = \frac{q}{kp}$$

SI:  $\frac{dN}{dp} > \frac{dN}{dq}$

ENTONCES UN CAMBIO EN EL NUMERO DE REPETICIONES ES DOMINANTE SOBRE UN CAMBIO UNITARIO EN EL NUMERO DE NIVELES Y EN LA REDUCCION DEL NUMERO TOTAL DE CORRIDAS, ASI MISMO:

$$\frac{dN/dp}{dN/dk} = \frac{1}{p \ln q}$$

Y SI:  $\frac{dN}{dp} > \frac{dN}{dk}$

A SI, UN CAMBIO UNITARIO EN EL NUMERO DE REPETICIONES ES DOMI-

NANTE SOBRE UN CAMBIO EN EL NUMERO DE FACTORES Y EN EL NUMERO TOTAL DE CORRIDAS POR COMPUTADORA Y POR ENDE, EN COSTOS

CON BASE EN LO ANTERIOR SE ESTABLECE LO SIGUIENTE:

1. SI  $kp > q$  Y  $k > q \ln q$ , ENTONCES LOS NIVELES SON DOMINANTES. V.GR: UN CAMBIO EN EL NUMERO DE NIVELES ARROJARA UNA REDUCCION EN COSTOS, POR UNIDAD QUE DECREZCA.
2. SI  $kp > q$  Y  $k < q \ln q$ , ENTONCES LOS FACTORES SON DOMINANTES.
3. SI  $p < q$  Y  $p \ln q < 1$ , ENTONCES LAS REPETICIONES SON DOMINANTES.

EXTIENDIENDO LO ANTERIOR, ¿COMO "OPERAR" CUANDO EL MODELO DINAMICO TIENE RETROALIMENTACION? EN EL CASO DE UN ANALISIS REGIONAL COMO EL EJEMPLO VISTO ANTERIORMENTE, DIFICILMENTE PUEDE IMAGINARSE UN OBJETIVO UNIDIMENSIONAL COMO PODRIA SER LA MAXIMIZACION DEL INGRESO O LA MINIMIZACION DE LA TASA DE DESEMPLEO, FUERA LO UNICO QUE NOS SATISFACIERA, Y NO CONSIDERARAMOS LA AMPLIA VARIEDAD DE POLITICAS O INTERESES A NIVEL NACIONAL, INTERESTATAL, SUBREGIONAL, O PRIVADO, ¿O BIEN EN UNA EMPRESA?

ES AQUI CUANDO SURGE EL VALOR DE LOS LENGUAJES ORIENTADOS Y SOBRE TODO LA VISUALIZACION DE LA FENOMENOLOGIA, LA INTERACCION Y FLUCTUACION DE LAS VARIABLES A TRAVES DEL TIEMPO Y, COMO EFECTO MULTIPLICADOR: EL "SINERGISMO" HOMBRE-MAQUINA.

COMO UN APOYO A LA CREATIVIDAD Y COMPRENSION DE LOS MODEROS DINAMICOS, SE TIENE LO SIGUIENTE:

1. CONVIERTA VARIABLES EN CONSTANTES.
2. ELIMINE O COMBINE VARIABLES
3. CAMBIE DE VALORES LOS PARAMETROS
4. ASUMA LINEALIDADES
5. INCLUYA HIPOTESIS MAS RIGIDAS Y RESTRICCIONES ADICIONALES
6. CONTRAIGA LAS FRONTERAS DEL SISTEMA

- 7. NEUTRALIZE O ELIMINE INTERACCIONES
- 8. DESMENUZE, ANALIZE, Y EXPLIQUESE LAS FALLAS QUE SE PRESENTEN COMO SEGURAMENTE HABRA OBSERVADO, LOS DIAGRAMAS CAUSALES SON - SUMAMENTE UTILES.

VALIDEZ

UN MODELO ES FORMULADO EN BASE A UN PROPOSITO Y SU VALIDEZ SOLO PUEDE SER EVALUADA EN TERMINOS DE ESTE...". UN MODELO ES BUENO CUANDO LOGRA LO QUE SE ESPERA DE EL. ESTO QUIERE DECIR QUE LA VALIDEZ COMO CONCEPTO ABSTRACTO SEPARADO DEL OBJETIVO, NO TIENE SIGNIFICACION UTIL. UN MODELO QUE PUEDE SER EXCELENTE PARA UN OBJETIVO PUEDE CONDUCIR A ERROR Y POR LO TANTO, SER ALGO PEOR QUE INUTIL PARA OTRO PROPOSITO..."(17). RICHARDSON Y PUGH (25) TRANSPORTAN LA VALIDEZ EN TRES FACETAS: ¿ADECUADO? ¿CONSISTENTE? ¿UTIL Y EFECTIVO? ENFOCADO TANTO A LA ESTRUCTURA COMO AL COMPORTAMIENTO DEL MODELO DINAMICO TAL COMO SE ESTABLECE EN LA TABLA SIGUIENTE:

ENFOCADO A: EN TERMINOS DE:	ESTRUCTURA	COMPORTAMIENTO
<p>PRUEBA DE ADECUABILIDAD CON EL PROPOSITO.-</p> <p>(Prueba enfocada hacia - le interno)</p>	<p>CONSISTENCIA DIMENSIONAL</p> <p>CONDICIONES EXTREMAS EN ECUACIONES</p> <p>FRONTERA ADECUADA:</p> <p>-VARIABLES IMPORTANTES</p> <p>-POLITICAS RELEVANTES.</p>	<p>PARAMETROS (IN)SENSITIVIDAD:</p> <p>-CARACT. DE COMPORTAMIENTO.</p> <p>-CONCLUSIONES DE POLITICAS</p> <p>ESTRUCTURA (IN)SENSITIVIDAD:</p> <p>-CARACT. COMPORTAMIENTO</p> <p>-CONCLUSIONES DE POLITICAS.</p>
<p>PRUEBA DE CONSISTENCIA CON LA</p>	<p>/---</p> <p>--</p>	<p>---</p> <p>--</p>

	ESTRUCTURA	COMPORTAMIENTO
<p>PRUEBA DE CONSISTENCIA CON LA REALIDAD</p> <p>(Prueba comparando el modelo con la información del mundo del sistema real.</p>	<p>ASPECTO DE VALIDEZ</p> <p>-TASAS Y NIVELES</p> <p>-RETROALIMENTACION</p> <p>-DEMORAS</p> <p>VALORES DE PARAMETROS:</p> <p>-AJUSTE CONCEPTUAL</p> <p>-AJUSTE NUMERICO</p>	<p>REPETICION DE NODOS DE REFERENCIA (Frontera adecuada para el comportamiento)</p> <p>-PROBLEMA DE COMPORTAMIENTO</p> <p>-POLITICAS PASADAS</p> <p>-COMPORTAMIENTO ANTICIPADO</p> <p>COMPORTAMIENTO SORPRESIVO</p> <p>SIMULACION DE CONDICIONES EXTREMAS</p> <p>PRUEBAS ESTADISTICAS</p> <p>-ANALISIS DE SERIES DE TIEMPO.</p> <p>-CORRELACION &amp; REGRESION</p>
<p>CONTRIBUCION A LA UTILIDAD &amp; EFECTIVIDAD HACIA UN MODELO ADECUADO Y CONSISTENTE.</p>	<p>CARACTERISTICAS APROPIADAS DE EXPOSICION:</p> <p>-TAMAÑO</p> <p>-SIMPLICIDAD/COMPLEJIDAD</p> <p>-AGREGACION/DETALLE</p>	<p>COMPORTAMIENTO NO INTUITIVO</p> <p>-EXCIBIDO POR EL MODELO</p> <p>-HECHO INTUITIVAMENTE POR ANALISIS BASADOS EN EL MODELO</p> <p>-APORTACION AL CONOCIMIENTO</p>

CONCLUSIONES

- EL PROCESO DE SIMULACION ES CICLICO E INTERACTIVO
- REQUIERE EL APORTE DE SU CREATIVIDAD
- DEFINA REALMENTE SUS OBJETIVOS COMO EXPERIMENTADOR, LOS DEL EXPERIMENTO Y LOS DEL SISTEMA
- LOS MODELOS DINAMICOS CON RETROALIMENTACION EXISTEN EN LA NATURALEZA, EN LA MENTE Y EN LAS ACCIONES DEL HOMBRE
- ENCARE LA VALIDEZ POR LA ADECUABILIDAD, CONSISTENCIA, UTILIDAD Y EFECTIVIDAD, FACETAS REQUERIDAS EN TODO MODELO DINAMICO

BIBLIOGRAFIA

- (1) CORPORATE MODELS, THE STATE OF THE ART  
CERSHESKEI G.W. Univ. of Washington, Seattle, Wash. 1970
- (2) SIMULATION IN BUSINESS AND ECONOMICS  
MEIR R.D. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J. 1969
- (3) MICROECONOMICS AND DECISION MODEL OF THE FIRM  
NATION & VERNON Harcourt Brace Jovanovich Inc. N.York '70
- (4) COMPUTER SIMULATION EXPERIMENTS WITH MODELS OF ECONOMIC SYSTEMS  
MILLER T.H. John Wiley & Sons, Inc. New York 1971
- (5) MODEL OF ECONOMICS SYSTEMS  
FACHER A.H. M.I.T. Press, Cambridge Mass., 1972
- (6) COMPUTER SIMULATION OF COMPETITIVE MARKET RESPONSE  
ALSTUTZ A.E. M.I.T. Press, Cambridge Mass., 1967
- (7) DYNAMICS OF COMPLEXITY PRODUCTION CYCLES  
NEALONS D.L. Wright-Allen Press, Cambridge Mass., 1970
- (8) INSTRUCTIONAL SIMULATION SYSTEMS IN HIGHER EDUCATION  
ARMENTING & TAYLOR (eds) Cambridge Monographs on Teaching Methods
- (9) REPRESENTATIVES' AND ROLL-CALLS: A COMPUTER SIMULATION OF VOTING IN THE EIGHTY-EIGHTH CONGRESS  
CHERRYHOLMER & SWAPIRO Bobbs-Merrill Co. Inc N.York 1969
- (10) COMPUTER SIMULATION OF HUMAN BEHAVIOR  
DUTTON & STARBUCH John Wiley & Sons Inc. New York 1971
- (11) SIMULATION IN SOCIAL SCIENCE  
GUSTZKOW, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs N.J. 1962
- (12) SYMPOSIUM ON SIMULATION MODELS: METHODOLOGY AND APPLICATIONS TO BEHAVIORAL SCIENCES  
FOGATT & BALDESTONK South-Western Publishing Co, Cincinnati, Ohio, 1963
- (13) MAN-MACHINE SIMULATION MODELS  
SIEGAL & WOLF Interscience Publisher, New York, 1969
- (14) SIMULATION IN INTERNATIONAL RELATIONS: DEVELOPMENTS FOR RESEARCH AND TEACHING  
GUSTZKOW Prentice-Hall, Inc Englewood Cliffs N.J. 1963
- (15) CRISIS IN FOREIGN POLICY: A SIMULATION ANALYSIS  
Bobbs-Merrill Company Inc. New York 1969 by HERMANN C.F.
- (16) TECHNIQUES OF TRANSPORTATION PLANNING: SYSTEMS ANALYSIS & SIMULATION MODELS  
KRESGE D.T. & ROBERTS Brookings Institution, Washington D.C. 1971
- (17) INDUSTRIAL DYNAMICS  
FORRESTER J.W. M.I.T. Press Cambridge Mass., 1961
- (18) THE ROLE OF MODELING IN I.E. DESIGN  
ELMAGHRABY S.E. The Journal of Industrial Engineering Vol XIX, No. 6 June 1968
- (19) ON THE ART OF MODELING  
MORRIS W.T. Management Science, Vol 13, No. 12 Aug. 1967
- (20) FUNDAMENTALS OF OPERATIONS RESEARCH  
ACKOFF & SASIENI, John Wiley & Sons, New York, 1968
- (21) EL ENFOQUE DE SISTEMAS  
GEREZ & GRIJALVA Editorial Limusa, México 1978
- (22) STATISTICAL METHODS IN ENGINEERING EXPERIEMENTS  
BARTER E.M., Charles E. Merrill Publishing Co. Columbus Ohio, 1966
- (23) AN EXPERIMENTAL APPLICATION OF THE DELPHI METHOD TO THE USE OF EXPERTS  
DALKEY & HELMER, Management Science, Vol 9, 1963, p. 458
- (24) SYSTEMS SIMULATION. THE ART AND SCIENCE  
SHANNON R.E. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs N.J. '75
- (25) INTRODUCTION TO SYSTEM DYNAMICS MODELING WITH DYRAMO  
RICHARDSON & FUGH III, M.I.T. Press, 1981



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

EL PROBLEMA DE ASIGNACION DE AGUA

DR. SERGIO FUENTES MAYA  
NOVIEMBRE, 1985

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	54
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 aquélla 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 periodos subsecuentes ocurra una sequía y no se pueda proporcionar agua o bien que las extracciones sean pequeñas y que los escurrimientos que se presenten sean grandes y no exista capacidad para almacenarlos, ó aún más, que se presenten daños materiales debido a inundaciones.

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 escurrimientos 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 al 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.

2

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:

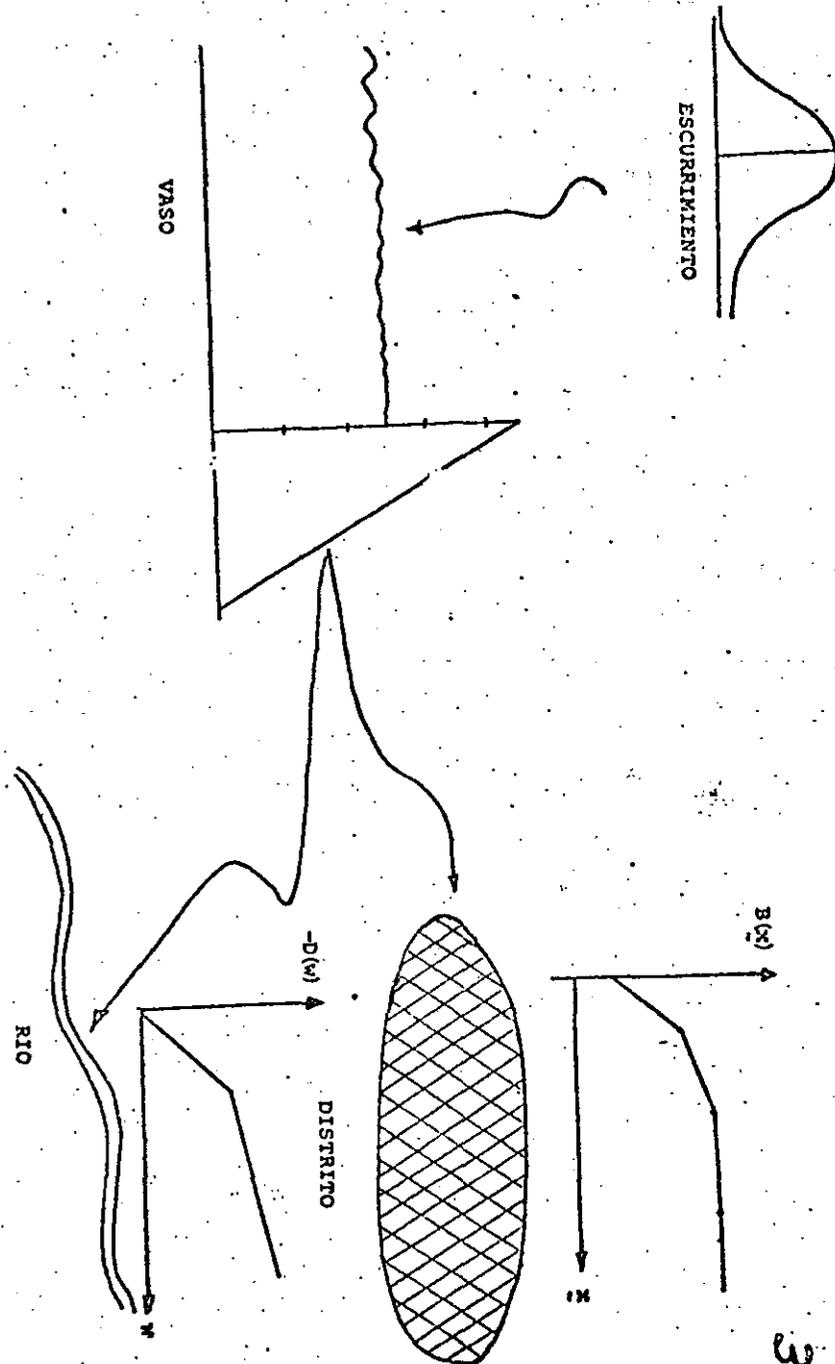


Fig. 1. El sistema de aprovechamientos hidráulicos.

Húmedo y seco, si existen dos períodos (6 más) en el año es entonces necesario tener dos funciones de distribución, una para cada período. También puede darse el caso en que los escurrimientos que se presentan en un período dependen del tipo de escurrimientos del período 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 período seco dado que el escurrimiento en el período 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 período 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  $X = \{x_n \mid n \in \mathbb{N}\}$  donde los valores que puede tomar la variable  $x_n$  es un conjunto finito  $E$ .

Definición. Un proceso estocástico  $X = \{x_n \mid n \in \mathbb{N}\}$  es una cadena de Markov si cumple que

$$P [x_{n+1}=j \mid x_0, \dots, x_n] = P [x_{n+1}=j \mid x_n]$$

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

$$P [x_{n+1}=j \mid x_n=i] = P_{ij} \quad i, j \in E$$

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.

5

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  $\Pi$  una hilera (cualquiera) de  $S$  se tiene que  $\Pi = \Pi P$ .

En las aplicaciones, la manera más usual de determinar  $\Pi$  y de aquí  $S$  es resolviendo el sistema  $\Pi = \Pi P$ . Un aspecto interesante del vector  $\Pi$  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  $\Pi_i$ . Es por ello que el vector  $\Pi$  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  $\lim P^m$  existe. Asimismo, la solución del sistema

$$\pi = \pi P$$

donde  $\pi = [\pi_1, \pi_2, \pi_3]$  es tal que  $\pi = [6/23, 7/23, 10/23]$ .

#### 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 periodos),

$$P = \begin{bmatrix} 0 & A_1 \\ A_2 & 0 \end{bmatrix}$$

donde  $A_1$  y  $A_2$  son matrices de transición. En este tipo de matrices se cumple que  $P^2$  (y en general que  $P^\delta$  donde  $\delta$  es el número de periodos de la matriz de transición) tiene una forma diagonal en bloques:

6

$$P^2 = \begin{bmatrix} P_1 & 0 \\ 0 & P_2 \end{bmatrix}$$

donde  $P_1 = A_1 A_2$  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  $\lim (P^2)^m$  es

$$\lim (P^2)^m = \begin{bmatrix} \lim P_1^m & 0 \\ 0 & \lim P_2^m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_1 & 0 \\ 0 & S_2 \end{bmatrix}$$

y las matrices  $S_1 = \lim P_1^m$  y  $S_2 = \lim P_2^m$  tienen cada una de ellas todas sus hileras iguales. Si denotamos por  $\pi^1$  y  $\pi^2$  los vectores hilera de  $S_1$  y  $S_2$ , respectivamente, se cumple que  $\pi^1 = \pi^1 P_1$  y  $\pi^2 = \pi^2 P_2$  y ésta es, usualmente, la manera de determinar las matrices  $S_1$  y  $S_2$ , respectivamente. Conviene señalar que

$$\lim_m P^{2m+1} = \lim_m P^{2m} P = \begin{bmatrix} 0 & S_1 A_1 \\ S_2 A_2 & 0 \end{bmatrix}$$

y de esta manera tenemos contemplados los dos puntos límites de la sucesión  $\{P^m\}$ . Note que si  $P$  tiene  $\delta$  periodos la sucesión  $\{P^m\}$  tiene  $\delta$  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 0.25, 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

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.6 & 0 & .4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & .6 & 0 & .4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & .6 & 0 & .4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & .5 & 0 & 0 & .25 & .25 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & .5 & 0 & 0 & .25 & .25 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & .5 & 0 & 0 & .25 & .25 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & .5 & 0 & 0 & .5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

y la matriz  $P^4$  es como sigue:

$$P^4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.744 & 0.1152 & 0.032 & 0.0768 & 0 & 0.016 & 0.016 & 0 & 0 \\ 0.5328 & 0.048 & 0.2304 & 0.052 & 0.0968 & 0 & 0.01 & 0.02 & 0.01 \\ 0.288 & 0.1728 & 0.199 & 0.1152 & 0.0645 & 0.0615 & 0.0365 & 0.00625 & 0.05625 \\ 0.18 & 0.2265 & 0.080625 & 0.197875 & 0.015625 & 0.048125 & 0.06375 & 0.03125 & 0.15625 \\ 0.108 & 0.0975 & 0.1815 & 0.12125 & 0.12925 & 0.015625 & 0.028125 & 0.05625 & 0.2625 \\ 0.09 & 0 & 0.22625 & 0 & 0.12125 & 0.0625 & 0.015625 & 0.015625 & 0.46875 \\ 0 & 0.09 & 0.08125 & 0.09125 & 0 & 0.05625 & 0.05625 & 0.015625 & 0.609375 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Por lo tanto la probabilidad que el juego termine en cuatro jugadas dado que se tiene un capital inicial  $x_0 = 4$  es  $P_{40}^4 + P_{48}^4 = 0.33625$ . 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  $s$  y  $S$  (por lo que comúnmente se dice que la política es  $(s,S)$ ): si el nivel de inventario al principio del trimestre es mayor que  $s$  no se ordena nada; si el nivel es menor o igual a  $s$  se ordenan (y entregan inmediatamente) tantos artículos como sean necesarios para que el nivel de inventario sea  $S$  donde  $s < S$ . Suponga por simplicidad que  $s=3$  y  $K=S=7$ . También suponga que la demanda de artículos en inventario en cada trimestre es dada 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.

$$x_{n+1} = \begin{cases} x_n - w & \text{si } s < x_n \text{ y } w \leq x_n \\ S - w & \text{si } x_n \leq s \text{ y } w \leq S \\ 0 & \text{otros} \end{cases}$$

Considerando que los posibles estados del inventario son  $0, 1, \dots, 7$  se desea determinar las posibilidades  $p(x_{n+1}=j | x_n=i)$  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  $\Pi$  tal que  $\Pi = \Pi P$  y verifique que es igual a cada una de las hileras de la matriz  $Q = \lim P^n$ .

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  $P^{25}$ .

9

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 el 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  $z$  el costo debido a la pérdida de tal demanda es  $4z$ .

Determine los beneficios netos esperados durante un trimestre (cualesquiera) dado que el nivel de inventarios es  $x_n$ . Equivalentemente se desea determinar

$$E[B(x_{n+1} | x_n = i)] = \sum_{j=0}^7 P_{ij} B_{ij}$$

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 período  $n$  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:

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	0.090220591 0.059558827	0.180882346 0.053602945	0.148970583	0.219117654
0.062352939 0.185294124	0.090220593 0.059558825	0.180882348 0.053602944	0.148970584	0.219117652
0.062352942 0.185294117	0.090220589 0.059558823	0.180882350 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 0.185294118	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

$$P = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & -7 & -13 & -19 & -25 & -31 \\ 0 & 0 & 2 & -4 & -10 & -16 & -22 & -28 \\ 0 & 0 & 5 & -1 & -7 & -13 & -18 & -25 \\ 0 & 0 & 8 & 2 & -4 & -10 & -15 & -22 \\ 22 & 18 & 12 & 6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 30 & 24 & 18 & 12 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 30 & 24 & 18 & 12 & 6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 30 & 24 & 18 & 12 & 6 & 0 \end{bmatrix}$$

De donde los beneficios netos esperados en el trimestre son dados por el vector  $q$  cuyos valores son

$$q^t = [-16.0, -13.0, -9.9, -6.9, 14, 15, 15, 15]$$

Para finalizar este ejemplo conviene señalar que  $q$  sólo representa beneficios netos esperados del primer trimestre, asociados con cada nivel inicial de inventario. Asimismo, puesto que cada vector hilera de  $P$  especifica las probabilidades de tener un nivel de inventario final  $0, 1, \dots, 7$ , podemos observar que cada componente del vector  $Pq$  representa el valor esperado de los beneficios netos durante el segundo trimestre. De manera semejante cada componente del vector  $P^2q$  representa el valor esperado de los beneficios netos durante el tercer trimestre y en general cada componente de  $P^nq$  representa el valor esperado de los beneficios netos durante el trimestre  $n$ . Por lo tanto el valor esperado total actual asociado con cada estado es dado por

10

$$VTP = q + \beta Pq + \beta^2 P^2q + \beta^3 P^3q + \dots$$

$$= \sum_{i=1}^{\infty} (\beta P)^i q$$

donde  $\beta$  es un factor de descuento que nos permite actualizar (esto es, poner en valor presente) cada peso al final del primer semestre y  $\beta^n$  actualiza cada peso al final del trimestre  $n$ . Conviene señalar aquí que la serie de matrices

$$R = \sum_{i=0}^{\infty} (\beta P)^i$$

converge y es además igual a la inversa de la matriz  $[I - \beta P]$ . Por lo que resulta más conveniente calcular  $[I - \beta P]$  para el problema y después  $[I - \beta P]^{-1}$  para obtener

$$VTP = [I - \beta P]^{-1} q$$

Si tomamos  $\beta = 0.9365$  que corresponde a un interés anual de 30 por ciento se concluye que

$$VTP^t = [146.51, 42.51, 32.61, 35.61, 43.83, 48.01, 52.56, 57.51]$$

cuyos valores pueden verificarse usando la matriz  $[I - \beta P]^{-1}$  que se describe en la hoja siguiente.

$$[I - B] =$$

1	0	-0.09365	-0.09365	-0.28095
-0.28095	-0.09365	-0.09365		
0	1	-0.09365	-0.09365	-0.28095
-0.28095	-0.09365	-0.09365		
0	0	0.90635	-0.09365	-0.28095
-0.28095	-0.09365	-0.09365		
0	0	-0.09365	0.90635	-0.28095
-0.28095	-0.09365	-0.09365		
-0.1873	-0.28095	-0.28095	-0.09365	0.90635
0	0	0		
-0.09365	-0.09365	-0.28095	-0.28095	-0.09365
0.90635	0	0		
0	-0.09365	-0.09365	-0.28095	-0.28095
-0.09365	0.90635	0		
0	0	-0.09365	-0.09365	-0.28095
-0.28095	-0.09365	0.90635		

$$[I - BP]^{-1} =$$

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		
1.023031083	1.491095466	2.742371927	2.121209118	4.156940671
2.619110398	0.841968761	0.762302671		
0.874702423	1.307277029	2.755366664	2.322830177	3.143845904
3.693116906	0.834521392	0.753668464		
0.807342403	-1.356787574	2.509350849	2.328566982	3.309861749
2.640790950	1.917534200	0.737952681		
0.877884495	1.2701007	2.615540323	2.169909100	3.283672275
2.806755773	0.904434563	1.819734266		

4. Considere un sistema de aprovechamiento hidráulico consistente de un vaso y un distrito de riego (fig. 1). Suponga que los escurrimientos que llegan al vaso en cada período son estocásticamente independientes y tienen función de densidad.

Q	0	1/2	3/4	1
P(Q)	1/6	2/6	2/6	1/6

Considere que la capacidad del vaso es igual a uno y que la siguiente política de asignación de agua ha sido fijada.

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

donde S es el nivel de almacenamiento al principio del período y w el agua prometida para riego.

Especifique las probabilidades  $P(S_{n+1} = y | S_n = x)$  donde  $x, y = 0, 1/4, 1/2, 3/4$  y 1 que debido a la independencia de los escurrimientos de un período a otro es equivalente a determinar la correspondiente matriz de transición-P.

Suponga que la estructura de costos del problema anterior es como sigue: Los beneficios obtenidos de promover (y no necesariamente entregar) un volumen x de agua al distrito son:

x	0	1/4	1/2	3/4	1
B(x)	0	2	7/2	9/2	5

12

Asimismo, si  $x$  es el volumen de agua prometido y  $x$  el entregado, la penalización debida al déficit de agua  $x - x > 0$  es

$x-x$	0	1/4	1/2	3/4	1
T(x-x)	0	-4	-7	-9	-10

y la debida a derramar un volumen  $z$  es:

$z$	0	1/4	1/2	3/4	1
D(z)	0	-3/2	-4	-4	-4

Determine para cada nivel de almacenamiento el valor esperado de los beneficios netos de un periodo y denótelo por  $q$  donde  $q$  es un vector columna de cinco componentes. Asimismo, calcule la expresión

$$VTP = [I - \beta P]^{-1} q$$

donde  $\beta = 0.83$ . Dicha expresión establece el beneficio esperado total actual asociado con cada nivel de almacenamiento.

Finalmente, determine las probabilidades estacionarias asociadas con esta política.

La matriz de transición asociada a la política es

$$P = \begin{bmatrix} 1/6 & 2/6 & 2/6 & 1/6 & 0 \\ 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \\ 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \\ 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \\ 0 & 1/6 & 0 & 2/6 & 3/6 \end{bmatrix}$$

De manera semejante la matriz de beneficios netos es:

$$B = \begin{bmatrix} -2 & 2 & 2 & 2 & 0 \\ 2 & 0 & 2 & 2 & 2 \\ 7/2 & 0 & 7/2 & 7/2 & 7/2 \\ 9/2 & 0 & 9/2 & 9/2 & 9/2 \\ 0 & 9/2 & 0 & 9/2 & 4 \end{bmatrix}$$

En donde el elemento  $B_{11} = -2$  se obtiene como sigue: El beneficio por prometer 1/4 de agua es 2. Sin embargo, en este caso no es posible entregar dicho volumen y la penalización es -4.

Por lo tanto  $B_{11} = 2 - 4 = -2$ . Asimismo, el vector de beneficios inmediatos  $q = [q_i]$  donde  $q_i = \sum_{j=1}^n P_{ij} B_{ij}$  y el vector de beneficios totales es

$$v = \sum_{i=0}^{\infty} (\beta P)^i q = [I - \beta P]^{-1} q \text{ son}$$

$$q = [1.33, 2.00, 3.50, 4.5, 4.25]$$

$$v = [I - \beta P]^{-1} q = [18.01, 19.42, 20.91, 22.0, 22.22]$$

$$\text{El vector } \pi = \pi P \text{ es } \pi = (1/138) [18, 11, 36, 43, 30]$$

#### 4. Procesos de Markov con políticas de operación múltiple

Un proceso de Markov discreto simple consiste de un número  $n$  de estados cuyo proceso estocástico está caracterizado por una matriz de transición  $P$  de orden  $n \times n$ . Un proceso de Markov discreto se dice que tiene políticas de operación múltiple si para cada estado existe un número finito de decisiones posibles. Específicamente, la probabilidad de transición del estado  $i$  a  $j$  depende de la política de operación  $k$  y se denota  $P_{ij}^k$ . Asimismo, si el proceso tiene asociado un mecanismo de costo o beneficios, se asocia con cada transición de un estado  $i$  a  $j$  y cada política  $k$ , un correspondiente beneficio o ganancia que se denota por  $B_{ij}^k$ . Las matrices de transición  $[P_{ij}^k]$  y beneficios  $[B_{ij}^k]$  caracterizan el proceso markoviano con decisiones múltiples.

Finalmente, se dice que el proceso de Markov es con descuento si una unidad monetaria en el presente es más deseable que la misma unidad monetaria en el futuro. El factor de descuento que permite actualizar el dinero se denota por  $\beta$  donde  $0 < \beta < 1$ .

En el proceso de Markov denote por  $v_i(m)$  el valor presente de las ganancias esperadas en las siguientes  $m$  transiciones si el estado inicial del sistema es  $i$  y se sigue una política de operación óptima. La manera de definir  $v_i(m)$ , es por medio de la forma recursiva siguiente :

13

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

$$= \max_k \{ q_i^k + \beta \sum_{j=1}^n P_{ij}^k v_j(m-1) \}$$

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

$$v(m) = \left[ \sum_{i=0}^{m-1} (\beta P^{k^*})^i q^{k^*} \right]$$

De donde si  $v = \lim_m v(m)$  se concluye que

$$v = \sum_{i=0}^{\infty} (\beta P^{k^*})^i q^{k^*} = [I - \beta P^{k^*}]^{-1} q^{k^*}$$

pues  $[I - \beta P^k]^{-1} = \sum_{i=0}^{\infty} (\beta P^k)^i$ . De esta manera tenemos resuelto el problema de Markov con políticas múltiples bajo la 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 política 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). Fije una política de operación  $k^*$ . Use la matriz de transición  $P^{k^*}$  y la de ganancias  $R^{k^*}$  para calcular los valores  $q_i^{k^*}$ ,  $i=1, \dots, n$ . Específicamente 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

14

$$v = [I - \beta P^{k^*}]^{-1} q^{k^*}$$

2. (Mejoramiento de políticas). Para cada estado  $i$  determine la política  $k'$  que maximiza la expresión

$$q_i^k + \beta \sum_{j=1}^n p_{ij}^k v_j$$

La nueva política  $k'$  (si difiere de la que se tenía o 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).

$$z = \sum_{i=1}^N f_i(x_i, x_{i+1}, u_i)$$

sujeeto a

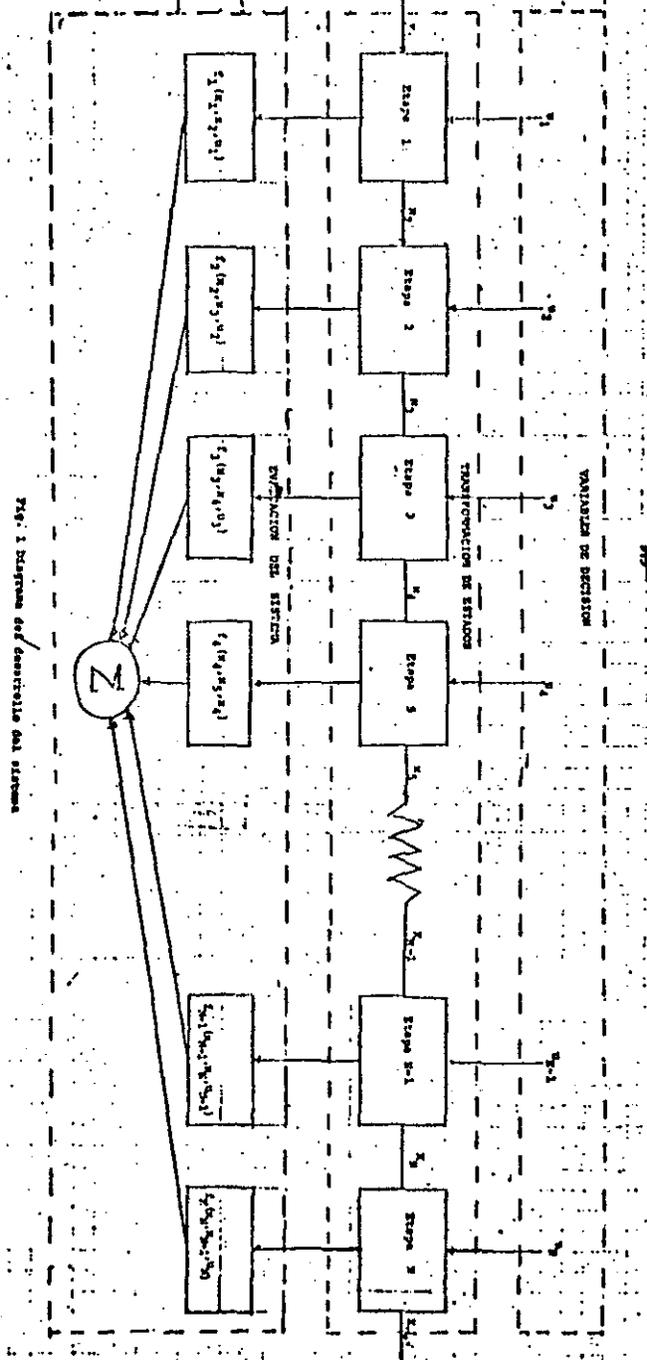
$$x_{i+1} = g_i(x_i, u_i) \quad i=1, \dots, N$$

$$x_i \in S_i \quad ; \quad u_i \in C_i \quad i=1, \dots, N$$

donde las funciones  $g_i$  y  $f_i$   $i=1, \dots, N$  son conocidas.

Una descripción esquemática del desarrollo del sistema dinámico de parámetro discreto con su correspondiente proceso de evaluación se muestra en la figura 1. Asimismo, una explicación de la

15



manera en que se toman las decisiones, se transforman los estados y evalúan las decisiones, se tiene a continuación:

Etapa 1. El decisor observa el estado inicial  $x_1$  y basado en esta información efectúa la decisión  $u_1$  (que debería escribirse  $u_1(x_1)$ ). Como resultado de esto se obtiene el estado  $x_2$  de acuerdo a la transformación  $x_2 = g_1(x_1, u_1)$  y el correspondiente valor asociado a tales estados y decisiones, denotado  $f_1(x_1, x_2, u_1)$ .

Etapa k. El decisor observa el estado  $x_k$  y basado en esta información toma la decisión  $u_k$ . Entonces, la transformación  $g_k(x_k, u_k)$  proporciona el nuevo estado  $x_{k+1}$  y se contabiliza el correspondiente costo o beneficio representado por el escalar

$$f_k(x_k, x_{k+1}, u_k).$$

Etapa N. El decisor observa el estado  $x_{N-1}$  y efectúa la decisión  $u_{N-1}$ . Se obtiene el nuevo estado  $x_N$  y el correspondiente costo o beneficio  $f_N(x_{N-1}, x_N, u_{N-1})$ .

Lo que se desea en este proceso de decisiones secuenciales es determinar la política  $F^* = (u_1^*, u_2^*, \dots, u_N^*)$  que minimice la suma total de los costos incurridos en cada etapa, esto es

$$\sum_{i=1}^N f_i(x_i, x_{i+1}, u_i)$$

16

## 5.2 Las ecuaciones recursivas

Una manera de resolver el problema de N etapas de decisión es proceder a descomponerlo en N problemas cuya solución es equivalente al problema original. A grandes rasgos lo que se pretende es resolver primero la última etapa y usar dichos resultados para resolver la penúltima etapa y así sucesivamente. Específicamente el procedimiento que se realiza es como sigue:

En la última etapa la decisión  $u_N$  a realizar depende únicamente del vector de estados  $x_N$  y para cada valor de  $x_N$  lo que se desea es determinar  $u_N^*$  tal que resuelva el problema

$$F_N(x_N) = \min_{\{u_N \in C_N\}} \{f_N(x_N, x_{N+1}, u_N)\}$$

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 realicen dependen únicamente del vector de estados  $x_{N-1}$ . Dichas decisiones serán óptimas si resuelven el problema

$$F_{N-1}(x_{N-1}) = \min_{\{u_i\}} \{f_{N-1}(x_{N-1}, x_N, u_{N-1}) + f_N(x_N, x_{N+1}, u_N)\}$$

sujeto a:

$$x_{i+1} = g_i(x_i, u_i) \quad ; \quad x_i \in S_i \quad , \quad u_i \in C_i \quad i=N-1, N$$

Sin embargo, la función objetivo es equivalente a

$$F_{N-1}(x_{N-1}) = \min_{u_{N-1}} \{f_{N-1}(x_{N-1}, x_N, u_{N-1}) + \min_{u_N} \{f_N(x_N, x_{N+1}, u_N)\}\}$$

$$= \min_{u_{N-1}} \{f_{N-1}(x_{N-1}, x_N, u_{N-1}) + F_N(x_N)\}$$

y se observa que la solución de la etapa N-1 es equivalente a resolver un problema de una sola decisión ( $u_{N-1}$ ) y que dicho problema incorpora los valores óptimos asociados con los estados  $x_N$  calculados en la etapa N.

En general, para la etapa k donde  $k=1, 2, \dots, N-1$ , las decisiones a realizar ( $u_k, u_{k+1}, \dots, u_N$ ) dependen únicamente del vector de estados  $x_k$ . Dichas decisiones serán óptimas si resuelven el problema.

$$F_k(x_k) = \min_{\{u_i\}} \{f_k(x_k, x_{k+1}, u_k) + \sum_{i=k+1}^N f_i(x_i, x_{i+1}, u_i)\}$$

sujeto a

$$x_{i+1} = g_i(x_i, u_i) ; \quad x_i \in S_i, \quad u_i \in C_i \quad i=k, \dots, N$$

Sin embargo, la función objetivo es equivalente a

$$F_k(x_k) = \min_{u_k} \{f_k(x_k, x_{k+1}, u_k) + \min_{\{u_i\}} \left\{ \sum_{i=k+1}^N f_i(x_i, x_{i+1}, u_i) \right\}\}$$

$$= \min_{u_k} \{f_k(x_k, x_{k+1}, u_k) + F_{k+1}(x_{k+1})\}$$

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  $R = (u_1^*, u_2^*, \dots, u_N^*)$  que resuelve (1) y (2) es la solución óptima del problema básico y  $F_1(x_1)$  el correspondiente valor óptimo.

18

5.3 El problema básico estocástico

Considere el sistema dinámico de parámetro discreto

x\_{i+1} = g\_i(x\_i, u\_i, w\_i) i=1, ..., N.

donde x\_i se denomina la variable de estado (esto es, la variable o vector de variables que resume toda la información del sistema dinámico) en el tiempo i y se supone que x\_i \in S\_i; u\_i variable o vector de variables de decisión y se supone que u\_i \in C\_i; w\_i, variable o vector de variables de perturbancia o estocásticas con w\_i \in D\_i. Se supone que los valores de las perturbancias w\_i siguen una función de distribución que depende únicamente de x\_i y u\_i, y se denota por P\_i(\cdot | x\_i, u\_i). La función g\_i es la denominada función de transformación de estados. La colección de variables de decisión denotada \Pi = (u\_1, u\_2, ..., 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^\*, ..., u\_N^\*) que minimice (o maximice)

J\_0(x\_0) = E\_{\{w\_k\}} [f\_{N+1}(x\_{N+1}) + \sum\_{i=1}^N f\_i(x\_i, u\_i, w\_i)]

sujeto a

x\_{i+1} = g\_i(x\_i, u\_i, w\_i) i=1, 2, ..., N.

x\_i \in S\_i ; u\_i \in C\_i ; w\_i \in D\_i i=1, 2, ..., N.

donde las funciones f\_{N+1}, f\_i y g\_i i=1, ..., N, son conocidas y

E(.) es el operador esperanza que considera de manera explícita el aspecto estocástico de las variables w\_i en cada etapa i=1, ..., 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:

Etapla 1.- El decisor observa el estado inicial x\_1 y efectúa una decisión u\_1 (que obviamente depende de x\_1). Un evento w\_1 es generado de acuerdo a la función de distribución P\_1(\cdot | x\_1, u\_1). El sistema se transforma al estado x\_2 = g\_1(x\_1, u\_1, w\_1) y un costo, denotado f\_1(x\_1, u\_1, w\_1), es originado.

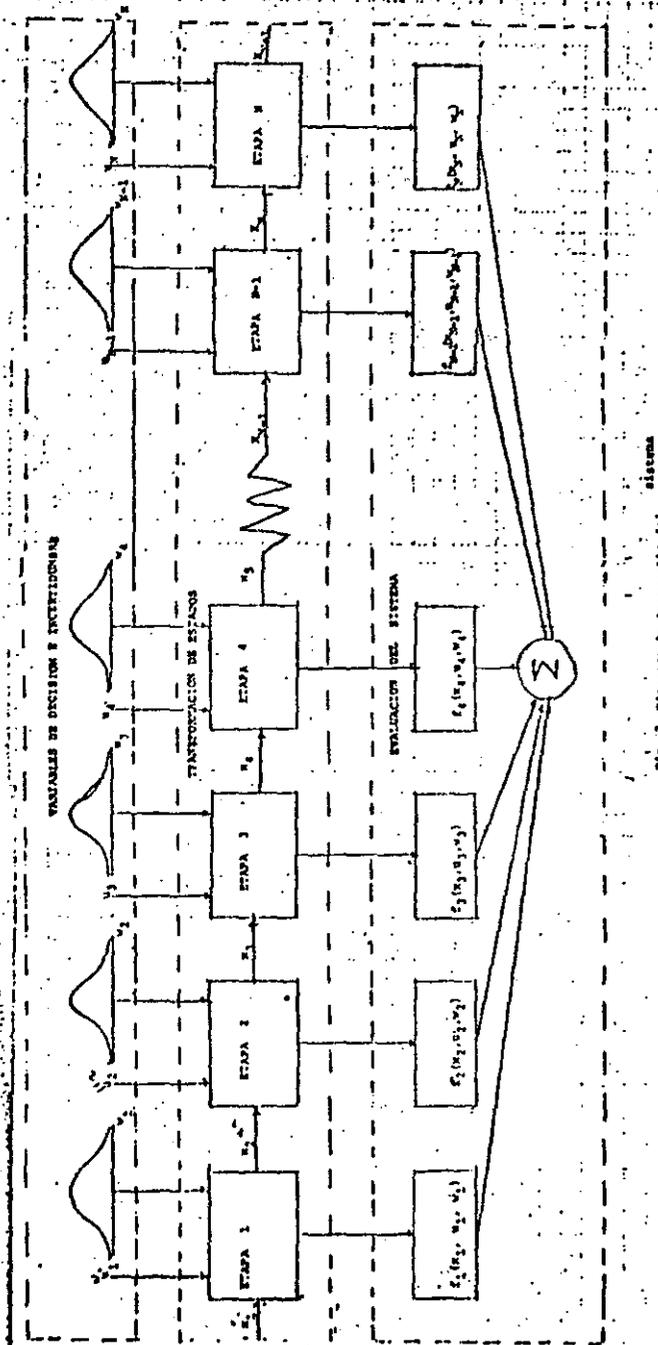
Etapla k.- El decisor observa el estado x\_k y basado en ello efectúa la decisión u\_k. Se produce un evento w\_k de acuerdo a la distribución P\_k(\cdot | x\_k, u\_k) y el nuevo estado del sistema es x\_{k+1} = g\_k(x\_k, u\_k, w\_k) con un costo f\_k(x\_k, u\_k, w\_k) que se suma a los anteriores.

Etapla 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^\*, ..., u\_N^\*) óptima es tal que minimiza (o maximiza) la expresión:

J\_0(x\_0) = E\_{\{w\_k\}} [f\_{N+1}(x\_{N+1}) + \sum\_{i=1}^N f\_i(x\_i, u\_i, w\_i)]

BT



#### 5.4 Las ecuaciones recursivas

Una manera de resolver el problema estocástico de  $N$  etapas de decisión es descomponerlo en  $N$  problemas de acuerdo al principio de la programación dinámica. En este principio lo que se pretende es resolver primero la última etapa y usar tales resultados para resolver la penúltima y así sucesivamente. Específicamente, el procedimiento que se realiza es como sigue:

En la etapa  $N$ , la decisión  $u_N$  a realizar depende únicamente del vector de estados  $x_N$  y de la forma en que se presentan los eventos probabilísticos de la variable  $w_N$ . En este caso, para cada valor de  $x_N$  lo que se pretende es determinar  $u_N^*$  que resuelva el problema.

$$J_N(x_N) = \min_{u_N} E_{w_N} [f_{N+1}(x_{N+1}) + f_N(x_N, u_N, w_N)]$$

donde  $x_{N+1} = g_N(x_N, u_N, w_N)$ ,  $u_N \in C_N$ ;  $w_N \in D_N$ . Por simplicidad se supone que existe una decisión  $u_N^*$  tal que  $f_N(x_N)$  es finito, con lo que el problema está bien definido.

En la etapa  $N-1$ , las decisiones ( $u_{N-1}$ ,  $u_N$ ) que se realicen dependen únicamente del vector de estados  $x_{N-1}$  y tales decisiones deberán tomar en cuenta el comportamiento de las variables estocásticas  $w_{N-1}$  y  $w_N$ . Dichas decisiones son óptimas si resuelven el problema

$$J_{N-1}(x_{N-1}) = \min_{(u_1)} E_{(w_1)} \left[ f_{N+1}(x_{N+1}) + \sum_{i=N-1}^N f_i(x_i, u_i, w_i) \right] \quad 20$$

sujeto a

$$x_{i+1} = g_i(x_i, u_i, w_i) \quad i=N-1, N$$

$$x_{i+1} \in S_i \ ; \ u_i \in C_i \ ; \ w_i \in D_i \quad i=N-1, N$$

Sin embargo, la función objetivo es equivalente a

$$\begin{aligned} J_{N-1}(x_{N-1}) &= \min_{u_{N-1}} E_{w_{N-1}} \left[ f_{N-1}(x_{N-1}, u_{N-1}, w_{N-1}) + \right. \\ &\quad \left. \min_{u_N} E_{w_N} \left[ f_{N+1}(x_{N+1}) + f_N(x_N, u_N, w_N) \right] \right] \\ &= \min_{u_{N-1}} E_{w_{N-1}} \left( f_{N-1}(x_{N-1}, u_{N-1}, w_{N-1}) + J_N(x_N) \right) \end{aligned}$$

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 incorporará 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

$$J_k(x_k) = \min_{(u_1)} E_{(w_1)} \left[ f_{N+1}(x_{N+1}) + \sum_{i=k}^N f_i(x_i, u_i, w_i) \right]$$

sujeto a

$$x_{i+1} = g_i(x_i, u_i, w_i) \quad i=k, \dots, N$$

$$x_{i+1} \in S_i \ ; \ u_i \in C_i \ ; \ w_i \in D_i \quad i=k, \dots, N$$

Sin embargo, la función objetivo es equivalente a

$$\begin{aligned} J_k(x_k) &= \min_{u_k} E_{w_k} \left\{ f_k(x_k, u_k, w_k) + \right. \\ &\quad \left. \min_{(u_i)} E_{(w_i)} \left[ f_{N+1}(x_{N+1}) + \sum_{i=k+1}^N f_i(x_i, u_i, w_i) \right] \right\} \\ &= \min_{u_k} E_{w_k} \left[ f_k(x_k, u_k, w_k) + J_{k+1}(x_{k+1}) \right] \end{aligned}$$

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 desamos encontrar la trayectoria de longitud mínima que nos lleve del punto A al punto B. Una manera de resolver el problema es considerar el número de trayectorias distintas que parten de A y llegan a B, para despues 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 no cesito conocer  $L_C$  y  $L_D$ .

22

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

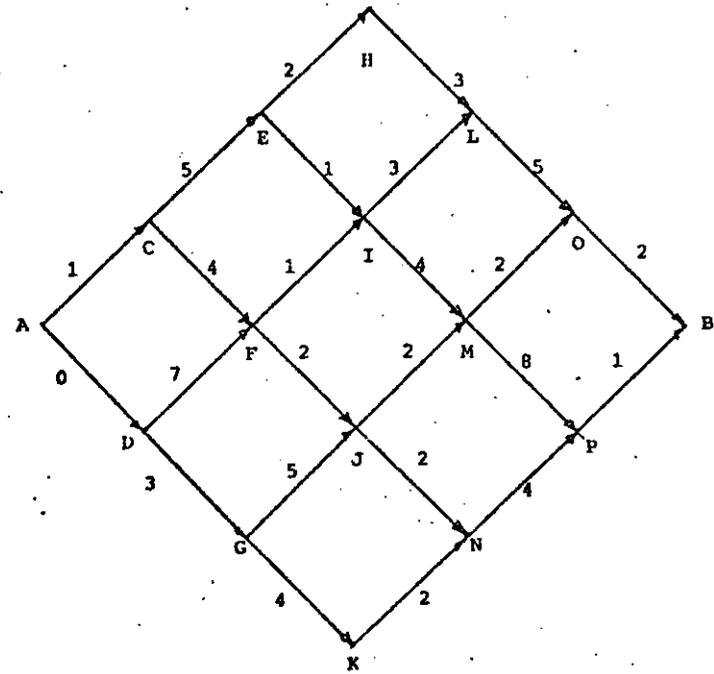


Fig. 1. Geometría de un conjunto de calles

compararlo con el enfoque exhaustivo. En este caso se necesita efectuar una suma en cada uno de los puntos H, L, O, K, N y P, pues una sola decisión existía. Asimismo se necesitó de dos sumas y una comparación en los nueve puntos restantes, pues existían dos decisiones. Por lo que en total se necesitó de 24 sumas y 9 comparaciones comparados con 100 sumas y 19 comparaciones para el caso exhaustivo 6 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.

23

2. (Trayectoria Simple II). Considere la gráfica dirigida de la figura 2 y suponga que se desea determinar la trayectoria de mínima longitud de A a B. Observe que las posiciones relativas de los nodos de esta gráfica están dados por un par ordenado  $(x,y)$  donde  $x$  es la abscisa y la ordenada es denotada por  $y$ . También observe que si estamos en cualquier punto  $(x,y)$  y deseamos llegar al punto B, lo que haremos es siempre desplazarnos a la derecha ya sea aumentando o disminuyendo el valor de  $y$ . Específicamente, si estamos en  $(x,y)$  podemos desplazarnos al punto  $(x+1, y+1)$  o bien  $(x+1, y-1)$ . Considerando estas observaciones podemos especificar la manera de calcular la trayectoria de mínima longitud de A a B:

Denote por  $f(x,y)$  el valor de la trayectoria de mínima longitud si partimos del punto  $(x,y)$  y llegamos al punto B ó bien vértice  $(6,0)$ . Denote por  $a(x,y)$  la longitud del arco que conecta el vértice  $(x,y)$  con el vértice  $(x+1, y+1)$  y por  $d(x,y)$  la longitud del arco que conecta al vértice  $(x,y)$  con el vértice  $(x+1, y-1)$ . Específicamente  $a(x,y)$  es la longitud del arco cuando aumentamos el valor de  $y$  mientras que  $d(x,y)$  es la longitud del arco cuando disminuimos el valor de  $y$ .

En términos de esta notación se observa que la ecuación recursiva para determinar  $f(x,y)$  es dada por

$$f(x,y) = \min \{a(x,y) + f(x+1, y+1), d(x,y) + f(x+1, y-1)\}$$

con la condición de frontera

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

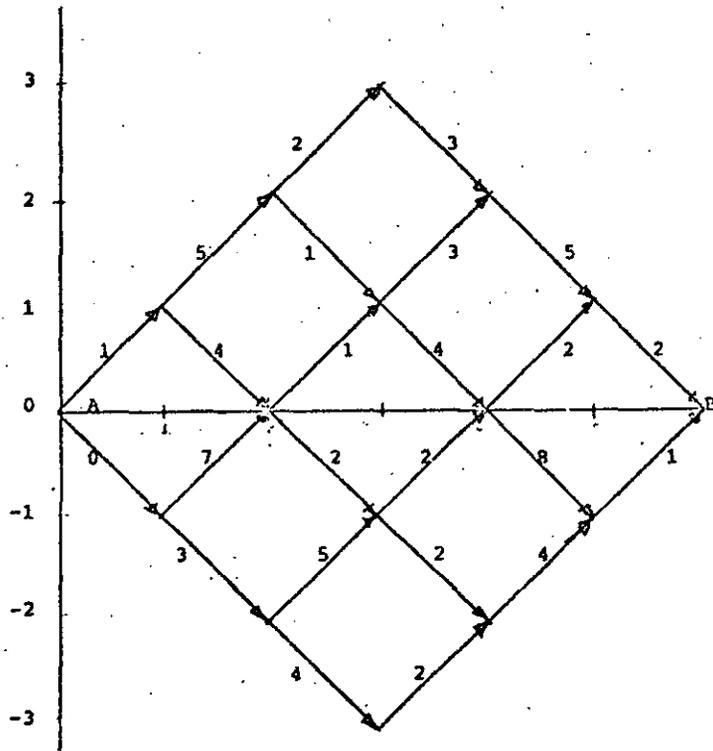


Fig. 2 Gráfica dirigida

Usando el hecho que  $f(6,0)$  se tiene que

$$f(5,1) = \min \{d(5,1) + f(6,0)\} = \min \{2+0\} = 2$$

$$f(5,1) = \min \{a(5,-1) + f(6,0)\} = \min \{1+0\} = 1$$

De manera semejante

$$f(4,0) = \min \{a(4,0) + f(5,1), d(4,0) + f(5,-1)\}$$

$$= \min \{2 + 2, 8 + 1\} = 4$$

y así sucesivamente

$$f(4,2) = 7 \quad ; \quad f(4,-2) = 5$$

$$f(3,3) = 10 \quad ; \quad f(3,1) = 8$$

$$f(3,-1) = 6 \quad ; \quad f(3,-3) = 7$$

$$f(2,2) = 9 \quad ; \quad f(2,0) = 8$$

$$f(2,-2) = 11 \quad ; \quad f(1,1) = 12$$

$$f(1,-1) = 14 \quad ; \quad f(0,0) = 13$$

3. (Problema de distribución de agua). Un canal es usado para la distribución de tres zonas de riego localizadas a 30, 50 y 75 km de la presa que surte el canal (fig. 1). En el presente período se dispone de 800 millones de metros ( $Mm^3$ ) de agua y los costos de bombeo y beneficios de riego por un volumen dado a cada zona son conocidos y dados en la tabla siguiente:

Volumen ( $Mm^3$ )	Costo bombeo (Miles pesos/km)	Beneficios de riego (Miles de pesos)		
		$B_1(q)$	$B_2(q)$	$B_3(q)$
0	0	0	0	0
200	7.6	900	400	600
400	10.7	1250	760	980
600	13.2	1500	1090	1310
800	15.2	1690	1380	1600

Se desea determinar la política de distribución de agua que maximice los beneficios netos del sistema.

El problema puede verse como la determinación de los volúmenes  $q_1$ ,  $q_2$  y  $q_3$  asignados a cada zona de riego de manera que se maximice

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

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

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

La solución con programación dinámica.

25

Una manera de resolver este problema consiste en definir  $J_k(q)$  como el máximo beneficio neto obtenido de distribuir un volumen  $q$  a las primeras  $k$  zonas de riego. Note que lo que desea es  $J_3(800)$  y que se cumple la siguiente relación.

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

donde  $d_{k+1}$  es la distancia que existe entre la zona de riego  $k+2$  y  $k+1$ ;  $c(q)$  es el costo de transporte por kilómetro del volumen  $q$  asignado a las  $k+1$  primeras zonas; y  $B_{k+1}(x)$  el beneficio obtenido de asignar un volumen  $x$  a la zona de riego  $k+1$ . Esta relación es la ecuación recursiva de la programación dinámica. La condición de frontera es  $J_0(q) = 0$  para toda  $q$ .

Solución de las ecuaciones recursivas.

Si  $k=0$  se desea determinar la función

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

cuyos valores quedan resumidos en (se pide verificar):

$q$	0	200	400	600	800
$J_1(q)$	0	710	982	1170	1310

y la decisión óptima en todos los casos es asignar todo el volumen de agua a la zona de riego 1. De manera semejante:

$$J_2(q) = \max \{J_2(q, q_2) \mid 0 \leq q_2 \leq 2\}$$

donde  $J_2(q, q_2) = B_2(q_2) - 20c(q) + J_1(q - q_2)$ . Los correspondientes valores de  $J_2(q)$  así como la decisión óptima se dan en la tabla siguiente:

q	q <sub>2</sub>	q - q <sub>2</sub>	J <sub>2</sub> (q, q <sub>2</sub> )	J <sub>2</sub> (q)	Asignación óptima
0	0	0	0	0	0
200	0	200	<u>558</u>	558	q* <sub>2</sub> = 0
	200	0	248		q* <sub>1</sub> = 200
400	0	400	768	896	q* <sub>2</sub> = 200
	200	200	<u>896</u>		q* <sub>1</sub> = 200
	400	0	546		
600	0	600	906	1206	q* <sub>2</sub> = 400
	200	400	1118		
	400	200	<u>1206</u>		q* <sub>1</sub> = 200
	600	0	826		
800	0	800	1006	1496	
	200	600	1266		q* <sub>2</sub> = 600
	400	400	1438		
	600	200	<u>1496</u>		q* <sub>1</sub> = 200
	800	0	1076		

Finalmente se observa que

26

$$J_3(q) = \max \{J_3(q, q_3) \mid 0 \leq q_3 \leq q\}$$

donde  $J_3(q, q_3) = B_3(q_3) - 30c(q) + J_2(q - q_3)$  cuya solución óptima para  $q = 800$  se muestra a continuación:

q	q <sub>3</sub>	q - q <sub>3</sub>	J <sub>3</sub> (q, q <sub>3</sub> )	J <sub>2</sub> (q)	Asignación óptima
800	0	800	1040	1420	
	200	600	1350		q* <sub>3</sub> = 400
	400	400	<u>1420</u>		
	600	200	1412		q* <sub>2</sub> = 200
	800	0	1144		q* <sub>1</sub> = 200

4. (El problema del jugador). Un jugador dispone de 3 pesos y tiene opción de participar hasta cuatro veces en el siguiente juego: Se puede apostar 0,1,2,3,..., pesos. La probabilidad de ganar la apuesta es 0.6 y se obtiene dos veces el dinero que se apostó. La probabilidad de perder es 0.4 y se pierde la cantidad que se apostó. Se desea determinar la estrategia que permita maximizar la probabilidad de terminar el juego con una cantidad mínima de 5 pesos y el valor de dicha probabilidad.

La solución con programación dinámica.

Con el propósito de establecer un método para resolver el problema empezaremos por definir  $f_i(x)$  como la máxima probabilidad de terminar el juego con al menos 5 pesos dado, dado que se han realizado  $i$  jugadas, se tiene  $x$  pesos y el número máximo de jugadas permitidas es cuatro. Entonces se cumple que

$$f_i(x) = \max_{u_i} \{0.6 f_{i+1}(2u_i + (x-u_i)) + 0.4 f_{i+1}(x-u_i)\}$$

donde  $u_i = 1, \dots, x$ . Asimismo,  $f_5(x) = 1$  si  $x \geq 5$ ;  $f_5(x) = 0$  si  $x < 5$ ;  $f_i(x) = 1$  si  $x \geq 5$  para toda  $i = 2, 3, 4$ .

Solución de las ecuaciones recursivas.

Si  $i=4$  se observa que

$$f_4(x) = \min_{u_4} \{0.6 f_5(2u_4 + (x-u_4)) + 0.4 f_5(x-u_4)\}$$

donde  $u_4 = 0, 1, 2, \dots, x$  y cuya solución se muestra en:

27

x	1	2	3	4
$f_4(x)$	0	0	0.6	0.6
$u_4$	-	-	2,3	1,2,3,4

De manera semejante la solución para  $i=3$ , y  $i=2$  se muestra en las tablas siguientes

x	1	2	3	4
$f_3(x)$	0	.36	0.6	0.84
$u_3$	-	1,2	0,2,3	1
$f_2(x)$	0.216	0.504	0.648	0.84
$u_2$	1	2	1	0,1

Finalmente

$$f_1(3) = \max \{0.648, 0.7056, 0.6864, 0.6\} = 0.7056$$

y la decisión óptima es  $u_1 = 3$ .

## Ejemplos

1. Considere un sistema de aprovechamiento hidráulico consistente de un vaso y un distrito de riego (fig. 1). Suponga que los escurrimientos que llegan al vaso en cada periodo 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

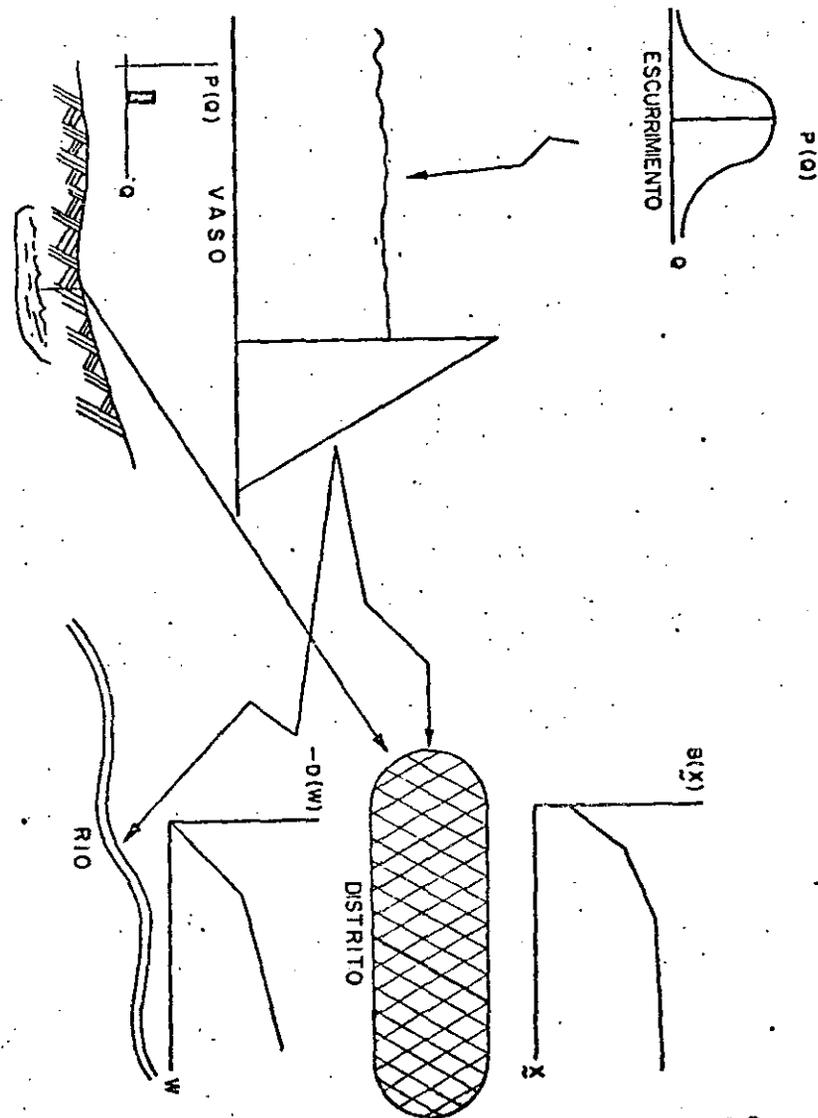
S	0	1/4	1/2	3/4	1
w	1/4	1/4	1/2	3/4	3/4

donde S es el nivel de almacenamiento al principio del periodo 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 periodo a otro es equivalente a determinar la correspondiente matriz de transición P.

Suponga que la estructura de costos del problema anterior es como sigue: Los beneficios obtenidos de prometer (y no necesariamente entregar) un volumen x de agua al distrito son:

Fig. 2 EL SISTEMA DE APROVECHAMIENTOS HIDRAULICOS



x	0	1/4	1/2	3/4	1
B(x)	0	2	7/2	9/2	5

Asimismo, si  $x$  es el volumen de agua prometido y  $\bar{x}$  el entregado, la penalización debida al déficit de agua  $x - \bar{x} \geq 0$  es

29

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

y la debida a derramar un volumen  $z$  es:

z	0	1/4	1/2	3/4	1
D(z)	0	-3/2	-4	-4	-4

Determine la política óptima de extracción de agua usando:

- El método de Howard
- Aproximaciones sucesivas normal
- Aproximaciones sucesivas modificado
- Programación lineal.

### Modelación del problema

Una manera de analizar el problema anterior es postular un modelo en que se consideren de manera explícita la forma en que cambian los almacenamientos de un 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 caracter estocástico de los escurrimientos al vaso y un criterio de jerarquización de alternativas de operación para un número  $N$  de períodos de planeación.

El modelo propuesto se presenta en la siguiente hoja en donde (1) representa la ecuación de balance de entradas y salidas de agua; (2) establece que el almacenamiento del vaso debe estar entre  $\underline{S} = 0$  y  $\bar{S} = 1$ ; (3) especifica que el volumen de agua entregado es no-negativo y menor ó igual que el volumen de agua prometida; y (4) especifica que el volumen de agua derramado es no-negativo. En el modelo se supone que todos los eventos en las restricciones se efectúan al principio de cada período. Por otra parte, la función objetivo considera de manera explícita los beneficios de asignación de agua, así como los déficits en la entrega y la debida a derrames, todos ellos convenientemente actualizados.

### Reformulación del modelo

Conviene proceder a reformular el modelo descrito con el propósito de establecer un método de solución. Para ello defina

$\psi_i(S_i)$ , el valor máximo esperado de los beneficios netos actualizados, obtenidos del año  $i$  al  $N$ , dado un almacenamiento inicial  $S_i$ . Una manera recursiva de obtener  $\psi_i(S_i)$  es dada como sigue:

$$\psi_i(S_i) = \max_{x_i \in \Omega_i} E (R(x_i, x_i, w_i) + \beta \psi_i(S_{i+1}))$$

donde  $R(x_i, x_i, w_i) = B(x_i) + T(x_i - x_i) + D(w_i)$  y  $\Omega_i$  representa el conjunto de valores  $x_i$  que satisfacen las restricciones. Esta ecuación recursiva es la fórmula de la programación dinámica y tiene condición de frontera  $\psi_0(S_0) = 0$ .

Considerando que se desea establecer la estrategia de extracción de agua del vaso para un número finito de niveles (i.e.,  $S_i = 0, 1/4, 1/2, 3/4, 1$ ) y tomando en cuenta la independencia estocástica de los escurrimientos podemos discretizar la fórmula recursiva para obtener:

$$\psi_i(r) = \max_k \left\{ \sum_{s=1}^5 p_{rs}^k \left[ R_{rs}^k + \beta \psi_{i+1}(s) \right] \right\}$$

donde el índice  $r = 1, 2, 3, 4$  y  $5$  denota los respectivos valores (estados) del almacenamiento  $S_i = 0, 1/4, 1/2, 3/4$  y  $1$ , respectivamente. Lo mismo es cierto del índice  $s = 1, 2, 3, 4$  y  $5$ .

Asimismo,  $k$  representa las posibles estrategias de decisión, esto es,  $k = 1, 2, 3, 4$  y  $5$  especifica que el agua prometida para riego es  $x_i = 0, 1/4, 1/2, 3/4$  y  $1$ , respectivamente. Los valores de las matrices de transición  $[p_{rs}^k]$  y de beneficios inmediatos  $[R_{rs}^k]$  se dan en la tabla 1. Con esto se logra reformular la problemática analizada como un proceso de Markov con descuento.

#### MODELO DE ASIGNACION DE AGUA

$$\text{Maximice } E_{(x_i)} \left[ \sum_{i=1}^N \beta^{i-1} (B(x_i) + T(x_i - x_i) + D(z_i)) \right]$$

sujeo a :

$$(1) \quad S_{i+1} = S_i + Q_i - x_i - z_i$$

$$(2) \quad S_i \leq S_i \leq \bar{S}$$

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

$$(4) \quad 0 \leq w_i$$

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

$$v = q + \beta P v \quad \text{cuya solución } v = [I - \beta P]^{-1} q \text{ es:}$$

$$v = [18.02, 19.42, 20.92, 21.92, 22.22]$$

Usando la rutina de mejoramiento de políticas (Tabla 2) se observa que es necesario cambiar en los estados 2 y 5 la política de extracción original 2 y 4 por 3 y 5, respectivamente.

La nueva política de extracción

Estado	1	2	3	4	5
Decisión	2	3	3	4	5

3i

cuya matriz de transición y vector de beneficios inmediatos es:

$$P = \begin{bmatrix} 1/6 & 2/6 & 2/6 & 1/6 & 0 \\ 1/6 & 2/6 & 2/6 & 1/6 & 0 \\ 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \\ 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \\ 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \end{bmatrix} \quad q = \begin{bmatrix} 1.33 \\ 2.83 \\ 3.50 \\ 4.50 \\ 5.00 \end{bmatrix}$$

La solución del sistema de ecuaciones  $v = q + \beta P v$  dada por

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

$$v = [18.18, 19.68, 21.08, 22.08, 22.58]$$

y puede comprobarse de la tabla 2 que dicha política es óptima.

Finalmente, conviene señalar que el vector de probabilidades estacionarias  $\Pi$  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
	2(1/4)	1/6	2/6	2/6	1/6	0	-2	2	2	2	0	4/3
	3(2/4)	3/5	2/6	1/6	0	0	7/6	7/2	7/2	0	0	7/6
	4(3/4)	5/6	1/6	0	0	0	11/10	9/2	0	0	0	5/3
	5(1)	1	0	0	0	0	-2/6	0	0	0	0	-2/6
2(1/4)	1(0)	0	1/6	0	2/6	3/6	0	0	0	0	-3/3	-3/4
	2(1/4)	1/6	0	2/6	2/6	1/6	2	0	2	2	2	2
	3(1/2)	1/6	2/6	2/6	1/6	0	-1/2	7/2	7/2	7/2	0	17/6
	4(3/4)	3/6	2/6	1/6	0	0	13/6	9/2	9/2	0	0	10/3
	5(1)	5/6	1/6	0	0	0	8/5	5	0	0	0	13/6
3(1/2)	1(0)	0	0	1/6	0	5/6	0	0	0	0	-14/6	-35/18
	2(1/4)	0	1/6	0	2/6	3/6	0	2	0	2	9/6	7/4
	3(1/2)	1/6	0	2/6	2/6	1/6	7/2	0	7/2	7/2	7/2	7/2
	4(3/4)	1/6	2/6	2/6	1/6	0	+1/2	9/2	9/2	9/2	0	23/6
	5(1)	3/6	2/6	1/6	0	0	8/3	5	5	0	0	23/6
4(3/4)	1(0)	0	0	0	1/6	5/6	0	0	0	0	-3	-5/2
	2(1/4)	0	0	1/6	0	5/6	0	0	2	0	3/5	5/6
	3(1/2)	0	1/6	0	2/6	3/6	0	7/2	0	7/2	3	13/4
	4(3/4)	1/6	0	2/6	2/6	1/6	9/2	0	9/2	9/2	9/2	9/2
	5(1)	1/6	2/6	2/6	1/6	0	1	5	5	5	0	13/3
5(1)	1(0)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-20/6	-10/3
	2(1/4)	0	0	0	1/6	5/6	0	0	0	2	-1	-1/2
	3(1/2)	0	0	1/6	0	5/6	0	0	7/2	0	21/10	7/3
	4(3/4)	0	1/6	0	2/6	3/6	0	9/2	0	9/2	4	17/4
	5(1)	1/6	0	2/6	2/6	1/6	5	0	5	5	5	5

62

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	19.02 *	18.18 *
	3	16.91	17.07
	4	16.31	17.07
	5	14.62	14.75
2	1	17.22	17.45
	2	19.42 *	19.58
	3	19.52	19.68 *
	4	19.08	19.24
	5	17.31	17.46
3	1	16.32	16.59
	2	19.72	19.95
	3	20.92 *	21.08 *
	4	20.52	20.68
	5	19.58	19.74
4	1	15.90	16.17
	2	19.10	19.36
	3	21.22	21.45
	4	21.92 *	22.08 *
	5	21.02	21.18
5	1	15.11	15.40
	2	17.90	18.17
	3	20.60	20.86
	4	22.22 *	22.45 *
	5	22.42	22.58 *

\* Indica la política que se proponía como óptima.

63

a. Aplicación del método de Howard con otra política inicial

Considere ahora la política inicial

Estado	1	2	3	4	5
Decisión	5	5	5	5	5

con matriz de transición y vector de beneficios dado por

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 5/6 & 1/6 & 0 & 0 & 0 \\ 3/6 & 2/6 & 1/6 & 0 & 0 \\ 1/6 & 2/6 & 2/6 & 1/6 & 0 \\ 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \end{bmatrix} \quad q = \begin{bmatrix} -2/6 \\ 13/6 \\ 23/6 \\ 13/6 \\ 5 \end{bmatrix}$$

El sistema de ecuaciones asociado a esta política es  $v = q + \beta P v$

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

$$v = [-1.96, 0.94, 3.81, 6.24, 8.71]^t$$

Puede observarse de la tabla 4, que la política no es óptima y que debe reemplazarse por

Estado	1	2	3	4	5
Decisión	1	2	2	3	4

con matriz de transición y vector de beneficios dado por

$$P = \begin{bmatrix} 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \\ 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \\ 0 & 1/6 & 0 & 2/6 & 3/6 \\ 0 & 1/6 & 0 & 2/6 & 3/6 \\ 0 & 1/6 & 0 & 2/6 & 3/6 \end{bmatrix} \quad q = \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \\ 7/4 \\ 13/4 \\ 17/4 \end{bmatrix}$$

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

$$v = [15.54, 17.54, 18.25, 19.75, 20.75]^t$$

Puede observarse de la tabla 4, que la política no es óptima y que debe reemplazarse por

Estado	1	2	3	4	5
Decisión	2	3	3	4	4

con matriz de transición y vector de beneficios

$$P = \begin{bmatrix} 1/6 & 2/6 & 2/6 & 1/6 & 0 \\ 1/6 & 2/6 & 2/6 & 1/6 & 0 \\ 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \\ 1/6 & 0 & 2/6 & 2/6 & 1/6 \\ 0 & 1/6 & 0 & 2/6 & 3/6 \end{bmatrix} \quad q = \begin{bmatrix} 4/3 \\ 17/6 \\ 7/2 \\ 9/2 \\ 17/4 \end{bmatrix}$$

34

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

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

y se observa de la tabla 4 que la política debe reemplazarse por [2, 3, 3, 4, 5] que puede verificarse es la política óptima.

#### b. Aplicación del método de aproximaciones sucesivas.

Considere la ecuación recursiva de la programación dinámica correspondiente al proceso markoviano con ganancias asociado al problema de asignación:

$$v_i(m) = \max_k \left[ q_i^k + \beta \sum_{j=1}^5 p_{ij}^k v_j(m-1) \right] \quad i=1, \dots, 5$$

donde  $k$  es la política de asignación de agua y tiene como valores  $k = 1, 2, 3, 4$  y  $5$  correspondientes a extraer  $0, 1/4, 1/2, 3/4$  ó  $1$ , respectivamente, del vaso. En esta ecuación  $\beta = 0.83$  y los valores de los beneficios inmediatos  $q_i^k$  así como las probabilidades de transición  $p_{ij}^k$  asociadas con cada política se muestran en la tabla 1.

El proceso de solución directo de las ecuaciones recursivas anteriores se denomina método de aproximaciones sucesivas y representa una alternativa para la solución del problema de asignación. En la tabla 3 se muestran los valores de los beneficios esperados en  $m$  etapas para cada uno de los estados iniciales del vaso, esto es, los correspondientes valores  $v_i(m)$  para  $i=1, 2, 3, 4$  y  $5$  y  $m = 1, 2, \dots$ . En dicha tabla se observa la convergencia de estos valores y la correspondiente política óptima.

c. Aplicación del método modificado de aproximaciones sucesivas

Considere las ecuaciones recursivas modificadas de la programación dinámica correspondiente al proceso markoviano con ganancias asociado al problema de asignación:

$$v_1^k(m) = \max_k \left[ q_i^k + \beta \sum_{j=1}^5 p_{ij}^k v_j^{k(m-1)} \right]$$

$$v_1^k(m) = \max_k \left[ q_i^k + \beta \sum_{j=1}^{i-1} p_{ij}^k v_j^k(m) + \beta \sum_{j=1}^5 p_{ij}^k v_j^{k(m-1)} \right]$$

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,  $v_1^k(m)$  para  $i=1,2,3,4$  y 5 y  $m=1,2,\dots$ . Así como las correspondientes políticas óptimas.

Tabla 3. Método de aproximaciones sucesivas

Etapas	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	3.33	3.83	4.5	5	2	3	3	4	5
2	4.17	5.67	6.73	7.73	8.23	2	3	3	4	5
3	6.41	7.91	9.21	10.21	10.71	2	3	3	4	5
4	8.37	9.87	11.24	12.24	12.74	2	3	3	4	5
5	10.03	11.53	12.92	13.92	14.42	2	3	3	4	5
6	11.41	12.91	14.31	15.31	15.81	2	3	3	4	5
7	12.56	14.06	15.46	16.46	16.96	2	3	3	4	5
8	13.51	15.01	16.41	17.41	17.91	2	3	3	4	5
9	14.31	15.81	17.21	18.21	18.71	2	3	3	4	5
10	14.96	16.46	17.86	18.86	19.36	2	3	3	4	5
13	16.34	17.84	19.24	20.34	20.74	2	3	3	4	5
16	17.12	18.62	20.02	21.02	21.52	2	3	3	4	5
19	17.58	19.08	20.48	21.48	21.98	2	3	3	4	5
22	17.83	19.33	20.73	21.73	22.23	2	3	3	4	5
25	17.98	19.48	20.88	21.88	22.38	2	3	3	4	5
28	18.06	19.56	20.96	21.96	22.46	2	3	3	4	5
30	18.10	19.50	21.00	22.00	22.50	2	3	3	4	5

\*  $k_1(m)$  es la política que maximiza  $q_1^k + \beta \sum_{j=1}^5 p_{1j}^k v_j^{k(m-1)}$

d. El método de programación lineal

Considere la ecuación recursiva de la programación dinámica correspondiente al proceso markoviano asociado con el problema de asignación

$$v_i(m) = \max_k \left[ q_i^k + \beta \sum_{j=1}^5 p_{ij}^k v_j(m-1) \right] \quad i=1, \dots, 5$$

donde k es la política de asignación y tiene como valores k=1,2,3,4 y 5 correspondiente a extraer 0,1/4,1/2,3/4 y 1, respectivamente. Considerando que  $v_i = \lim_m v_i(m)$  (i=1,2,3,4,5) existe se observa que en el límite lo que se desea es encontrar  $v_i^*$  (i=1,2,3,4,5) tal que

$$v_i^* = \max_k \left[ q_i^k + \beta \sum_{j=1}^5 p_{ij}^k v_j^* \right]$$

que equivale a

$$v_i^* \geq q_i^k + \beta \sum_{j=1}^5 p_{ij}^k v_j^* \quad (\alpha)$$

para todo k = 1,2,3,4, y 5.

Una manera de resolver este problema es resolviendo el problema lineal

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

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

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

Etapas	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	5	5	5
1	1.67	4.02	5.64	7.24	8.79	2	2	3	4	4
2	5.24	7.50	9.19	10.99	12.52	2	2	3	4	4
3	8.20	10.45	11.95	13.71	14.97	2	2	3	4	4
4	10.36	12.63	14.13	15.73	16.79	2	2	3	4	4
5	12.38	14.30	15.80	17.26	18.18	2	2	3	4	4
6	13.76	15.56	17.06	18.41	19.23	2	2	3	4	4
7	14.81	16.53	18.03	19.29	20.03	2	2	3	4	4
8	15.61	17.25	18.75	19.96	20.64	2	2	3	4	4
9	16.22	17.81	19.31	20.46	21.10	2	2	3	4	4
10	16.68	18.24	19.73	20.86	21.45	2	3	3	4	4
13	17.51	19.04	20.48	21.53	22.08	2	3	3	4	4
16	17.88	19.39	20.81	21.83	22.35	2	3	3	4	4
19	18.04	19.55	20.96	21.97	22.48	2	3	3	4	4
22	18.12	19.62	22.03	22.53	22.53	2	3	3	4	4
25	18.15	19.65	21.05	22.05	22.56	2	3	3	4	4
28	18.16	19.67	21.07	22.07	22.57	2	3	3	4	4
30	18.17	19.67	21.07	22.07	22.57	2	3	3	4	4

KEY TO COLUMN TYPES (SEE SECTION ON EFFECTIVE MODES)

X : FIXED VARIABLE      1 : PLUS VARIABLE WITH COORD(S)  
 P : PLUS VARIABLE      2 : MINUS VARIABLE WITH COORD(S)  
 M : MINUS VARIABLE      3 : VARIABLE IS NOT SET NUMBER  
 F : FREE VARIABLE      4 : VARIABLE IS NOT SET NUMBER  
 0 : DUALITY VARIABLE  
 I : INTEGER VARIABLE

Z0	FR	1	1.000000000 F V1	1.000000000 F V2	1.000000000 F V3	1.000000000 F V4
	2IS LO:	-INF	1.000000000 F VS			
	2IS UP:	+INF				
P1	GE	2	.861600000 F V1	-.276600000 F V2	-.276600000 F V3	-.138400000 F V4
	2IS LO:	0.000000000				
	2IS UP:	+INF				
P2	GE	3	.861600000 F V1	-.276600000 F V2	-.276600000 F V3	-.138400000 F V4
	2IS LO:	1.333300000				
	2IS UP:	+INF				
P3	GE	4	.585000000 F V1	-.276600000 F V2	-.138400000 F V3	
	2IS LO:	1.166700000				
	2IS UP:	+INF				
P4	GE	5	.309300000 F V1	-.170000000 F V2		
	2IS LO:	1.656700000				
	2IS UP:	+INF				
P5	GE	6	.170000000 F V1			
	2IS LO:	-.333300000				
	2IS UP:	+INF				
P6	GE	7	.861600000 F V2	-.276600000 F V3	-.415000000 F V4	
	2IS LO:	-.750000000				
	2IS UP:	+INF				
P7	GE	8	-.138400000 F V1	1.000000000 F V2	-.276600000 F V3	-.276600000 F V4
	2IS LO:	2.000000000	-.138400000 F V5			
	2IS UP:	+INF				
P8	GE	9	-.138400000 F V1	.723400000 F V2	-.276600000 F V3	-.138400000 F V4
	2IS LO:	2.033300000				
	2IS UP:	+INF				
P9	GE	10	-.415000000 F V1	.723400000 F V2	-.138400000 F V3	
	2IS LO:	3.333300000				
	2IS UP:	+INF				
P10	GE	11	-.691700000 F V1	.461700000 F V2		
	2IS LO:	2.166700000				
	2IS UP:	+INF				
P11	GE	12	.861600000 F V3	-.691700000 F V4		
	2IS LO:	-1.944400000				
	2IS UP:	+INF				

R14	GE	15	-138400000 F V1	-271000000 F V2	.723400000 F V3	-138400000 F V4
R15 LO:		3.333300000				
R15 UP:		+INF				
R15	GE	16	-415000000 F V1	-270000000 F V2	.861600000 F V3	
R15 LO:		3.333300000				
R15 UP:		+INF				
R16	GE	17	.861600000 F V4	-1.691700000 F V5		
R16 LO:		-3.500000000				
R16 UP:		+INF				
R17	GE	18	-138400000 F V3	1.691700000 F V4	-1.691700000 F V5	
R17 LO:		.833300000				
R17 UP:		+INF				
R18	GE	19	-138400000 F V2	.723400000 F V4	-415000000 F V5	
R18 LO:		3.250000000				
R18 UP:		+INF				
R19	GE	20	-138400000 F V1	-270000000 F V3	.723400000 F V4	-138400000 F V5
R19 LO:		4.500000000				
R19 UP:		+INF				
R20	GE	21	-138400000 F V1	-270000000 F V2	-270000000 F V3	.861600000 F V4
R20 LO:		4.333300000				
R20 UP:		+INF				
R21	GE	22	-170000000 F V5			
R21 LO:		-3.333300000				
R21 UP:		+INF				
R22	GE	23	-138400000 F V4	.301300000 F V5		
R22 LO:		-1.500000000				
R22 UP:		+INF				
R23	GE	24	-138400000 F V3	.301300000 F V5		
R23 LO:		3.333300000				
R23 UP:		+INF				
R24	GE	25	-138400000 F V2	-270000000 F V4	.861600000 F V5	
R24 LO:		4.250000000				
R24 UP:		+INF				
R25	GE	26	-138400000 F V1	-270000000 F V3	-270000000 F V4	.861600000 F V5
R25 LO:		5.000000000				
R25 UP:		+INF				

END EQUATION LISTING

POINT OPTION = COMPLETE OUTPUT  
 NAME = EDHAWICA OBJ = 70  
 DIR = MINIMIZE CORR =

MAX = 1.000 MIN = 1.000  
 CORR =

VALUE OF OBJECTIVE = 103.57993  
 MAXIMUM = 1.000 MINIMUM = 1.000  
 CORR = 0.00000 CORR CORR = 0.00000

NUMBER	NAME	TYPE	STATUS	LOW ACTIVITY	SLACK	ONS LOWER	ONS UPPER	ACTUAL
1	70	FR	SLACK	103.57993	-103.57993	-INF	+INF	.
2	21	GE	SLACK	0.00000	-0.00000	.	+INF	.
3	22	.	BINDING	1.30000	.	1.30000	+INF	-5.07059
4	23	GE	SLACK	2.00000	-1.00000	1.00000	+INF	.
5	24	GE	SLACK	2.00000	-1.00000	1.00000	+INF	.
6	25	GE	SLACK	3.00000	-3.00000	-	+INF	.
7	26	GE	SLACK	1.00000	-0.00000	-	+INF	.
8	27	GE	SLACK	2.00000	-1.00000	1.00000	+INF	.
9	28	GE	BINDING	2.00000	.	2.00000	+INF	-3.52116
10	29	GE	SLACK	2.00000	-0.00000	2.00000	+INF	.
11	310	GE	SLACK	2.00000	-2.00000	2.00000	+INF	.
12	311	GE	SLACK	2.00000	-2.00000	-1.00000	+INF	.
13	312	GE	SLACK	2.00000	-1.00000	1.00000	+INF	.
14	313	GE	BINDING	3.00000	.	3.00000	+INF	-0.13529
15	314	GE	SLACK	4.00000	-0.00000	4.00000	+INF	.
16	315	GE	SLACK	5.00000	-1.00000	4.00000	+INF	.
17	316	GE	SLACK	1.00000	-0.00000	-	+INF	.
18	317	GE	SLACK	2.00000	-2.00000	0.00000	+INF	.
19	318	GE	SLACK	3.00000	-0.00000	3.00000	+INF	.
20	319	GE	BINDING	4.00000	.	4.00000	+INF	-7.97450
21	320	GE	SLACK	5.00000	-0.00000	5.00000	+INF	.
22	321	GE	SLACK	3.00000	-7.00000	-4.00000	+INF	.
23	322	GE	SLACK	3.00000	-4.00000	-1.00000	+INF	.
24	323	GE	SLACK	4.00000	-1.00000	3.00000	+INF	.
25	324	GE	SLACK	4.00000	-0.00000	4.00000	+INF	.
26	325	GE	BINDING	5.00000	.	5.00000	+INF	-3.90917

```

APR  5 A P M 10570E 1.4 L.918+095 30-12Y-81
12.22.40.MIABICE FROM /A5
12.22.40.IP 00000512 WORDS - FILE INPUT . 00 04
12.22.40.MIADU,STRIG.
12.22.43.ACCOUNT....
12.22.43.COPYCP,INPT,TPFI.
12.22.44.FILE OPENED - TAPFI
12.22.44.ATTACH,APFX,DDPAPFX,IO=SYS,MU=1.
12.22.44.AT CY= 001 SM=PFSET
12.22.44.RFL.100000.
12.22.44.APFX(SOLVE,MIR,ED)
12.22.44. *****
12.22.44. ** G-D-C /PEX-III **
12.22.44. ** WITH MIR OPTION **
12.22.44. ** WITH REDUCE OPTION **
12.22.44. *****
12.22.49.FILE OPENED - OUTPUT
12.22.53.FILE OPENED - 4304JG
12.23.05. END APFX
12.23.05. 1.402 CP SECONDS EXECUTION TIME
12.23.05.EXIT.
12.23.05.OP 00002304 WORDS - FILE OUTPUT . 00 40
12.23.05.MS 3648 WORDS ( 13888 MAY USED)
12.23.05.CPA 1.954 SEC. 1.954 ADJ.
12.23.05.IO 4.874 SEC. 4.874 ADJ.
12.23.05.CM 193.470 KMS. 12.112 ADJ.
12.23.05.SS 11.643
12.23.05.00 20.083 SEC. DATE 20/07/81
12.23.05.FJ. END OF JOB, 46

```

40

DATE 20/07/81 TIME 12.22.48

C O L U M N S

APFX-III 1.000 2400

PRINT OPTION = COMPLETE OUTPUT

NAME = EDIMMICA QOBJ = 20  
MIR = INFINITE COBJ =

SM = 1.000  
CM = 1.000

VALUE OF OBJECTIVE = 102.57003  
ORCOST = 1.0000 WORDS = 1.0000  
MDCOST = 0.0000 WORDS = 0.0000

NUMBER	NAME	TYPE	STATUS	CEL. ACTIVITY	OBJ. COEF	IND. LAYER	ROW UPPER	MARGINAL
1	V1	FR	ACTIVE	19.17311	1.00000	-INF	+INF	.
2	V2	FR	ACTIVE	19.07311	1.00000	-INF	+INF	.
3	V3	FR	ACTIVE	21.17312	1.00000	-INF	+INF	.
4	V4	FR	ACTIVE	22.07312	1.00000	-INF	+INF	.
5	V5	FR	ACTIVE	22.07312	1.00000	-INF	+INF	.

A. Convergencia de los métodos de solución

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

$$\|P\| = \max \left( \sum_{j=1}^n |P_{ij}| ; i=1, \dots, n \right)$$

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

$$0 = \lim_m \|(\beta p)^m\|$$

que equivale a  $0 = \lim (\beta p)^m$ . Como consecuencia tenemos:

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

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

Prueba. Empezaremos por hacer notar que

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

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

Considere la formula recursiva

$$(1) \quad U(m) = \max_k \left[ q^k + \beta p^k U(m-1) \right] \quad m=1, 2, \dots,$$

donde  $p^k$  es la matriz de transición asociada a la política  $k$ ;  $q^k$  es el vector de beneficios inmediatos asociado a la política  $k$ ; y,  $0 < \beta < 1$  factor de descuento. Supongamos que se adopta una política de decisión fija para todas las etapas de la ecuación recursiva. Entonces dicha ecuación se reduce a

$$U(m) = q + \beta P U(m-1)$$

para toda  $m$ . Sin embargo, esto equivale a

$$U(m) = q + \beta P U(m-1)$$

$$U(m-1) = q + \beta P U(m-2)$$

⋮  
⋮  
⋮  
⋮

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

y se tiene que

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

pero, debido a la proposición 1, podemos implicar que

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

donde  $U = \lim U(m)$ .

41

a. Convergencia del método de Howard

Uno de los aspectos fundamentales para resolver la ecuación recursiva de la programación dinámica con este método es que para toda iteración se requiere calcular

$$[I - \beta P]^{-1}$$

donde P es la matriz de transición que se supone óptima y  $0 < \beta < 1$  el factor de descuento. La existencia de la inversa de  $[I - \beta P]$  justifica cada paso del método y su terminación es garantizada porque el número posible de matrices de transición distintas es finito.

b. Convergencia del método de aproximaciones sucesivas.

Considere la fórmula recursiva (1) como sigue:

$$TV = \max_k [q^k + \beta P^k v]$$

esto es,  $T: R^n \rightarrow R^n$  es un mapeo definido por una operación de maximización. En este mapeo se cumple que para algún valor de K, denotado  $k$ , se adquiere el máximo, esto es,

$$T(v) = q^k + \beta P^k v$$

debido a que el número de políticas de decisión es finito.

La propiedad básica del mapeo  $T(v)$  queda resumida en:

Proposición 2. Considere el mapeo

$$Tv = \max_k [q^k + \beta P^k v]$$

donde  $P^k$  matriz transición asociada a la política k;  $q^k$  vector de beneficios inmediatos asociado a k;  $\beta$  factor de descuento ( $0 < \beta < 1$ ); y v vector columna de n componentes. Entonces T es un mapeo de contracción.

Prueba. Dados u y v sabemos existen  $k_1$  y  $k_2$  tales que

$$Tv = q^{k_1} + \beta P_v^{k_1}; \quad Tu = q^{k_2} + \beta P_u^{k_2}$$

Asimismo, se observa que

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

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

Por otra parte  $Tu - Tv \geq \beta P^{k_1} [u - v]$  y se concluye que

$$\beta P^{k_1} [v - u] \geq Tv - Tu \geq \beta P^{k_2} [v - u]$$

Sin embargo  $\|\beta P^{k_1} [v - u]\| = \beta \|v - u\|$  para  $k=1,2$  (usando la norma  $\|x\| = \max \{|x_i|; i=1, \dots, n\}$ ). Por lo tanto se tiene que  $\|Tv - Tu\| \leq \beta \|v - u\|$  y T es una contracción.



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

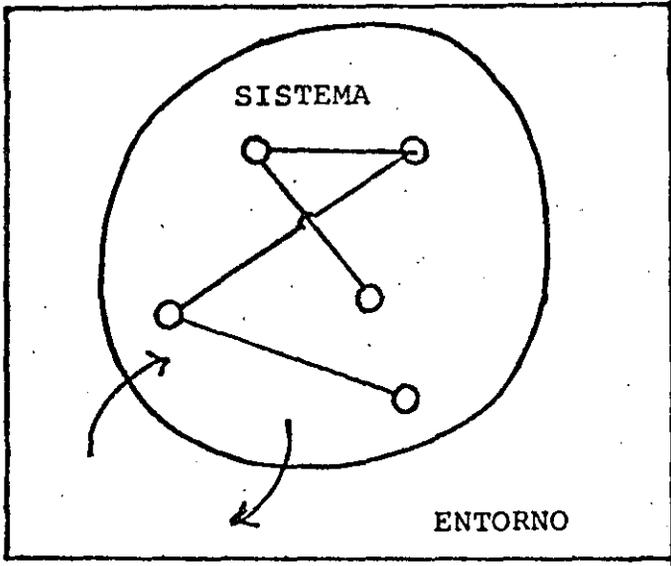
EVALUACION DE SISTEMAS PRODUCTIVOS

DR. ALEJANDRO MENDOZA FERNANDEZ  
NOVIEMBRE, 1985

### ¿QUE ES UN SISTEMA?

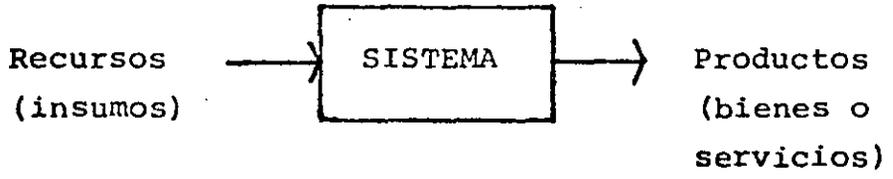
Conjunto de elementos en interacción que forman una estructura compleja tratada para ciertos fines como una totalidad organizada. Se diferencia de su entorno o medio ambiente.

2



3

### SISTEMA PRODUCTIVO



4

### FINES DEL SISTEMA

- Empresariales: —————> Producción  
Utilidad  
Prestigio
- Estatales: —————> Producción  
Empleo  
Divisas  
Medio Ambiente

- Verificar que exista congruencia del sistema con su entorno (Planes Nacionales y Sectoriales)
- Están consideradas todas las opciones técnicas
- Existe capacidad de reembolsar los préstamos y recuperar las inversiones
- Existe capacidad para cumplir otros objetivos no monetarios

---

### EVALUAR UN SISTEMA

⑥

- 1) Definir los elementos a evaluar
- 2) Recordar los fines del sistema
- 3) Establecer los objetivos de la evaluación
- 4) Definir un procedimiento de evaluación
- 5) Comparar resultados y conclusiones

### EVALUAR es entonces

⑦

- Establecer el conjunto de elementos a evaluar A
- Definir y aplicar la FUNCION DE EVALUACION

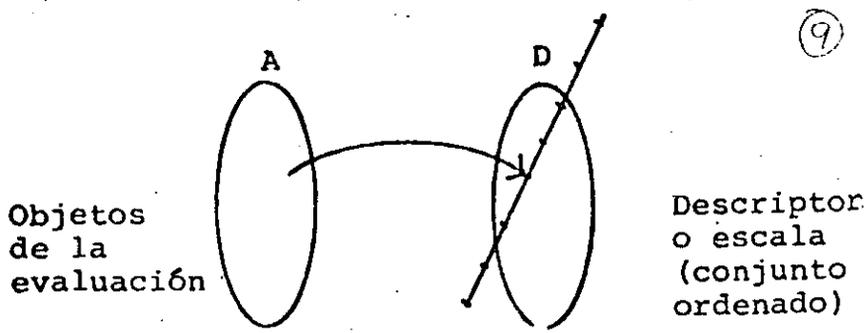
---

### LA FUNCION DE EVALUACION

⑧

Formalmente toda Evaluación puede definirse como una APLICACION (función matemática de un conjunto A (objeto de la evaluación) hacia un conjunto D. (descriptor)

(9)



$$E: A \longrightarrow D$$

$$E_j(a) = d_j^k$$

Ej: Atributo o criterio de evaluación

### TIPOS DE EVALUACIONES

(10)

EVALUACION PUNTUAL:  $E_j(a)$  es único

- Compra de un terreno en función de su costo (\$/m<sup>2</sup>).
- Selección de un proyecto en función de su indicador Costo/Beneficio

### EVALUACION SEUDO PUNTUAL

(11)

Tenemos un conjunto de eventos posibles asociado a una distribución de probabilidad.

- Valor Presente Neto



$$E_j(a) = \sum_i VPN_i \cdot P_i$$

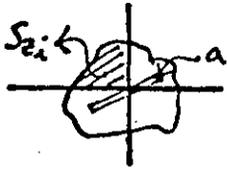
## EVALUACION DISTRIBUCIONAL

(12)

La distribución asociada al conjunto de eventos no es probabilística sino espacial o temporal

- Costo/Beneficio de una ampliación del aeropuerto

$$E_j(a) = \sum S_{zi} \cdot U_{zi}(a)$$



donde

$S_{zi}$  = densidad X superficie de  $z_i$

- Valor actualizado de un Flujo de Fondos

$$E_j(a) = \sum_t kt Bt(a)$$

donde  $kt = \frac{1}{(1+i)^t}$

## RELACION DE PREFERENCIA

(13)

- Un elemento de A es Preferido a otro si su evaluación es mejor

$$a P b \text{ ssi } E_j(a) > E_j(b)$$

- Un elemento de A es Indiferente a otro si su evaluación es igual

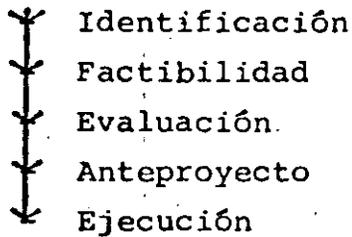
$$a I b \text{ ssi } E_j(a) = E_j(b)$$

## EVALUACION CON ATRIBUTOS MULTIPLES

(14)

- Orden lexicográfico
- Notas ponderadas
- Método de grafos

LA EVALUACION DEBE SITUARSE EN LA 15  
 ETAPA DE DESARROLLO DEL  
 SISTEMA



IDENTIFICACION 16

Un Estudio de la necesidad o de mercado,  
 presentación de:

- La situación de necesidad, factores limitantes y dominantes
- Innovaciones del sistema
- Opciones técnico-económicas

FACTIBILIDAD 17

Demostrar que las opciones consideradas son viables con la tecnología disponible y que son económicamente rentables

- Opciones:
- tecnológicas
  - dimensión del proyecto
  - localización del proyecto
  - estructura de la organización
  - fecha de realización, etc.

EJECUCION

(18)

- Programación de las actividades que realizarán el sistema
- Es la resultante de:
  - Una necesidad o problema a resolver
  - Una oportunidad técnica de solución
  - Una voluntad o finalidad política

EVALUAR LOS RECURSOS DEL SISTEMA

(19)

- Análisis del mercado de Insumos:  
Materias Primas, Capital,  
Trabajo.  
Ej: Disponibilidades  
Precios  
Calidad, etc.

EVALUAR LOS PRODUCTOS DEL SISTEMA

(20)

- Análisis del Mercado de bienes y servicios.  
Ej: Oferta  
Demanda  
Mercado potencial  
Comercialización, etc.

EVALUAR EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.

(21)

- Indicadores de Performance ( O & M )
  - Técnica
  - Administrativa
- Indicadores de Resultados
  - Financieros
  - Económicos
  - Otros

(23)

- Legales
- Institucionales
- Medio ambiente físico

EVALUACION FINANCIERA

(23)

- Punto de vista empresarial:
  - Valor positivo del flujo de fondos
  - Rentabilidad
  - Tiempo de recuperación de la inversión
  - Valor positivo del VPN
  - Sobrevivencia

FLUJO DE FONDOS

(24)

Suma algebraica de los ingresos ( $R_t$ ) de los Costos de Operación ( $C_t$ ) y de la Inversión ( $I_t$ )

$$FF = \sum_t R_t - C_t - I_t$$

AÑO	FLUJO DE FONDOS							
	76	77	78	79	80	81	82	83
Inv y R.	200	50	-	-	-	-	-	200
Costos O.		30	60	60	60	60	60	60
Ingresos		80	160	160	160	160	160	160
	-200	0	100	100	100	100	100	-100

(25)

FF= 200

HIPOTESIS PRINCIPALES

(26)

- Inflación
- Variación de precios relativos
- Estimaciones de Costos e Ingresos (energía, salarios, ingresos)
- Vida útil = depreciación
- No se especifica el capital de trabajo
- Formas de presentación:
  - Precios corrientes
  - Precios constantes de año X

PRECIOS CONSTANTES DE 1983

(27)

- Deflator del PIB

	76	77	78	79	80	81	82	83
	9.9	7.5	6.4	5.3	4.1	3.3	2.1	1.0

- Precios Corrientes

- 200	0	100	100	100	100	100	100	-100
-------	---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

- Precios constantes de 1983

-1980	0	640	530	410	330	210	-100
-------	---	-----	-----	-----	-----	-----	------

FF = 40

EL TABLERO DEL FLUJO DE FONDOS

(28)

Tiene por objeto:

- Garantizar el equilibrio financiero
- Analizar el impacto de los factores inciertos
- Producir un documento síntesis preliminar de negociación

## INDICADORES FINANCIEROS

(29)

- Sin actualización (valor temporal del dinero)
- Con actualización

## INDICADORES FINANCIEROS SIN ACTUALIZACION

(30)

- Tiempo de recuperación de la Inversión

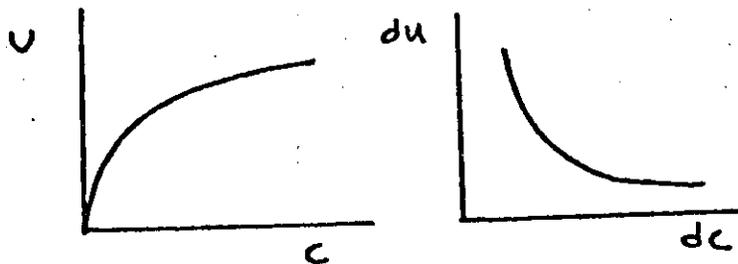
$$\sum Rt = \sum (It + Ct) , t = ?$$

- Rendimiento de la Inversión

$$r. i. = \frac{\sum (Rt - Ct)}{\sum It}$$

## CONCEPTO DE ACTUALIZACION

(31)



$$dU/dc = U'$$

$$U'(c_t) > U'(c_{t+1})$$

$$U'(c_t) = U'(c_{t+1}) \cdot k_t ; \begin{matrix} k_t > 1 \\ k_t = 1+i \end{matrix}$$

$$\therefore U'(c_{t+1}) = \frac{U'(c_t)}{(1+i)}$$

## INDICADORES FINANCIEROS CON ACTUALIZACION (32)

- V.A. del F.F.: actualiza con una tasa  $i$  el F.F.
- TIR : Tasa interna de rentabilidad:

$$\sum_t \frac{Rt - Ct - It}{(1 + i)^t} = 0 ; i = ?$$

- Beneficio/Costo:

$$B/C = \frac{\hat{R} - \hat{C} - \hat{I}}{\hat{I}}$$

## ACTUALIZACION EN LA PRACTICA (33)

- Una unidad de capital  $K$  prestada a una tasa de interés  $i$  valdrá en  $t$  periodos

$$A(1 + i)^t$$

- El valor actual de una unidad de capital  $K$  que recibiremos dentro de  $t$  periodos es:

$$\frac{A}{(1 + i)^t}$$

## VENTAJAS Y DESVENTAJAS (34)

- VAFF:
- Fácil aplicación
  - Vida útil de las alternativas debe ser igual
  - Sensibilidad de la tasa de interés seleccionada
- TIR:
- Cálculo puede complicarse por exponente  $t$ .
  - Elimina necesidad de definir  $i$
- B/C:
- Posible predilección por inversiones pequeñas
  - No considera calendario del FF

- Análisis de sensibilidad por Variaciones de
  - La demanda, precios, etc.
  - Costos de Operación
  - Costos de Inversión
- Estimación de distribuciones de probabilidad asociados a los factores sensibles y cálculo para determinados intervalos de confianza.

ANALISIS FINANCIERO DETALLADO

Incluye además:

- Plan de financiamiento
- Plan de Tesorería
- Pagos de Préstamos
- Depreciaciones y reemplazamientos
- Rentabilidad definitiva

ANALISIS FINANCIERO DETALLADO

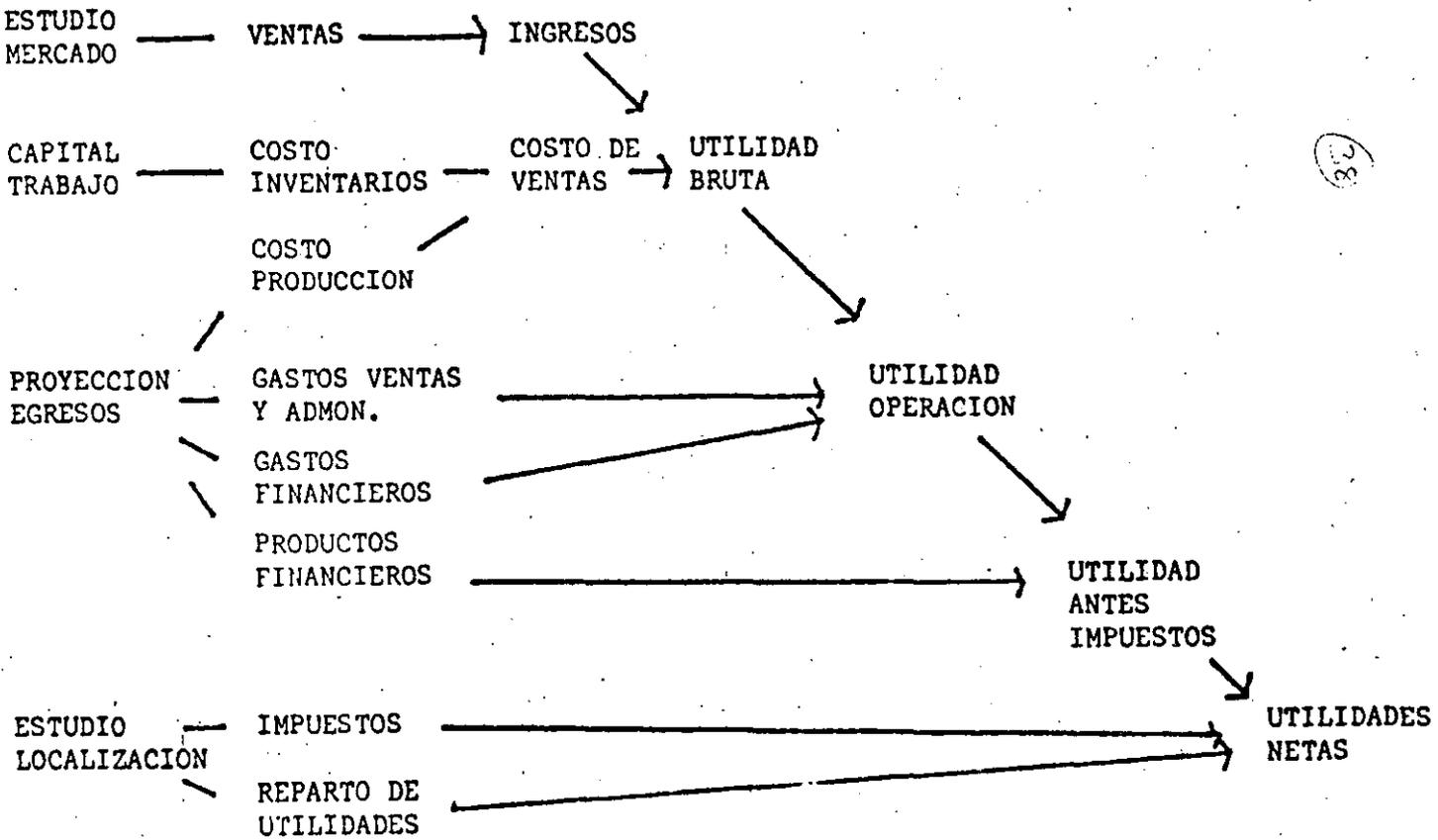
- Tablero previsional de las depreciaciones.
- Cálculo de los intereses y capital
- Capacidad máxima de autofinanciamiento
- Tablero provisional de Tesorería y Capital de Trabajo
- Estados Financieros Proforma

Estado de Resultados

Balance General

Origen y uso de los fondos

ESTADO PROFORMA DE RESULTADOS



BALANCE PROFORMA

ORIGEN DE RECURSOS

PASIVO    circulante  
          fijo

CAPITAL CONTABLE    social  
                          utilidades

APLICACION DE RECURSOS

ACTIVO    circulante  
          fijo (depre. ac.)  
          diferido

ANALISIS FINANCIERO  
(Resumen)

Flujo de fondos (simple) → Análisis financiero detallado (complejo)

## EVALUACION ECONOMICA

(30)

- Punto de vista de la sociedad
- La EE considera todos los efectos del sistema tanto en el uso de los insumos como en sus productos
- El equilibrio financiero puede pasar a segundo término si hay otras consideraciones

## EVALUACION ECONOMICA

(42)

Enfoque se Sistemas:

- Agentes involucrados
- Efectos directos
- Efectos multiplicativos

Limites? Depende del evaluador

- Banco estatal
- Director del proyecto
- Organismo financiero internacional

## METODOS DE E. E.

(43)

- Método de precios de referencia o  
Método de precios de sombra o  
Método de precios de cuenta
- Método de efectos

## METODO DE PRECIOS DE REFERENCIA

(44)

- Usuales : ONUDI (Pautas para la evaluación de proyectos)
- OCDE (Estudio del costo, beneficio social)
- B. M. (Análisis económico de proyectos)
- BID (Los precios de cuenta en la evaluación de proyectos)
- Otros.

La Teoría Económica Neoclásica establece que en condiciones de competencia perfecta, existe siempre un sistema de precios para factores y bienes que logra el equilibrio entre la oferta y la demanda. Este sistema de precios asegura la asignación óptima de los recursos en la sociedad.

## JUSTIFICACION

(46)

Los países en Desarrollo presentan desequilibrios estructurales que no hacen factible la realización de un sistema de precios de equilibrio, luego, para asignar óptimamente los recursos, es necesario modificar los precios del mercado por otros precios llamados de referencia.

## Precios de Referencia USUALES

(47)

- Mano de obra calificada y no calificada
- Energía
- Capital (tasa de actualización)
- Divisas
- Bienes importados

## METODO DE EFECTOS

(48)

- Cálculo del Valor Agregado Neto
- Beneficios y Costos Directos
- Beneficios y Costos Indirectos
- Valor Agregado Neto

## RESUMEN

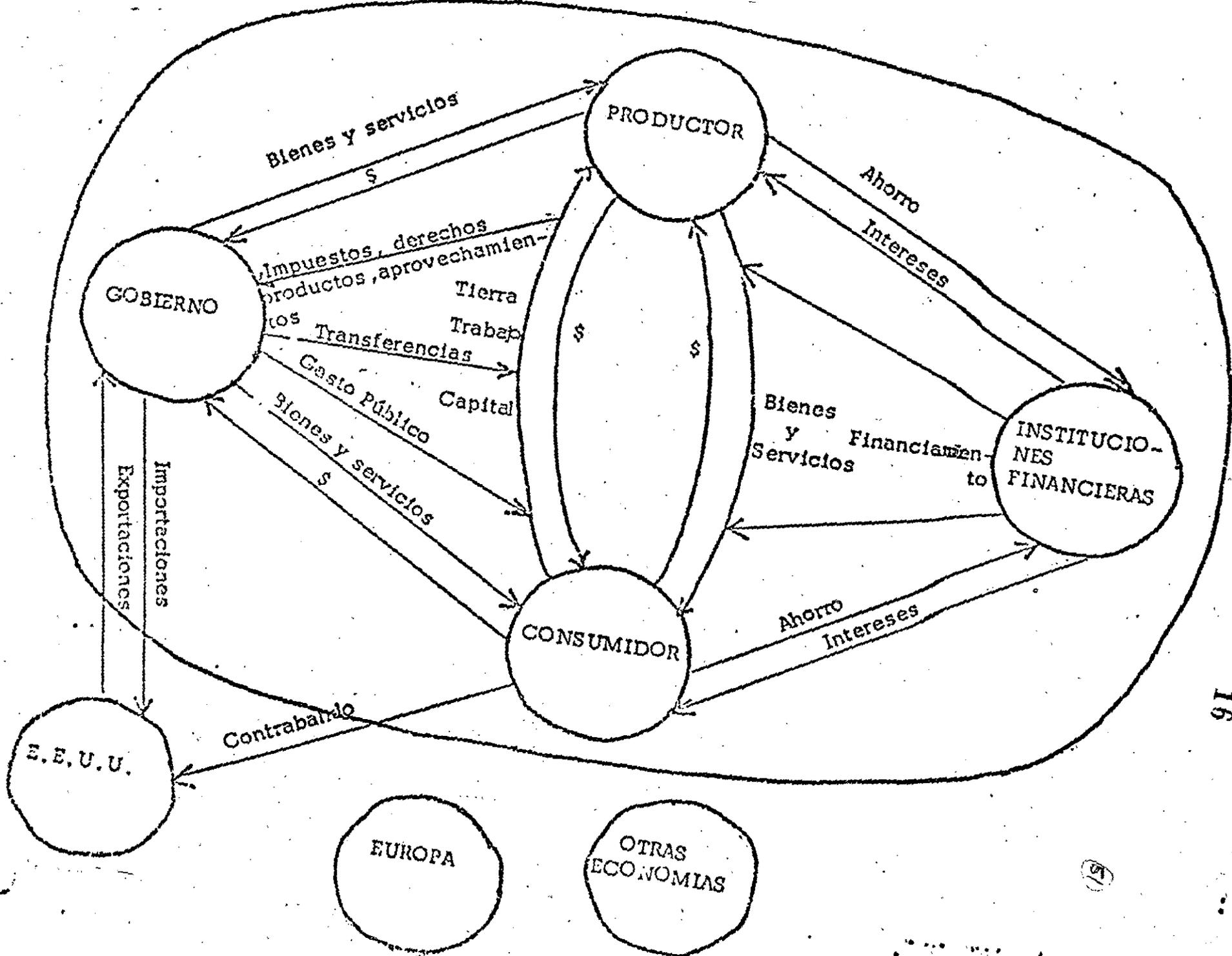
(49)

- Para evaluar un sistema es necesario inicialmente identificar
  - Elementos fundamentales
  - Relaciones internas
  - Relaciones con el entorno
- Definir los objetivos y criterios de evaluación, en cuanto a:
  - Recursos
  - Productos
  - Funcionamiento del Sistema
  - Otros
- Definir y aplicar la/las funciones de EVALUACION, especificando
  - Indicadores
  - Preferencias
  - Reglas de decisión

RESUMEN  
(continuación)

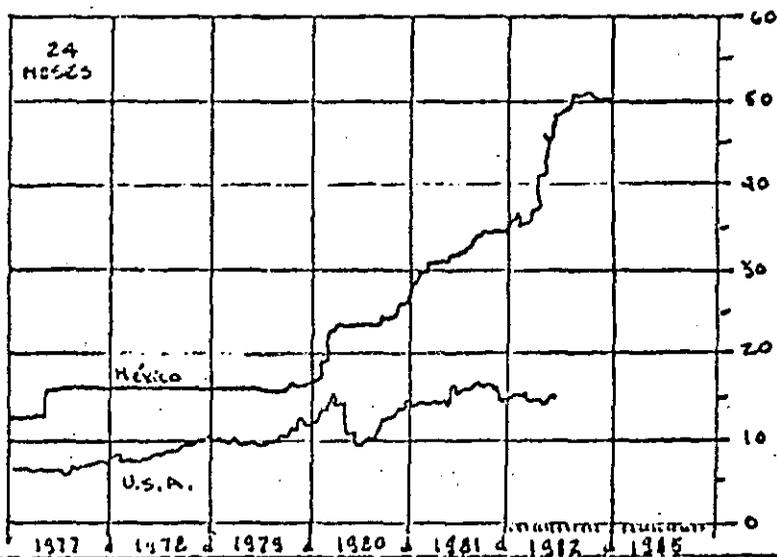
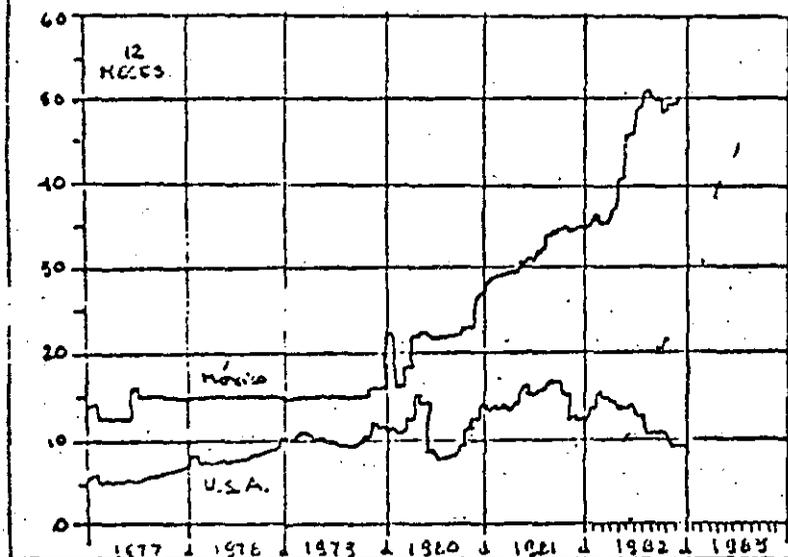
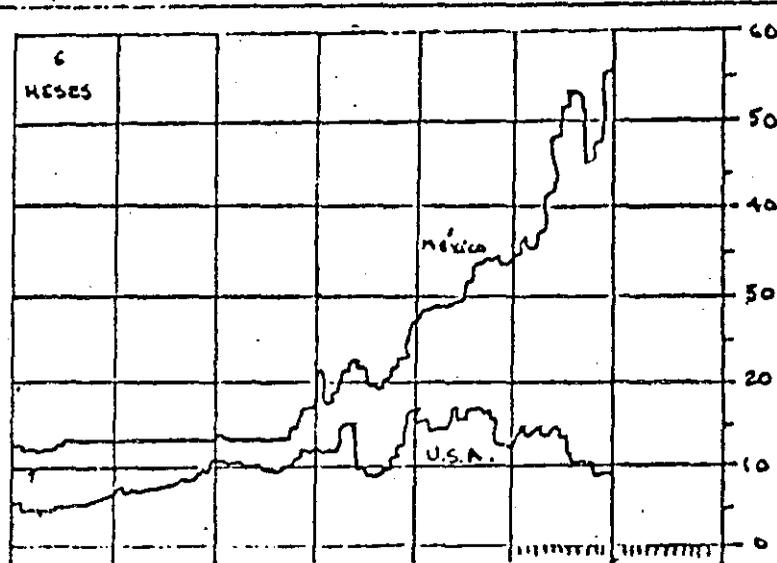
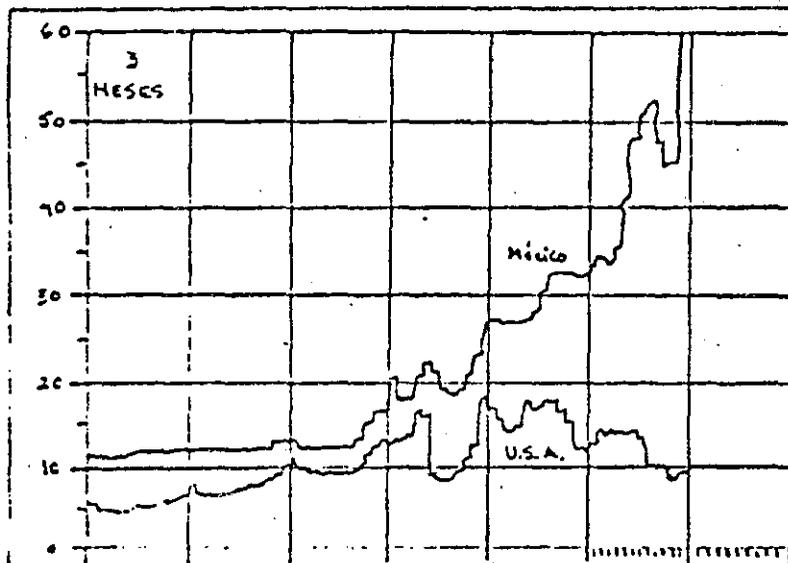
(50)

- Toda evaluación es subjetiva en el sentido que los pasos anteriores dependen de quien la realice.



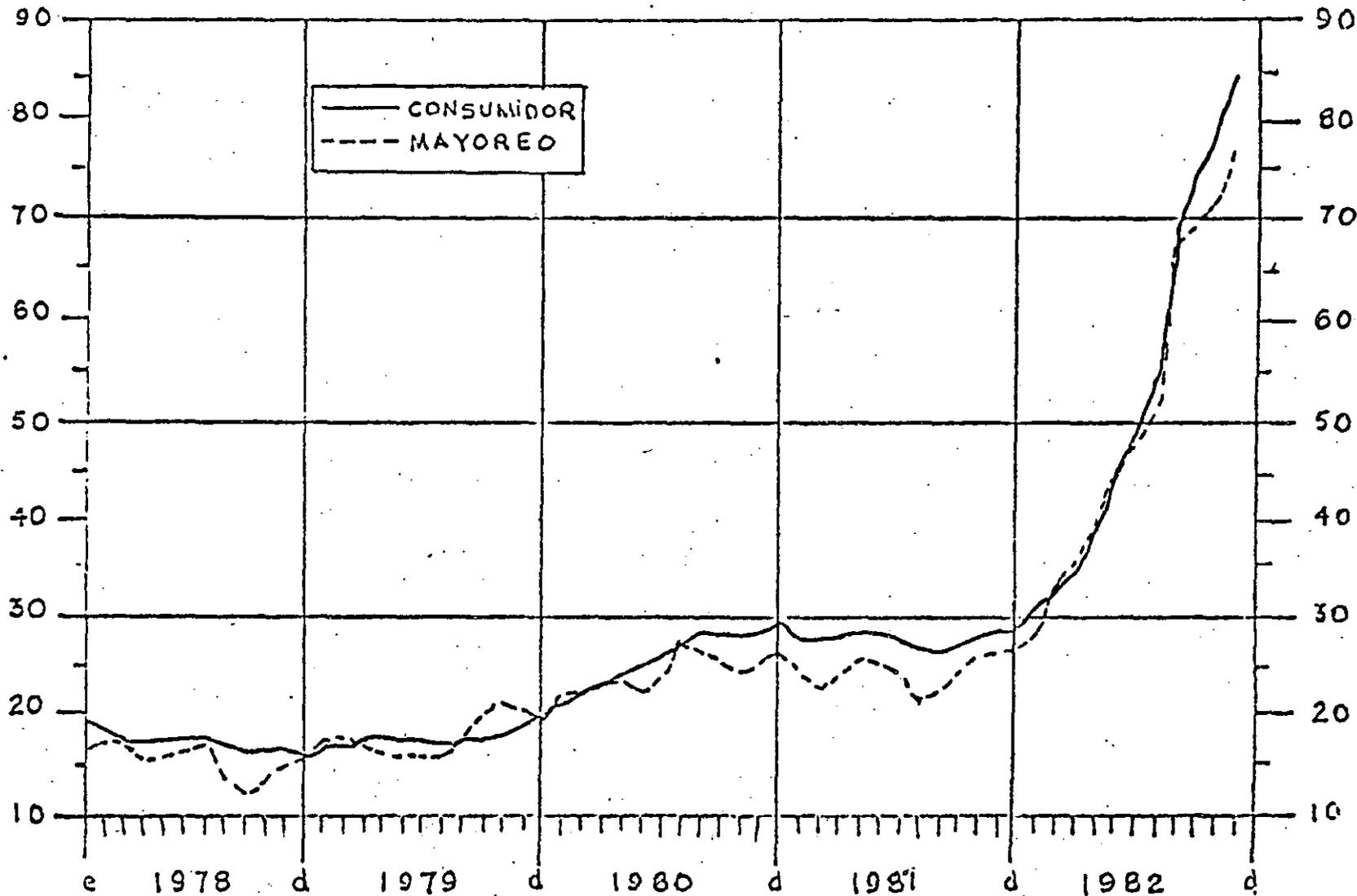
(5)

COMPARACION ENTRE LAS TASAS DE INTERES EN MEXICO Y E.U.A.  
(Tasa de Interés anual)



# PRECIOS AL CONSUMIDOR Y AL MAYOREO

(Variación porcentual respecto al mismo mes del año anterior)



FINANZAS DE ALGUNOS ORGANISMOS DESCENTRALIZADOS Y EMPRESAS PARAESTATALES

Enero - Agosto  
( Miles de millones de pesos )

C o n c e p t o	<u>Gastos Brutos</u>		<u>Ingresos propios</u>		<u>Saldo Bruto</u>	
	1980	1981	1980	1981	1980	1981
TOTAL	540.0	921.6	291.1	395.2	-248 906	-526 369
Organismos	443.2	772.3	223.5	301.9	-219 689	-540 458
Pemex	191.7	339.6	103.0	132.1	- 88 709	-207 495
C F E	109.1	197.3	20.2	29.4	- 88 951	-167 979
Ferrocarriles Nacio- nales de México	18.9	28.0	8.2	10.1	- 10 775	- 17 919
Conasupo	47.4	97.1	23.9	34.6	- 23 536	- 62 508
I M S S	51.4	80.6	53.7	77.4	- 2 264	- 3 144
I S S T E	24.6	29.7	14.6	18.3	- 9 982	- 11 413
Empresas	42.7	68.3	27.0	36.9	- 15 688	- 31 374
Aeroméxico	5.5	7.2	5.2	6.7	-299	-559
Fertilizantes Mexica- nos, S.A.	17.7	36.9	8.7	10.5	- 8 998	- 26 366
Diesel Nacional	13.4	15.9	8.6	11.3	- 4 812	- 4 596
Siderúrgica Nacional	1.5	1.7	1.1	1.5	-394	-208
Constructora Nacional de carros de ferroca- rril	4.7	6.5	3.5	6.9	- 1 185	355

Fuente: Elaborado con datos de la Sría.de Programación y presupuesto.

Notas: 1.- Incluye 27 entidades bajo control presupuestal.

2.- Excluye subsidios y financiamiento.

3.- Millones de pesos (-) Déficit (+) Superavit.

Fecha: 22-XII-82.

19

(54)

BIBLIOGRAFIA BASICA PARA EVALUACION SOCIAL DE PROYECTOS

(55)

NACIONES UNIDAS / CEPAL

"Manual de Proyectos de Desarrollo Económico", Santiago de Chile, 1958.

HARBERGER, A.C.,

"Evaluación de Proyectos", Instituto de Estudios Fiscales, Madrid, 1965.

FONTAINE, E.

"Evaluación Social de Proyectos", Universidad Católica. Instituto de Economía, Santiago de Chile, 1975.

LAVARD, R. (ed)

"Análisis Costo - Beneficio", F.C.E., Lecturas No. 23, México 1979.

LITTLE, I.M.D. y MIRRLEES, J.A.

"Estudio Social del Costo - beneficio en la Industria de países en desarrollo", CEMA, México 1973.

LITTLE, I.M.P. y MIRRLEES, J.A.,

"Project appraisal and planning for developing countries", Basic Book Publ., New York, 1974.

SQUIRE, L. y van der TAK, H.G.,

"Análisis Económico de Proyectos", Ed. Tecnos, Madrid, 1977.

POGERS, Perry (ed)

"El calculo de los precios de cuenta en la evaluación de proyectos", BID, Washington, D.C., 1981.

(56)

ONUDI

"Pautas para la evaluación de Proyectos" -  
Naciones Unidas, New York, 1972.

ONUDI

"Guía para la evaluación práctica de proyec-  
tos", Naciones Unidas, New York, 1978.

ONUDI

"Manual for evaluation of industrial pro-  
jects", Naciones Unidas, New York, 1980.

PROU, Ch y CHERVEL, M.

"L'étude des grappes de projets", Etablissem-  
ent des programmes en économie sous - dévelo-  
pée, tomo 3, Dunod, Paris 1970.

CHERVEL, M.

"Evaluación de proyectos en países en desarro-  
llo por el método de los efectos". Industria-  
lización y productividad, Boletín No. 20, Na-  
ciones Unidas, New York, 1974.



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

SISTEMAS DE ESTIMACION DE COSTOS EN ETAPAS DE INFLACION  
SU APLICACION Y EFECTO EN EL DESARROLLO DEL SECTOR AGROPECUARIO

DR. JORGE DIAZ PADILJA  
NOVIEMBRE DE 1985

# SISTEMAS DE ESTIMACION DE COSTOS EN ETAPAS DE INFLACION SU APLICACION Y EFECTO EN EL DESARROLLO DEL SECTOR AGROPECUARIO

por el

Dr. Jorge Díaz Padilla

## I. INTRODUCCION

La fase de estimación de costos constituye una de las etapas más complejas y de mayor relevancia durante el proceso de análisis y evaluación de proyectos de ingeniería. Generalmente, dichas estimaciones se apoyan en información histórica, en comparaciones con proyectos similares, en factores de experiencia y en el conocimiento de la problemática local. Sin embargo, resulta fácil reconocer que las variables en cuestión son inciertas y que en muchos casos, los valores asignados a dichas variables servirán únicamente como indicadores de sus tendencias y no como estimaciones firmes. En el contexto del estudio de un proyecto de rehabilitación o construcción de una zona de riego, es clara la dificultad que existe en asignar valores exactos a los costos de producción de los cultivos, a los costos de operación y mantenimiento del sistema o simplemente al monto de las inversiones iniciales.

En épocas de inflación, la incertidumbre que rodea al problema se incrementa aún más dado que en estos casos resulta necesario recurrir a la formulación de pronósticos para los costos de los insumos de mayor importancia los cuales, generalmente, son inciertos en mayor o menor grado.

De lo anterior resulta evidente la necesidad de contar con una metodología formal con la cual se pueda tomar en cuenta de manera explícita la incertidumbre de cada una de las componentes del problema y que permita cuantificar la variabilidad total de la eficiencia de cada una de las alternativas de solución para así poder efectuar una toma de decisiones más racional. Asimismo, esta metodología serviría también para identificar a las componentes más relevantes desde el punto de vista de su variabilidad, con lo cual se podrían desarrollar análisis de sensibilidad más completos.

A pesar de esto, las metodologías utilizadas en la práctica para el análisis y evaluación de proyectos se han apoyado tradicionalmente en marcos de referencia de carácter determinístico pues el desarrollo de modelos probabilísticos no se ha dirigido a la solución de problemas reales. Los modelos propuestos, aunque valiosos desde el punto de vista teórico, no han demostrado su factibilidad para utilizarse en la práctica y por lo tanto no han avanzado de un nivel meramente conceptual [7], [8]. Ante esta situación, los efectos de la incertidumbre se han tratado de incorporar indirectamente en los análisis de costos utilizando estimaciones conservadoras de las mismas o recurriendo a análisis de sensibilidad.

En este trabajo se presenta una metodología para la evaluación de proyectos, la cual toma en cuenta explícitamente a la incertidumbre que rodea la estimación de costos de las componentes de los proyectos bajo estudio y permite medir su impacto en la bondad de las alternativas de solución. El modelo que se presenta a continuación es un modelo probabilístico el cual fue ideado y formulado sin perder de vista ni la *factibilidad* ni la *facilidad* de su aplicación a casos reales. Para esto, fué necesario recurrir a un enfoque aproximado de primer orden cuyos detalles matemáticos se discuten en la sección siguiente. Las características fundamentales de un enfoque de este tipo son que las variables aleatorias se caracterizan únicamente por sus dos primeros momentos (en

contraposición con su función completa de densidad de probabilidades) y que la no linealidad de una función de variables aleatorias se elimina desarrollando dicha función en una serie de Taylor. Este enfoque permite desarrollar modelos probabilísticos sumamente poderosos y aplicables a problemas reales aún en aquellos casos en que la información con que se cuente sea escasa o poco confiable [4], [5]. Los conceptos fundamentales del modelo probabilístico se presentan en la Sección 3 y por último en la Sección 4 se hacen algunos comentarios finales. La metodología desarrollada ha sido ya probada y utilizada durante el proceso de evaluación y selección de inversiones en el Valle del Guadiana, Dgo. [6] y actualmente se está utilizando en los estudios de las zonas de Aguamilpa, Nay. y Piaxtla-Elota, Sin.\*

## 2. EL ENFOQUE PROBABILISTICO DE PRIMER ORDEN

El enfoque adoptado para la formulación matemática del modelo tiene las características siguientes ([2], [3]):

- a. La incertidumbre de cualquier variable aleatoria se mide únicamente a través de su coeficiente de variación.
- b. La no linealidad de una función de variables aleatorias se elimina desarrollando dicha función en una serie de Taylor alrededor de los valores esperados de las variables y conservando de dicho desarrollo únicamente los términos de primer orden.

El primero de los puntos anteriores implica que en un análisis probabilístico de primer orden, la componente aleatoria de cualquier variable  $X$  (la desviación de la variable de su valor esperado,  $\mu[X]$ ) se mide únicamente a través de su varianza:

---

\* para las Direcciones Generales de Estudios y de Planeación de la Subsecretaría de Planeación de la S.R.H., respectivamente.

$$E[(X - \mu[X])^2] = \sigma^2[X] \quad (2.1)$$

en donde  $E[.]$  es el operador "valor esperado" y  $\sigma^2[X]$  representa la varianza de la variable  $X$ . Es decir, el comportamiento de la variable aleatoria se define únicamente con su valor esperado  $\mu[X]$  y su coeficiente de variación  $v[X] = \sqrt{\sigma^2[X]} / \mu[X]$  (o equivalentemente, por su desviación estandar  $\sigma[X] = \sqrt{\sigma^2[X]} = v[X]\mu[X]$ ) y no por su función completa de densidad de probabilidades. Esto constituye una gran ventaja pues implica que la utilización de modelos probabilísticos de este tipo no requieren del conocimiento de la forma de las distribuciones de las variables sino únicamente de sus dos primeros momentos.

Por otro lado, para el caso de dos o más variables, adicionalmente a los valores esperados y a los coeficientes de variación será necesario especificar los coeficientes de correlación,  $\rho[...]$ , como medidas de la dependencia probabilística entre dichas variables.

La segunda característica de un análisis de primer orden significa que cuando se tengan funciones no lineales de las variables aleatorias, primero habrá que eliminar la no linealidad de dichas funciones por medio de expansiones en series de Taylor. Por ejemplo, para el caso de una función de una sola variable independiente,  $Z = h(X)$ , el desarrollo en serie de Taylor está dado por:

$$h(\mu[X]) + (\partial h / \partial X)_{\mu[.]} (X - \mu[X]) + (\partial^2 h / \partial X^2)_{\mu[.]} (X - \mu[X])^2 / 2! + \dots \quad (2.2)$$

en donde la expansión se hace alrededor del valor esperado de la variable aleatoria  $X$  y  $(\partial h / \partial X)_{\mu[.]}$  representa la derivada de la función  $h(.)$  con respecto a la variable  $X$  y evaluada en su valor esperado. Una vez linealizada la función, se conservan únicamente los términos de primer orden (los términos lineales) y se procede a calcular la esperanza y la varianza de la expresión resultante por medio de métodos conocidos [1].

Los conceptos anteriores se discuten e ilustran a continuación por medio del cálculo de la incertidumbre asociada con la estimación de los beneficios derivados

de cierto cultivo. En este caso, dichos beneficios están dados por la expresión siguiente:

$$B_n = A \cdot (RP - C_p) \quad (2.3)$$

en donde  $B_n$  representa los beneficios netos obtenidos del cultivo (\$),  $A$  el área sembrada (has),  $R$  el rendimiento del cultivo (ton/ha),  $P$  el precio de venta (\$/ton) y  $C_p$  el costo unitario de producción (\$/ha). En el contexto de una evaluación desde el punto de vista nacional, es necesario ajustar los precios de mercado de los costos de producción para que reflejen su verdadero costo de oportunidad social. Tomando en cuenta únicamente la corrección debida al costo de la mano de obra no calificada, la expresión (2.3) toma la forma siguiente:

$$B_n^{(s)} = A (RP - C_p) - \lambda (AC_p \Omega) = A \{RP - C_p (1 + \lambda \Omega)\} \quad (2.4)$$

en donde  $B_n^{(s)}$  representa la contribución al consumo agregado nacional de los beneficios netos obtenidos del cultivo,  $\lambda$  el factor que corrige el costo a precios de mercado de la mano de obra no calificada a su verdadero costo de oportunidad y  $\Omega$  el porcentaje de participación de este tipo de mano de obra en los costos de producción.

En un análisis probabilístico de primer orden, si las variables  $C_p$ ,  $\lambda$  y  $\Omega$  se tratan como variables aleatorias, de acuerdo con lo discutido anteriormente el comportamiento estocástico de dichas variables queda definido por sus valores esperados y sus coeficientes de variación. Los valores esperados son simplemente los valores promedio de las variables y los coeficientes de variación se pueden estimar estadísticamente (si se cuenta con la información adecuada) o bien de manera subjetiva en caso contrario [9]. Como la función es no lineal, para calcular aproximadamente los dos primeros momentos de la variable aleatoria dependiente,  $B_n^{(s)}$ , es necesario en primer lugar desarrollar la expresión (2.4) en una serie de Taylor (ec. (2.2)):

$$B_n^{(s)} \doteq A \{RP - \mu[C_p] \cdot (1 + \mu[\lambda] \mu[\Omega])\} + (C_p - \mu[C_p]) (\partial B_n^{(s)} / \partial C_p)_{\mu[\cdot]} + \\ + (\lambda - \mu[\lambda]) (\partial B_n^{(s)} / \partial \lambda)_{\mu[\cdot]} + (\Omega - \mu[\Omega]) (\partial B_n^{(s)} / \partial \Omega)_{\mu[\cdot]} \quad (2.5)$$

en donde ya se han eliminado los términos no lineales. Efectuando las derivaciones:

$$B_n^{(s)} \doteq A \{RP - \mu[C_p] (1 + \mu[\lambda] \mu[\Omega])\} - (C_p - \mu[C_p]) A \mu[\lambda] \mu[\Omega] - \\ - (\lambda - \mu[\lambda]) A \mu[C_p] \mu[\Omega] - (\Omega - \mu[\Omega]) A \mu[C_p] \mu[\lambda] \quad (2.6)$$

La expresión resultante es una aproximación de primer orden a la función original.

Como la ec. (2.6) es lineal en las variables aleatorias, el cálculo del valor esperado y de la varianza de la variable dependiente ya no presente dificultad. En este caso,

$$\mu[B_n^{(s)}] \doteq A \{RP - \mu[C_p] \cdot (1 + \mu[\lambda] \mu[\Omega])\} \quad (2.7)$$

$$\sigma^2[B_n^{(s)}] \doteq A^2 \{ \mu^2[\lambda] \mu^2[\Omega] \sigma^2[C_p] + \mu^2[C_p] \mu^2[\Omega] \sigma^2[\lambda] + \mu^2[C_p] \mu^2[\lambda] \sigma^2[\Omega] \} \quad (2.8)$$

en donde se supone que las tres variables aleatorias son estocásticamente independientes. Si se substituyen en estas expresiones los valores de los parámetros indicados en la Tabla 2.1, y suponiendo que  $A = 50$  has,  $R = 20$  ton/ha y  $P = \$1000/\text{ton}$ , se obtienen los resultados siguientes:

$$\mu[B_n^{(s)}] \doteq 50 \{20 \times 1000 - 10\,000 (1.0 - 1.0 \times 0.5)\} = \$ 750\,000$$

$$\sigma^2[B_n^{(s)}] \doteq (50)^2 \{ (1.0)^2 (0.5)^2 (10\,000)^2 (0.3)^2 + (10\,000)^2 (0.5)^2 (1.0)^2 (0.1)^2 + \\ + (10\,000)^2 (1.0)^2 (0.5)^2 (0.2)^2 \} = 8\,750\,000\,000 \text{ \$}^2$$

de donde,

$$\sqrt{\sigma^2[B_n^{(s)}]} \doteq \frac{\sqrt{8\,750\,000\,000}}{750\,000} = \frac{93\,541}{750\,000} = 0.12$$

De lo anterior resultan evidentes las ventajas del enfoque. Adoptando las hipótesis de un modelo de primer orden, resulta sencillo el cálculo de la variabilidad de una función de variables aleatorias en términos de las variabilidades de sus componentes individuales. La estimación de los

coeficientes de variación de dichas componentes resulta fácil y conduce a resultados generalmente confiables. Sin embargo, la estimación "directa" del coeficiente de variación de la variable dependiente es difícil y puede llevar a resultados erróneos.

La facilidad con que puede estimarse la variabilidad de una función de variables aleatorias permite efectuar fácilmente análisis de sensibilidad desde el punto de vista de la incertidumbre. Por medio de este tipo de análisis es posible detectar aquellas componentes cuya incertidumbre tiene un efecto importante en la variabilidad total resultante y a aquellas otras que, a pesar de ser inciertas, pueden tratarse como determinísticas dado que sus efectos son despreciables en el cálculo de la incertidumbre total de la función. Por ejemplo, de los cálculos anteriores resulta lo siguiente:

$$\sigma^2[B_n^{(s)}] = 5.625\ 000\ 000 + 625\ 000\ 000 + 2.500\ 000\ 000 = 8\ 750\ 000\ 000\ \$^2$$

de donde puede verse que la incertidumbre asociada a los costos de producción es importante ( $5\ 625/8\ 750 = 0.64$ ) y que la del factor  $\lambda$  es despreciable desde un punto de vista práctico ( $625/8\ 750 = 0.07$ ).

Por otro lado, el coeficiente de variación de la variable  $B_n^{(s)}$  resulta con un valor menor que los de las variables de mayor importancia, lo cual no es evidente a priori.

Variable	$\mu$ [.]	$v$ [.]
$C_p$	\$10 000/ha	0.3
$\lambda$	- 1.0*	0.1
$\Omega$	0.5	0.2

TABLA 2.1 VALORES ASIGNADOS A LOS PARAMETROS

\* Este valor implica un exceso de mano de obra no calificada en la zona bajo estudio.

### 3. EL MODELO DE EVALUACION

En esta sección se presenta someramente un modelo de evaluación de proyectos en el cual los costos se tratan como variables aleatorias. El beneficio neto marginal de la situación "con proyecto" comparado con la situación "sin proyecto" se cuantificó mediante el indicador "valor presente neto de los beneficios asociados con el consumo agregado" ( $VPN_s$ ). En este caso, la expresión correspondiente es la siguiente:

$$\begin{aligned}
 VPN_s = & \sum_{t=t_i}^{t_f} \frac{\theta(t)}{(1+i)^t} \left[ \sum_{j=1}^J A_j (R_j P_j - \bar{C}_{pj}) \right] - \sum_{t=t_i}^{t_f} \frac{1}{(1+i)^t} \left[ \sum_{j=1}^J \hat{A}_j (\hat{R}_j \hat{P}_j - \hat{\bar{C}}_{pj}) \right] - \\
 & - \sum_{t=t_0}^{t'} \frac{\bar{C}_i(t)}{(1+i)^t} - \sum_{t=t_i}^{t_f} \frac{\bar{O}}{(1+i)^t} \quad (3.1)
 \end{aligned}$$

en donde,

$A_j$  = área sembrada con el cultivo  $j$

$R_j$  = rendimiento del  $j$ -ésimo cultivo

$P_j$  = precio de mercado del  $j$ -ésimo cultivo

$C_{pj}$  = costos de producción del  $j$ -ésimo cultivo

$\theta(t)$  = función de aprendizaje evaluada en el período  $t$

$J$  = número de cultivos

$C_i(t)$  = costos iniciales en el año  $t$

$O$  = costos periódicos de operación y mantenimiento del proyecto

$t_f$  = período en que termina la vida útil del proyecto

$t_i$  = período en que se inicia la operación del proyecto

$t'$  = período en que se termina la construcción del proyecto

$t_0$  = período en que se inicia la construcción del proyecto

$i$  = tasa de descuento

y los símbolos  $\hat{\cdot}$  y  $\bar{\cdot}$  sobre algunas de las variables indican que dichas cantidades se refieren a la producción actual y a que las variables ya han sido corregidas

en base a sus costos de oportunidad, respectivamente.

En la formulación de un modelo de primer orden, es posible generar expresiones para el cálculo de la esperanza y de la varianza del  $VPN_S$ . Aplicando la metodología indicada en la sección anterior y utilizando la ec. (3.1) se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} \mu[VPN_S] = & \sum_{t=t_i}^{t_f} \frac{\theta(t)}{(1+i)^t} \left\{ \sum_{j=1}^J A_j (R_j P_j - \mu[\bar{C}_{pj}]) \right\} - \left[ \sum_{t=t_i}^{t_f} \frac{1}{(1+i)^t} \left[ \sum_{j=1}^J \hat{A}_j (\hat{R}_j \hat{P}_j - \bar{\bar{C}}_{pj}) \right] - \right. \\ & \left. - \sum_{t=t_0}^{t'} \frac{\mu[\bar{C}_1(t)]}{(1+i)^t} - \sum_{t=t_i}^{t_f} \frac{\mu[\bar{O}]}{(1+i)^t} \right] \end{aligned} \quad (3.2)$$

$$\begin{aligned} \sigma^2[VPN_S] = & \left[ \sum_{t=t_i}^{t_f} \frac{\theta(t)}{(1+i)^t} \right]^2 \left\{ \sum_{j=1}^J A_j^2 \sigma^2[\bar{C}_{pj}] \right\} + \left\{ \sum_{t=t_0}^{t'} \sum_{l=t_0}^{t'} \frac{\sigma[\bar{C}_1(t)] \sigma[\bar{C}_1(l)]}{(1+i)^t (1+i)^l} \right\} + \\ & + \left[ \sum_{t=t_i}^{t_f} \frac{1}{(1+i)^t} \right]^2 \sigma^2[\bar{O}] \end{aligned} \quad (3.3)$$

en donde se supone que todos los conceptos de costo son inciertos pero probabilísticamente independientes unos de otros para cualquier período de tiempo. Por otro lado, también se supone que una misma componente se encuentra perfectamente correlacionada a lo largo del horizonte de evaluación.

Para cada alternativa resulta sencillo el cálculo de los dos parámetros anteriores. Los resultados pueden visualizarse fácilmente graficando, para cada proyecto, el valor esperado y la desviación estandar del  $VPN_S$  en un espacio coordinado  $\mu[.] - \sigma[.]$  (ver Fig. 3.1). En este caso, si en dicho espacio se trazan rectas de la forma:

$$\mu[VPN_S] - \beta \sigma[VPN_S] = 0 \quad (3.4)$$

para diferentes valores del parámetro  $\beta$ , será posible definir zonas de aceptación y rechazo de proyectos para diferentes niveles de riesgo. Por ejemplo, si se supone que la variable  $VPN_S$  tiene una distribución del tipo normal, entonces los proyectos cuyas coordenadas  $(\mu[VPN_S], \sigma[VPN_S])$  se localizan por debajo de la

recta con ecuación  $\mu[VPN_S] - 2\sigma[VPN_S] = 0$  tiene una probabilidad superior al 98 % de que su  $VPN_S$  resultante sea positivo\*.

En la Fig. 3.1 se muestran los resultados de este tipo de evaluación para las rehabilitaciones de dos zonas de riego. De la figura puede apreciarse que el proyecto II es aceptable según este tipo de evaluación pero que el proyecto I, a pesar de tener un alto valor esperado del  $VPN_S$ , tiene también un fuerte nivel de incertidumbre y por lo tanto debe de ser rechazado.

#### 4. COMENTARIOS FINALES

De los resultados obtenidos puede verse que la metodología propuesta es sumamente *pragmática y factible* de aplicar a problemas reales. Con el enfoque aquí sugerido, la única información que se necesita para incorporar los efectos de la incertidumbre en la estimación de costos son ciertas medidas de la variabilidad de cada una de las componentes (en forma de coeficientes de variación, por ejemplo) y de los niveles de correlación entre las variables. Para esto último, será importante entender a los fenómenos que controlan las relaciones entre las variables y, en última instancia, invocar hipótesis de independencia o de dependencia perfecta según sea el caso. Sin embargo, estas hipótesis se formularán para las componentes individuales de los costos y no

\* Dado que el valor presente neto es una suma de un número grande de variables, a pesar de que se desconozca la forma de la función de densidad de probabilidades para cada beneficio neto en cada uno de los períodos, en virtud del Teorema del Límite Central es muy razonable suponer que la variable VPN seguirá muy de cerca un comportamiento probabilístico de tipo normal [1]. Sin embargo, si no se desea invocar esta hipótesis de normalidad, se puede utilizar el Teorema de Chebyshev para efectuar el cálculo de probabilidades en forma aproximada. Para el caso de  $\beta=2$ , esta aproximación conduce a un valor de la probabilidad de éxito igual a 0.75.

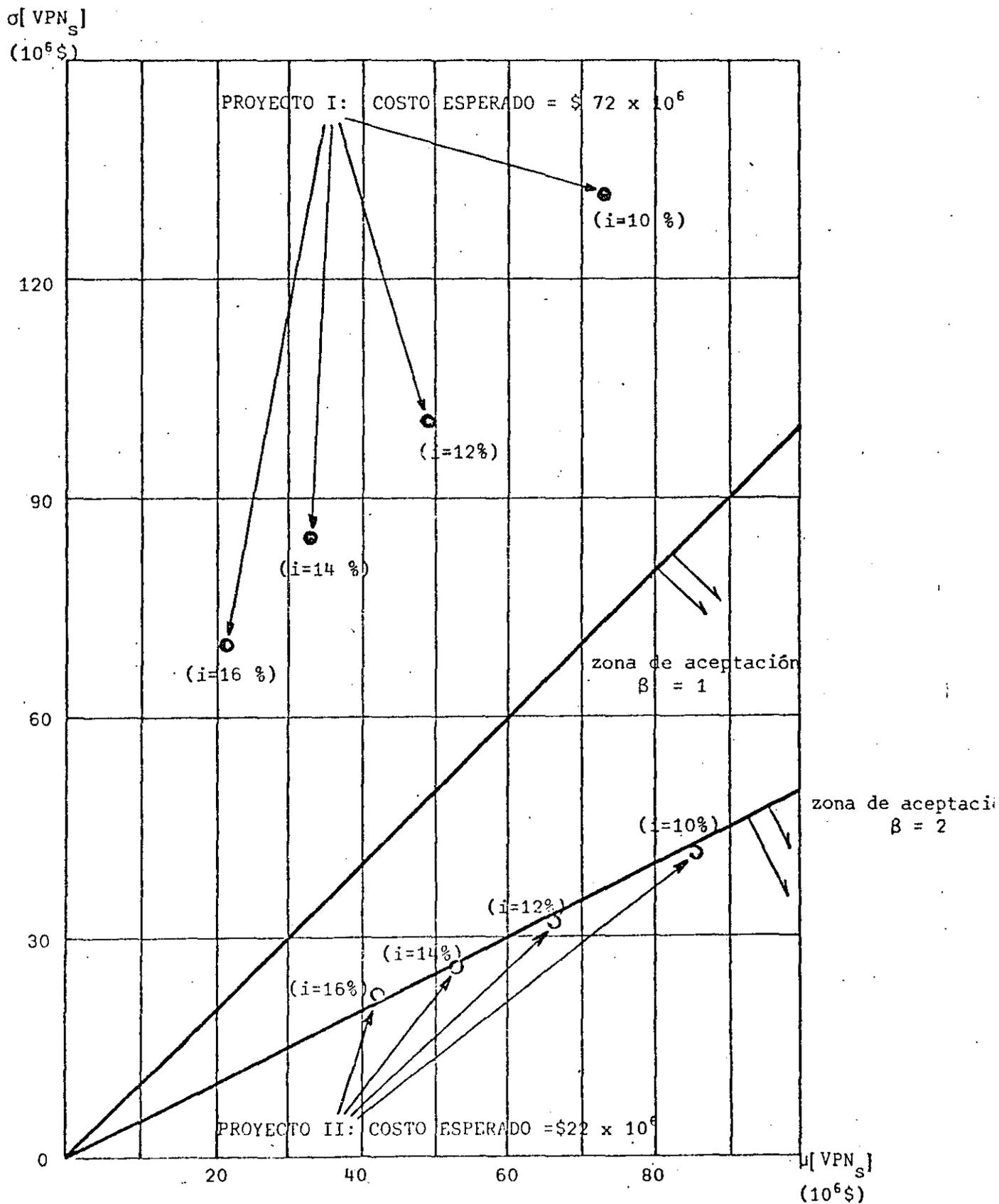


FIG. 3.1 RESULTADOS DE LA EVALUACION DE LAS REHABILITACIONES DE DOS ZONAS DE RIEGO

para los flujos netos de capital\*. Aunque sea de manera aproximada, los efectos de la correlación deben de incluirse en los análisis. En algunas ocasiones, será razonable aceptar la hipótesis de independencia probabilística para algunas de las variables y para un momento dado, pero en general no será posible argumentar esta hipótesis para los costos incurridos durante varios períodos de tiempo. Es decir, debido a que estas variables pueden ser funciones de las mismas componentes durante diferentes períodos de tiempo, en general la correlación puede ser alta y el no tomarla en cuenta puede conducir a variabilidades de las eficiencias de las alternativas mucho menores que las verdaderas y por lo tanto del lado de la inseguridad.

Vale la pena mencionar nuevamente que los resultados obtenidos con este tipo de análisis constituyen aproximaciones a las soluciones exactas. El grado de aproximación dependerá del grado de no linealidad de las funciones y de la forma que tengan las funciones de densidad de probabilidades de las variables. Por ejemplo, si se tiene una función lineal, de variables gaussianas entonces los resultados obtenidos por medio de un análisis de primer orden coincidirán con los exactos. Al ir perdiendo la función su carácter lineal, al irse alejando las funciones de probabilidad de distribuciones simétricas y unimodales, y al ir aumentando la incertidumbre de las variables, los resultados se van haciendo cada vez menos exactos. Sin embargo, el análisis de problemas prácticos dentro de un marco de incertidumbre tiene necesariamente que apoyarse en enfoques pragmáticos como el señalado en este trabajo, principalmente en aquellas situaciones en que la información sea escasa o poco confiable.

\* Los modelos probabilísticos propuestos a la fecha se basan en la hipótesis de que "se conoce" la variabilidad de los flujos netos de capital para cada uno de los períodos que definen el horizonte de evaluación. Sin embargo, esta suposición es poco realista en la práctica pues aunque sí es factible estimar la incertidumbre de las componentes individuales que integran a cada uno de los costos, no es sencillo efectuar dicha estimación para los flujos de capital los cuales, en algunos casos, pueden ser funciones complejas de sus componentes.

## 5. REFERENCIAS

- [1] Benjamín, J.R. y C.A. Cornell, "Probability, Statistics, and Decision for Civil Engineers", Mc Graw-Hill Book Co., 1970.
- [2] Cornell, C.A., "First-Order Analysis of Model and Parameter Uncertainty", International Symposium on Uncertainties in Hydrologic and Water Resource Systems, Universidad de Arizona, Tucson, Dic. 1972.
- [3] Cornell, C.A., "Notes on First-Order Uncertainty Analysis", notas no publicadas, Insituto Tecnológico de Massachusetts, Cambridge, 1971.
- [4] Díaz Padilla, J., "Análisis de Inversiones Bajo Condiciones de Incertidumbre", XIV Convención Nacional del IMIQ, Guadalajara, Jal., Nov. 1974.
- [5] F.O.A., Consultores, "Modelos de Reglamentación y de Decisión Bajo Incertidumbre para la Resolución de Solicitudes de Uso del Agua", informe interno a la S.R.H., Subsecretaría de Planeación, Dir. Gral. de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación, Dic. 1974.
- [6] F.O.A., Consultores, "Evaluación y Selección de Inversiones en Recursos Hidráulicos para el Valle del Guadiana, Dgo.", informe interno a la S.R.H., Subsecretaría de Planeación, Dir. Gral. de Planeación, Dic. 1974.
- [7] Mao, J.C.T., "Quantitative Analysis of Financial Decisions", Capítulo 8, Investment Decisions Under Conditions of Uncertainty, The Macmillan Co., 1969.
- [8] Oakford, R.V., "Capital Budgeting", Capítulo 11, Probabilistic Treatment of Uncertainty, The Ronald Press Co., 1970.
- [9] Raiffa, H., "Decision Analysis, Introductory Lectures on Choices Under Uncertainty", Addison-Wesley Press Inc., 1968.



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

INTRODUCCION

METODOLOGIA DE LA CIENCIA E INGENIERIA DE SISTEMAS

ALGUNOS PROBLEMAS, RESULTADOS Y PERSPECTIVAS

PAPEL DE LA PLANEACION EN EL PROCESO DE CONDUCCION

CONSIDERACIONES PARA ELABORAR UN PROGRAMA DE DESARROLLO RURAL

SISTEMA DE PROTECCION Y RESTABLECIMIENTO DE LA CIUDAD

DE MEXICO FRENTE A DESASTRES

DR. OVSEI GEJMAN

NOVIEMBRE, 1985.

## INTRODUCCION

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

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

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

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

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

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

LINE TO PUT THE TITLE OF THE PAPER

Dr. O. Gelman

Instituto de Ingeniería, Investigador

Centro de Investigación Prospectiva, Fundación Javier Barros Sierra, Asesor

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

Abstract

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

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

Resumen

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

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

INTRODUCCION: Metodología y Ciencia de Sistemas

El papel de la metodología en la ciencia y la ingeniería

La poca popularidad de la metodología como resultado de:

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

mación o traslación de los métodos conocidos, etc.

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

Un cierto 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 "nатурo-filosófico" al "teórico-cognoscitivo":

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

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

- Bunge: es necesario un "Credo" en los cruces y callejones sin salida
- Bohr: llamado por una teoría "loca", como resultado de un cambio en el estilo de pensamiento
- 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, matematización de las ciencias, modelado

**La insuficiencia de las respuestas**

- la cibemética como un enfoque unificado para el estudio de los fenómenos de control y comunicación en animales y máquinas (nueva presentación de los objetos de estudio)

- investigación de operaciones en sus primeras etapas como un arte de construcción de modelos específicos para resolver problemas de optimización y toma de decisiones

- la TGS de Bertalanffy: creencia en leyes isomórficas generales dependientes de la estructura y la organización de los sistemas e independientes de la sustancia del sistema (competencia, homeostasis, cinética generalizada con el modelo de sistema abierto, etc)

- la TGS como una metateoría de modelado: Klir

- la TGS como una teoría matemática de sistema abstracto: Mesarovic

- la TGS como una teoría de modelos isomórficos: Rapoport

- la ingeniería de sistemas para los problemas de diseño y proyección de los sistemas de gran escala (Chestnut, Hall), como medio de planificación y organización de las diferentes actividades, empezando con la definición y el planteamiento del problema, su solución, terminando con su implantación

**Dos conclusiones**

- el desarrollo de todas estas variantes de la TGS no ha disminuído, sino antes, enfatizado la necesidad de estudiar metodología en general y en particular, llevar a cabo estudios específicos sobre qué es un sistema

- el paradigma sistémico como base de una nueva "revolución científica" (Kuhn) está detrás de todos estos desarrollos: foco de la ciencia y la tecnología contemporáneos

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

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

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

- el doble papel que juegan las teorías científicas como medio y, al mismo tiempo, como 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: un conjunto ordenado de proposiciones interconectadas (axiomas, hipótesis, postulados, leyes, etc) como resultado de:*

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

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

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

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

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

### *La teoría científica como una estructura funcional*

- la teoría bajo el enfoque integral: la idea de su descomposición funcional
- el estudio de la estructura "externa" de la teoría como fuente de obtención de sus objetivos globales, considerando el papel y lugar de la teoría dentro de un sistema más general del conocimiento científico; objetivos tales como el estudio y análisis de:
  - + el comportamiento (funcionamiento) y propiedades del objeto
  - + su estructura
  - + el comportamiento y propiedades de sus elementos o componentes
  - + cognición de los mecanismos y procesos responsables del comportamiento y de las propiedades del sistema en su totalidad
- estos fines son alcanzados a través de determinados funcionamientos de la teoría como:
  - + obtención y descripción de hechos
  - + organización de los hechos (selección, unificación, sistematización, organización, etc)
  - + inferencia de principios y leyes empíricas
  - + explicación, predicción y control
  - + obtención de nuevo conocimiento
  - + recomendación de esquemas efectivos para el cálculo y la solución de problemas
  - + construcción de representaciones ontológicas de la realidad

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

- + "el campo de estudio": la formulación del problema, su traducción, reducción a una forma estándar, su generalización o reducción, formulación de nuevos problemas, etc
- + "el campo objetivo" - "sujeto": para extraer un fragmento definido del mundo obje-

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

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

(6)

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

- clasificación de los proyectos
  - diseño de proyectos estándar
- La construcción de la teoría de sistema general como un proyecto de ingeniería*
- análisis de las variantes conocidas de la 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

Planes para el futuro

*Diseño de proyectos*

estudios sobre la descomposición de los proyectos

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

fomalización de ciertas etapas

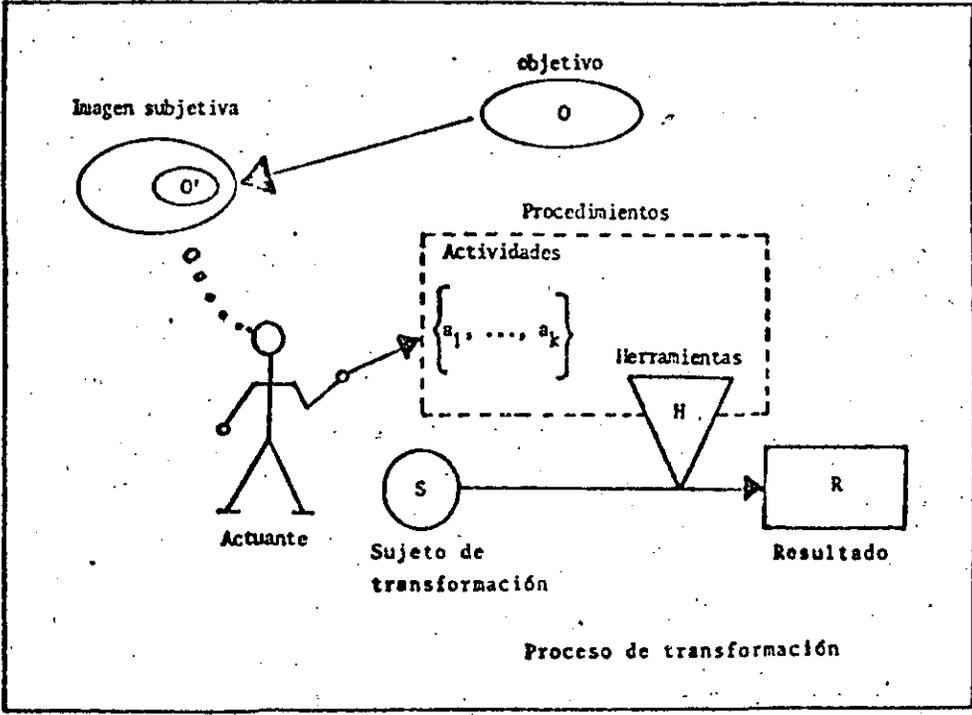


Fig 1 Paradigma de la actividad humana (primera aproximación)

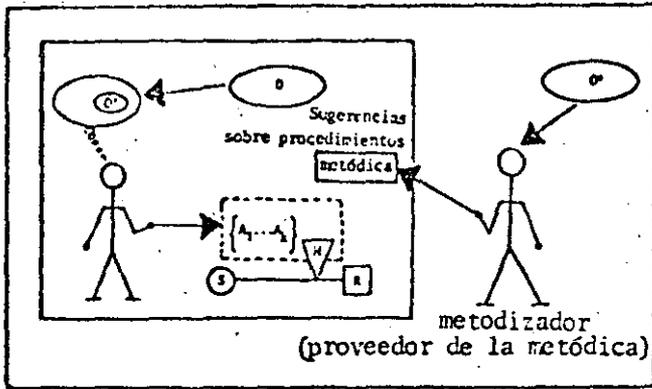


Fig 2 Papel del metodizador en el paradigma de la actividad humana

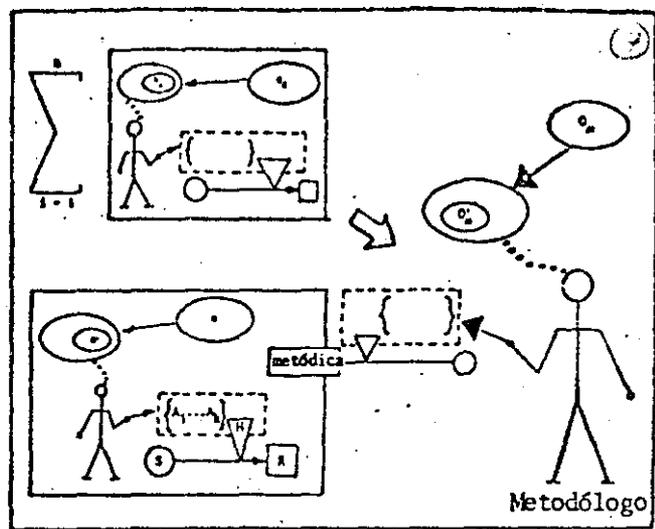


Fig 3 Papel del metodólogo en el paradigma de la actividad humana

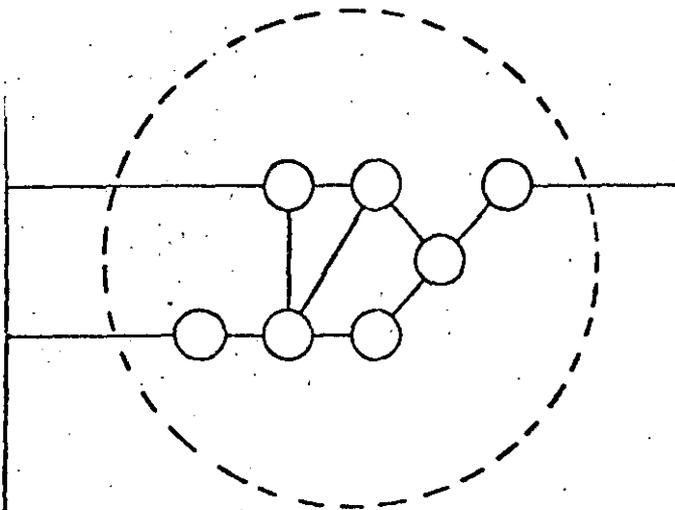


Fig 4 Representación "C" del sistema

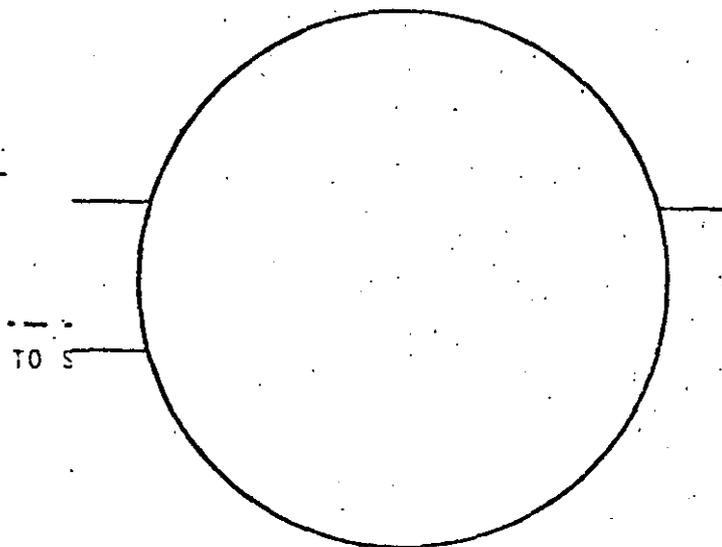


Fig 5 Representación "W" del sistema

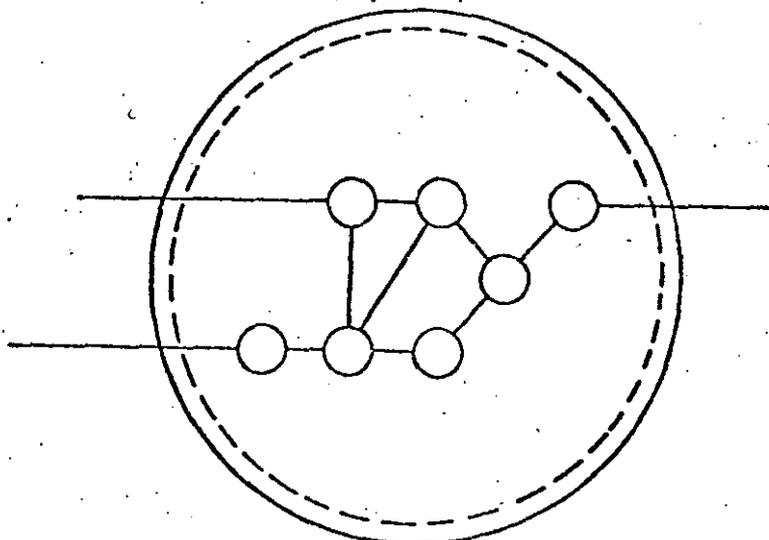


Fig 6 Configuración de las representaciones complementarias del sistema

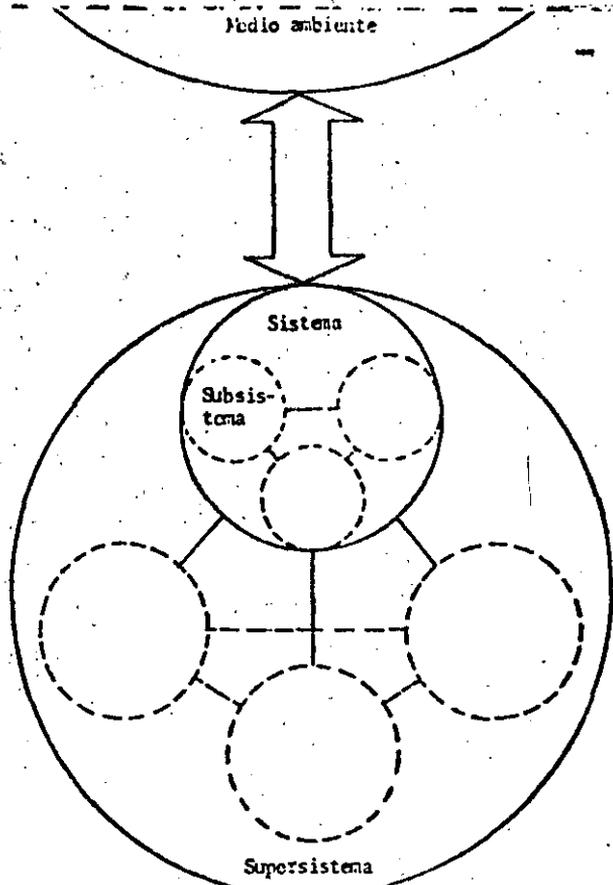


Fig 7 Paradigma de las relaciones entre sub-sistemas, sistemas, supersistema y medio ambiente

8

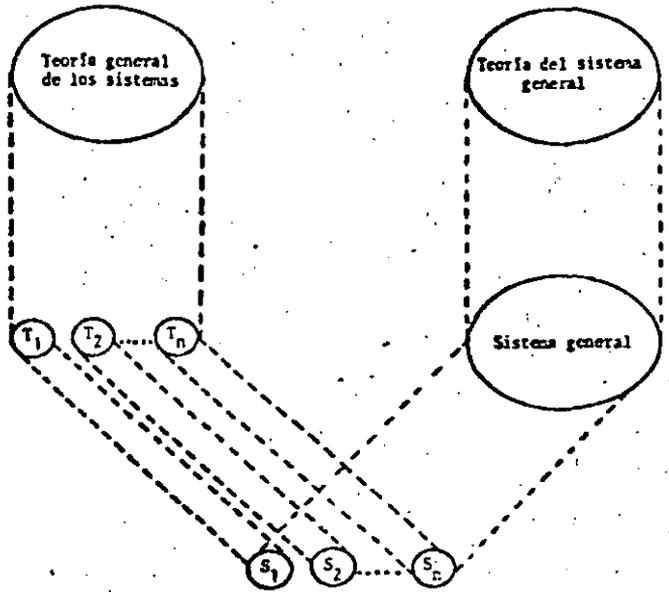


Fig 9 Paradigma para la construcción de dos diferentes conceptos: teoría general de los sistemas y teoría del sistema general

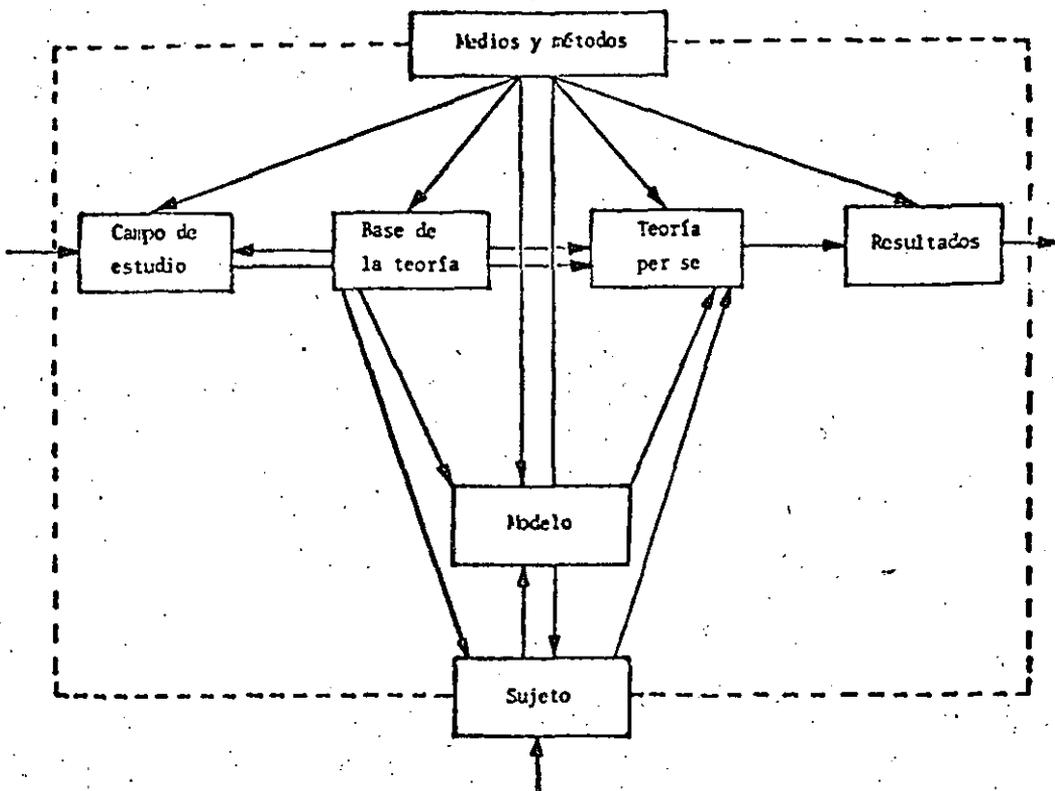
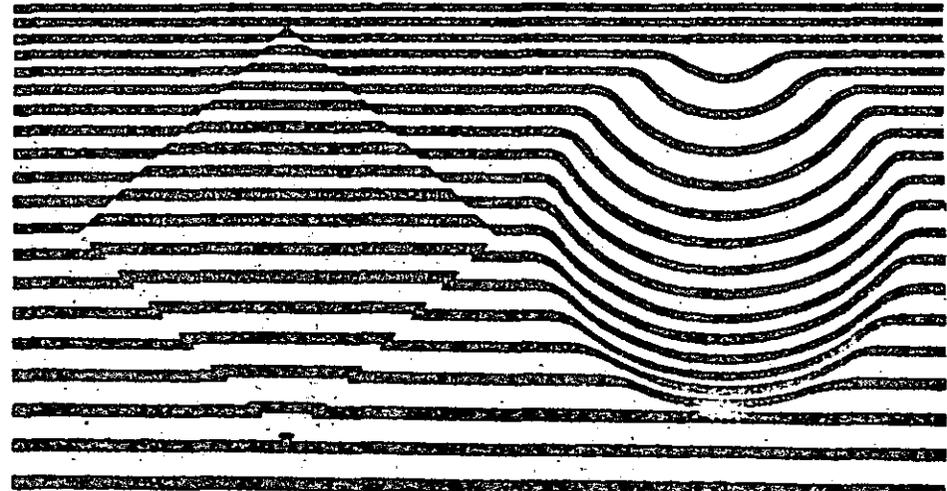


Fig 8 Diagrama de la estructura funcional de la teoría científica (primera aproximación)

# ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERIA

*Revista*



VOL. 1 NUM. 4

JUNIO 1982

MEXICO

**LA PLANEACION COMO UN PROCESO BASICO EN LA CONDUCCION\***

O. GELMAN y G. NEGROE

*Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510 México, D.F.**(Recibido febrero 26, 1982; en versión revisada, agosto 6, 1982).***Summary**

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

**Resumen**

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

**1. Introducción**

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

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

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

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

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

## 2. Enfoque Sistémico

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

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

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

## 2.1 Construcción por composición

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

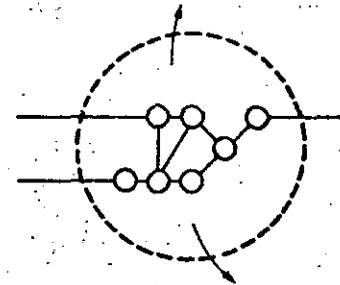


FIG. 1. Representación "compuesta" del sistema a través del proceso de construcción por composición

## 2.2 Construcción por descomposición

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

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

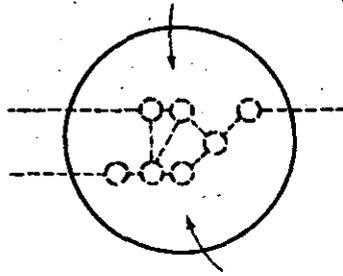


FIG. 2. Representación "entera" del sistema a través del uso del proceso de construcción por descomposición

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

### 3. Análisis del proceso de conducción

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

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

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

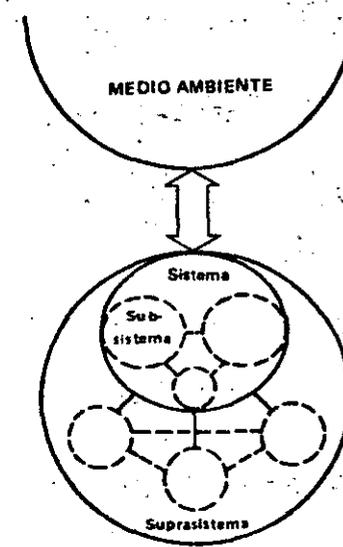


FIG. 3. Representación de las relaciones entre el suprasistema, sistemas y subsistemas, y el medio ambiente.

actual al deseado (Fig. 4).

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

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

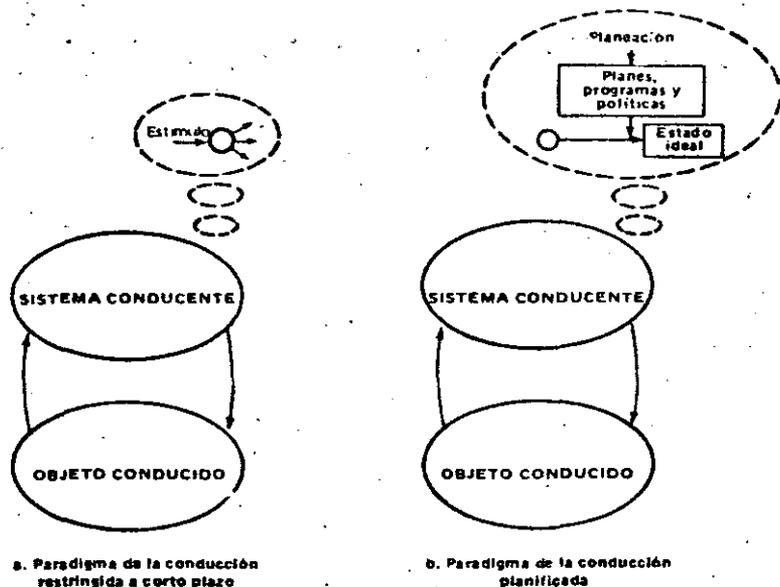


FIG. 4. PARADIGMAS DEL PROCESO DE CONDUCCION

4. Representación funcional del sistema conducente

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

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

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

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

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

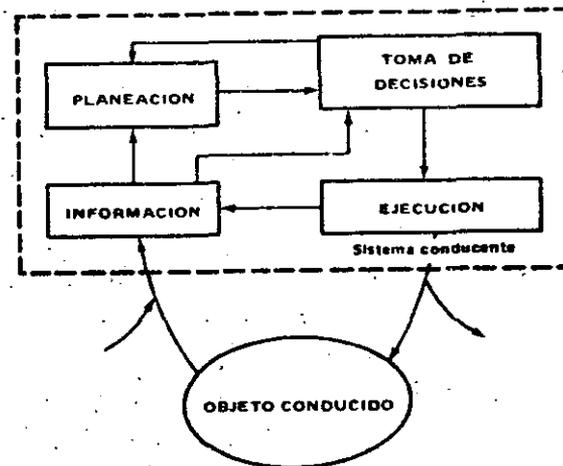


FIG. 5. REPRESENTACION FUNCIONAL DEL SISTEMA CONDUENTE

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

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

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

## 5. Estructura del proceso de planeación

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

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

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

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

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

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

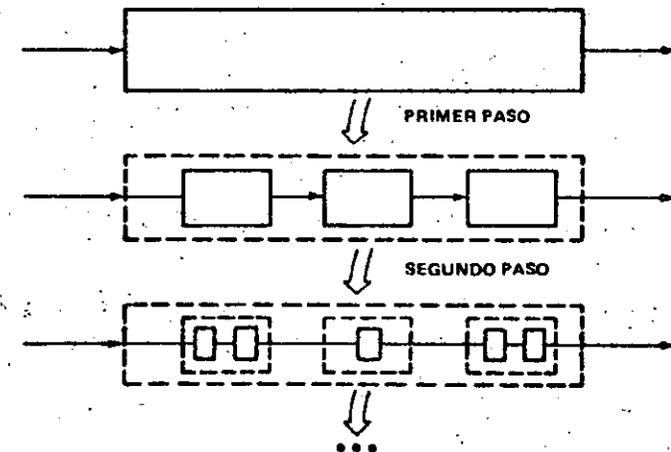


FIG. 6. ESQUEMA DEL USO DEL PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN POR DESCOMPOSICIÓN

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

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

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

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

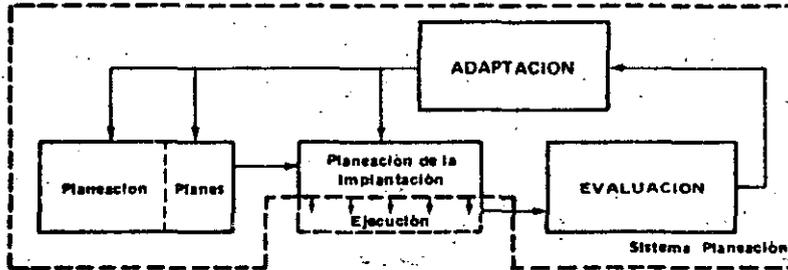


FIG. 7. ESTRUCTURA DEL PROCESO DE PLANEACION (PRIMER PASO)

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

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

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

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

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

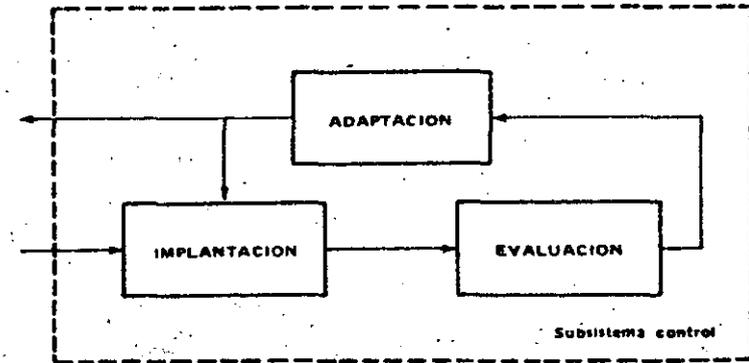


Fig. 8. ESTRUCTURA DEL SUBSISTEMA CONTROL

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

problemas planteados.

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

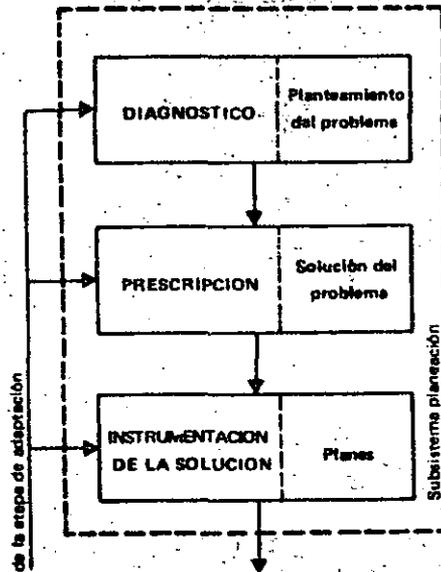


FIG. 9. ESTRUCTURA DEL SUBSISTEMA PLANEACION

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

con su suprasistema<sup>1</sup>, con sus subsistemas y con otros objetos (II), y el otro por las relaciones entre el sistema conducente con su suprasistema y con otros sistemas conducentes (III). Es necesario destacar la importancia de definir al objeto conducido como sistema; esto es, visualizarlo como parte del suprasistema, relacionado con otros objetos, así como especificar sus subsistemas. Además, es importante su estudio para conocer sus estados anteriores y actual, cuya comparación con su estado normativo permite detectar y evaluar discrepancias y analizar sus causas. Además, con un análisis de las causas de las posibles discrepancias futuras entre los pronósticos de los estados del sistema y su estado deseado, es posible identificar y plantear los problemas actuales y futuros. Estas actividades que constituyen la etapa del diagnóstico se presentan en la Fig. 11.

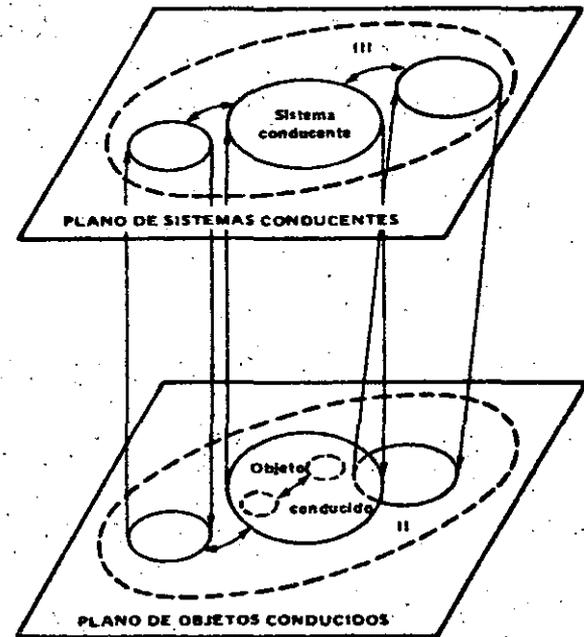


FIG. 10. PARADIGMA PARA LA IDENTIFICACION DE TRES CLASES DE PROBLEMAS

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

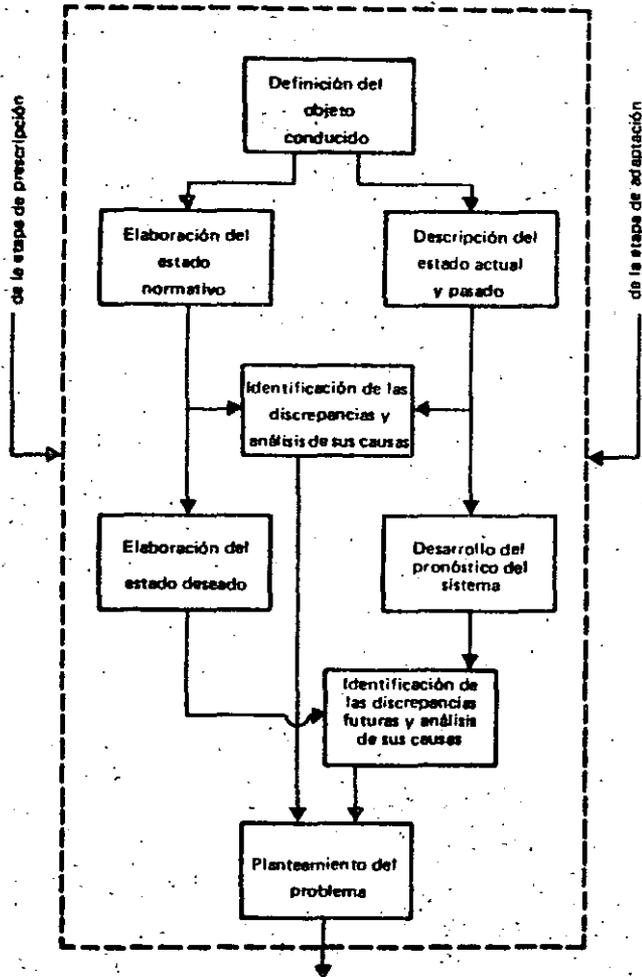


FIG. 11. ESQUEMA DE LA ESTRUCTURA DE LA ETAPA DE DIAGNOSTICO

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

- Construcción de modelos<sup>1</sup> para obtener y simular la solución del problema, así como para desarrollar en el diagnóstico el pronóstico del sistema.
- Definición de las distintas restricciones y formulación de criterios.
- Búsqueda de soluciones.
- Evaluación de las alternativas, a través de las diferentes técnicas de optimización y modelado, para seleccionar las factibles y mejorar según los criterios desarrollados.

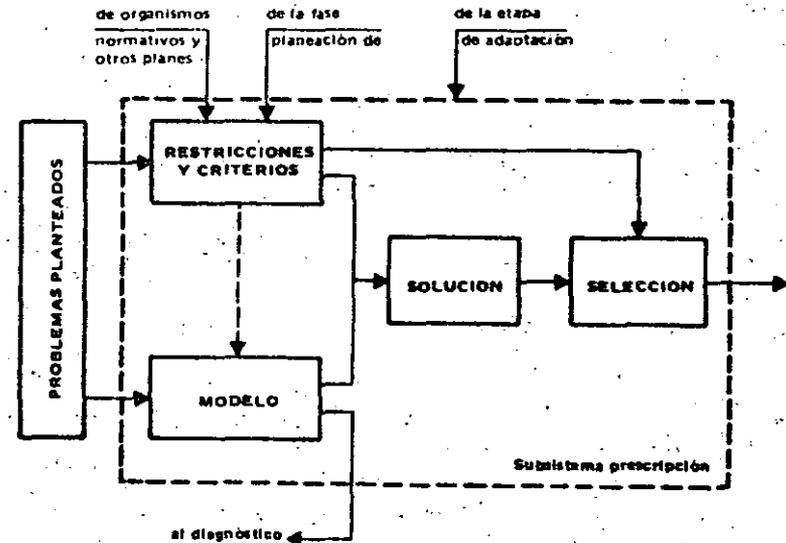


FIG. 12. ESTRUCTURA DE LA ETAPA PRESCRIPCION

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

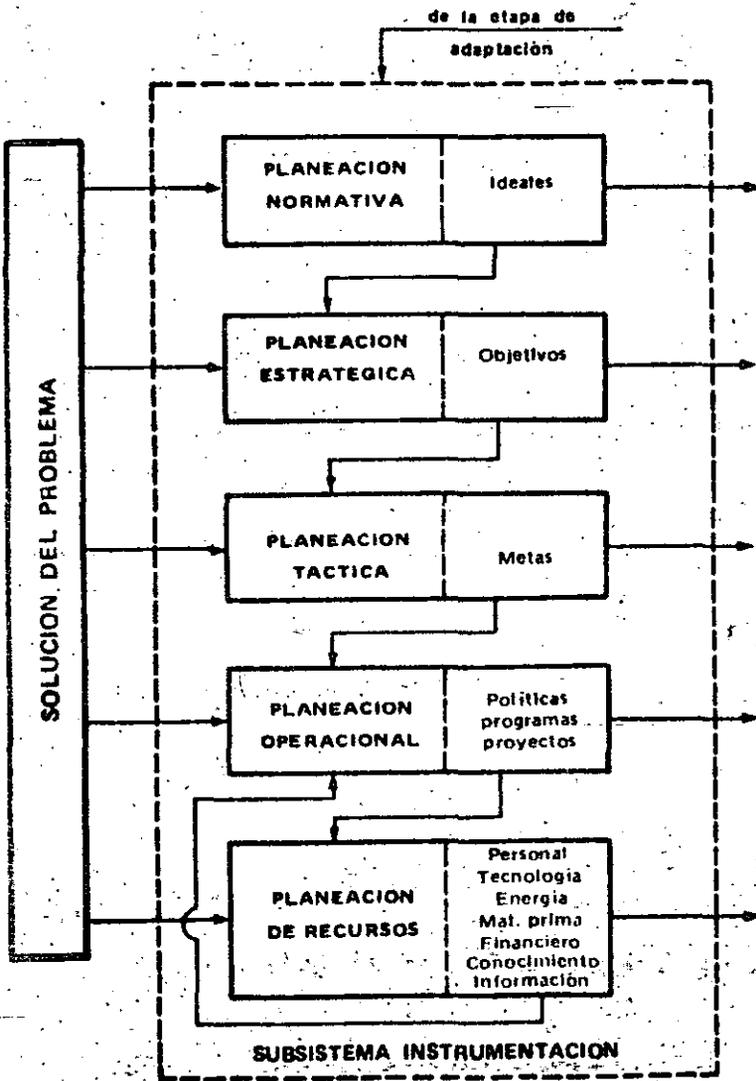


FIG. 13. ESTRUCTURA DE LA ETAPA DE INSTRUMENTACION DE LA SOLUCION

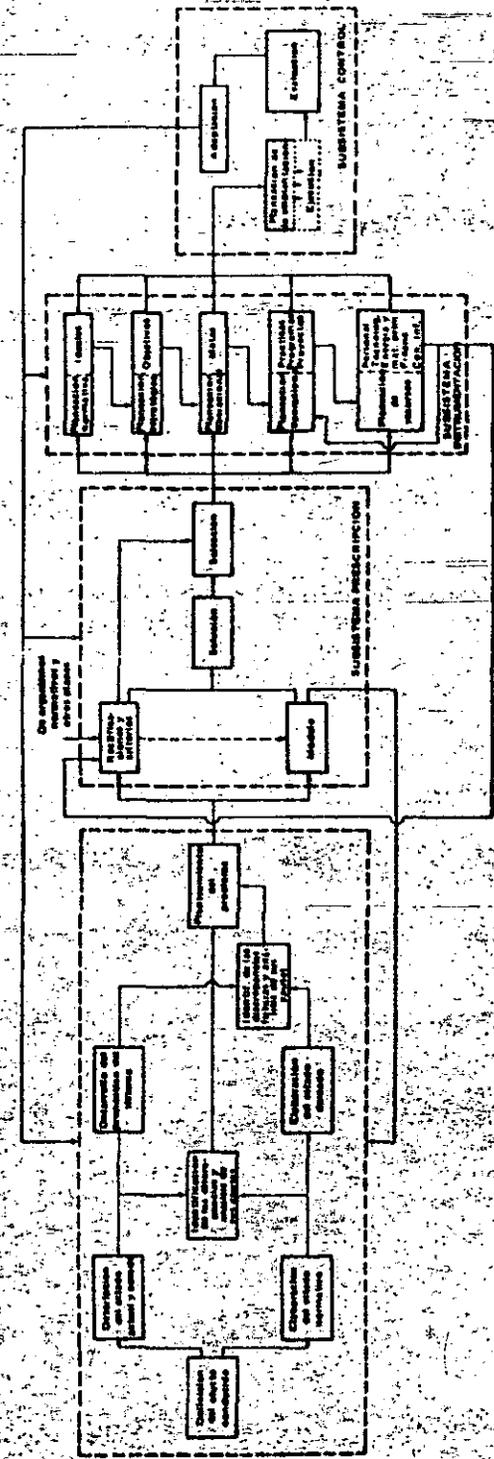


FIGURA 14: ESQUEMA GENERAL DEL PROCESO DE PLANEACION

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

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

## 6. Referencias

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

**BOLETIN**

---

**instituto mexicano  
de planeación  
y  
operación de sistemas**

---

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

Ovsei Gelman  
Gonzalo Negroe

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

Juan M. Anchondo Adalid

18

---

**DIRECTOR****Sergio Zúñiga Barrera**

---

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

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

SUS ENVIOS LLEGARAN MAS RAPIDO UTILIZANDO EL SERVICIO POSTAL AEREO

---

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

---

## PAPEL DE LA PLANEACION EN EL PROCESO DE CONDUCCION

Ovsei Gelman\*  
Gonzalo Negroe\*\*

### 1. INTRODUCCION

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

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

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

## 2. CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL USO DEL ENFOQUE SISTEMICO

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

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

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

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

## 3. ANALISIS DEL PROCESO DE CONDUCCION

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

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

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

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

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

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

#### 4. REPRESENTACION FUNCIONAL DEL SISTEMA CONDUENTE

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

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

## 5. PROCESO DE SOLUCION DE PROBLEMAS Y SU PLANTEAMIENTO

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

Es posible especificar algunas causas que originan dicha situación:

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

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

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

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

que permitan definir el concepto problema. Al respecto, Ackoff menciona que los problemas no existen, sino que tan sólo son producto de nuestra imaginación, y que si ellos existieran no tendrían solución; James y Dewey a su vez consideran que los problemas se buscan, que no están dados al tomador de decisiones, que se extraen de estados no estructurados de confusión, problemática; 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 describa la problemática, y el otro teórico, para conceptualizar los sistemas involucrados a fin de interpretar la problemática e identificar los problemas que la originan. Como se mencionó, para visualizar estos sistemas se define el papel del sistema en su suprasistema y el de los subsistemas en los que es factible descomponerlo. Estos papeles se interpretan como objetivos que debe cumplir el sistema.

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

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

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

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

## 6. ESTRUCTURA DEL PROCESO DE PLANEACION

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## 7. DEFINICION DEL OBJETO CONDUCCION

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

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

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

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

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

Es importante anotar que una vez conceptualizado y definido el objetivo conducido, a través de la representación de la realidad, será sujeto de análisis mediante modelos 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 mejoren el proceso de conducción.

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

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

## BIBLIOGRAFIA

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

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

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

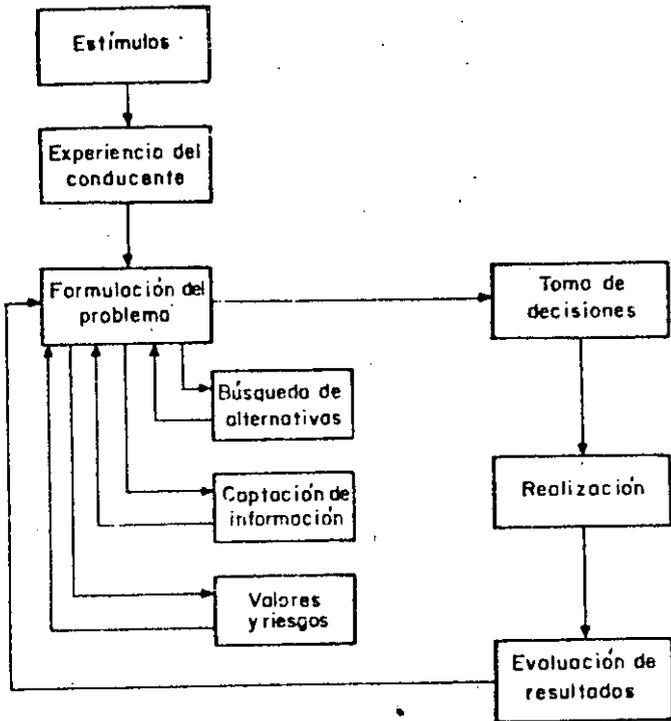


Fig 1. Proceso de toma de decisiones según Morris

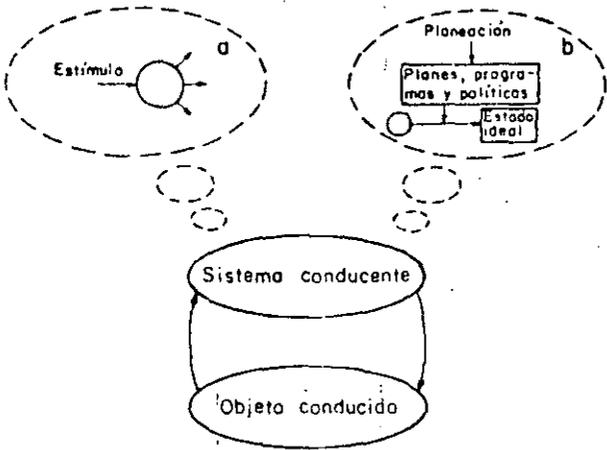


Fig 2. Paradigmas del proceso de conducción a) conducción correctiva, b) conducción planificada

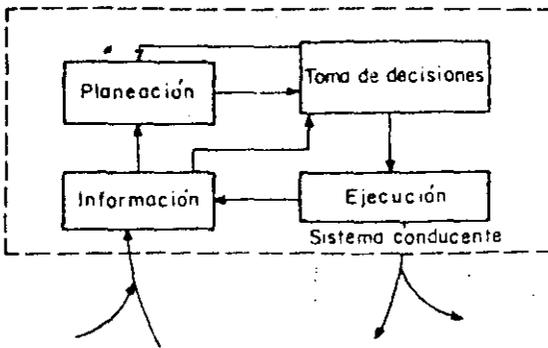


Fig 3. Representación funcional del sistema conducente



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

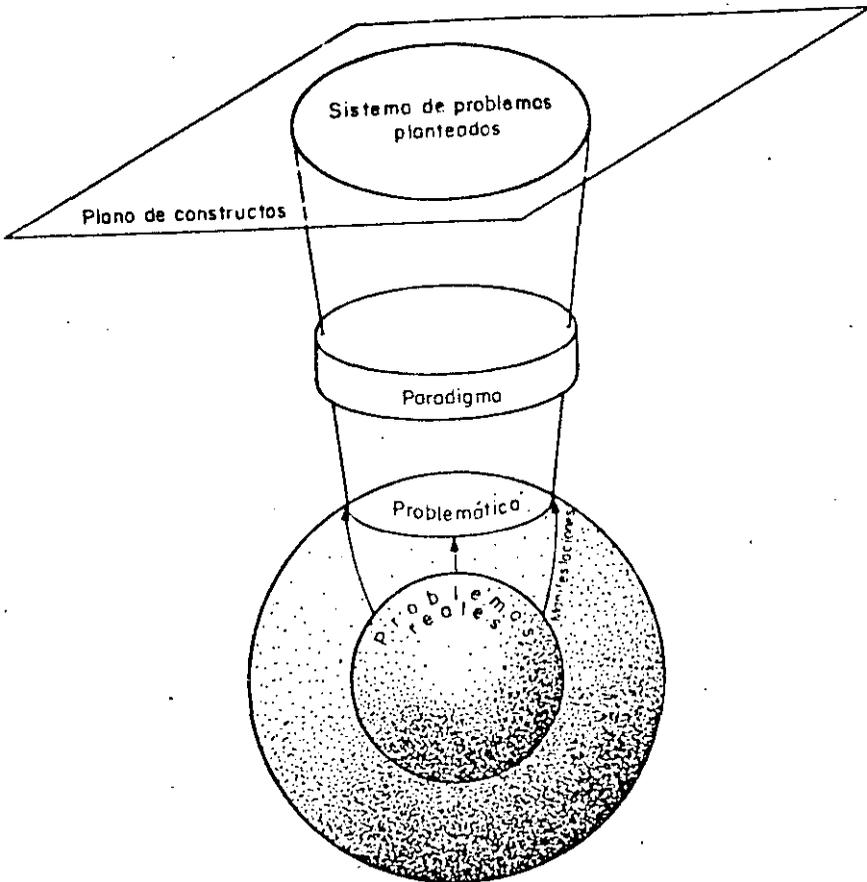


Fig 5. Esquema que permite visualizar el sistema de problemas reales y planteados

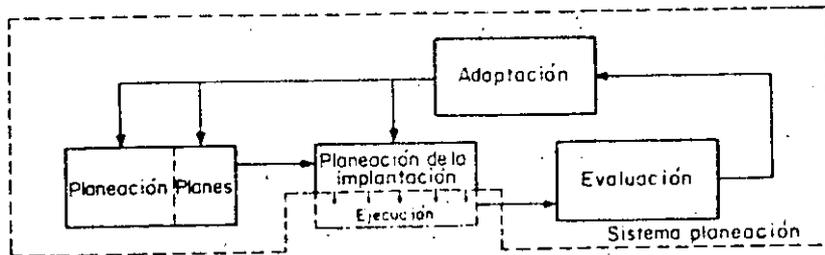


Fig 6 Estructura del proceso de planeación (primer paso)



(17)

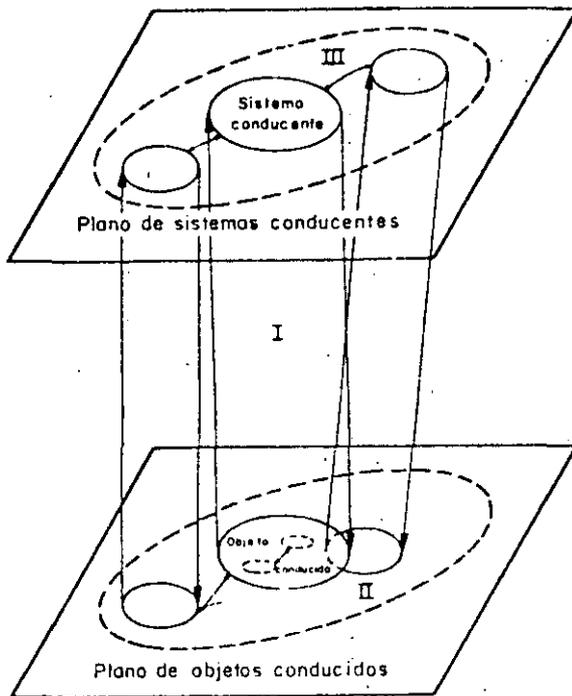


Fig 8. Paradigma para la identificación de tres clases de problemas.

## CONSIDERACIONES PARA ELABORAR UN PROGRAMA DE DESARROLLO RURAL

LINEAS DE PENSAMIENTO DE LA PARTE

Dr. Ovsei Gelman

Investigador, Instituto de Ingeniería, UNAM

Asesor, Centro de Investigación Prospectiva, Fundación Javier Barros Sierra

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

### Abstract

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

### Resumen

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

### El papel del sector rural en el desarrollo del país

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

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

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

### Algunos objetivos del desarrollo rural

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

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

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

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

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

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

### Hacia un programa de la transformación socioeconómica de las áreas rurales

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

Parece más oportuno dedicar el resto del

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

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

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

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

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

El concepto de ciudad dispersa

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

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

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

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

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

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

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

\*\*\*

TO SERVE AS GUIDE

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

Referencias

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

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

O Gelman\*\*      S Macias\*\*\*

RESUMEN

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

ABSTRACT:

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

---

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

\*\* Investigador Titular, Instituto de Ingeniería UNAM

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

## INTRODUCCION

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

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

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

---

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

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

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

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

---

\* Por ejemplo, la Ciudad de México recibe agua de 13 sistemas diferentes, por un total de más de 40 m<sup>3</sup>/s y se distribuye a través de 540 Km de tubería primaria y 11700 Km de tubería secundaria; por otra parte el sistema de drenaje de la ciudad cuenta con 486,000 coladeras pluviales, 11 500 Km de atarjeas y 250,000 pozos de visita.

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

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

\*\*\*\* La Ciudad de México produjo el 44% del PIB, el 52,15% de la producción industrial y el 54.7% de los servicios nacionales en 1975 (Plan de Desarrollo Urbano, DDF, enero 1980)

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

4. La alta propensión de la ciudad a calamidades tales como sismos\*, inundaciones\*\*, hundimientos, contaminación, etc.
  
5. La insuficiencia e ineficiencia de las medidas convencionales de atención de desastres, por su carácter fragmentario, aislado y disperso, debido, por un lado, al improvisado desarrollo (orientado a resolver los problemas inmediatos) de los cuerpos dedicados a estas tareas, y por otro, a que no existen normas, leyes y reglamentos explícitos que regulen sus actividades y establezcan responsabilidades.
  
6. La respuesta de la ciudad a las calamidades ha estado orientada hacia las necesidades inmediatas de socorro, limitándose a acciones correctivas durante la ocurrencia del desastre y relegando las importantes tareas de previsión y planeación.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

---

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

## REFERENCIAS

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

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

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

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

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

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

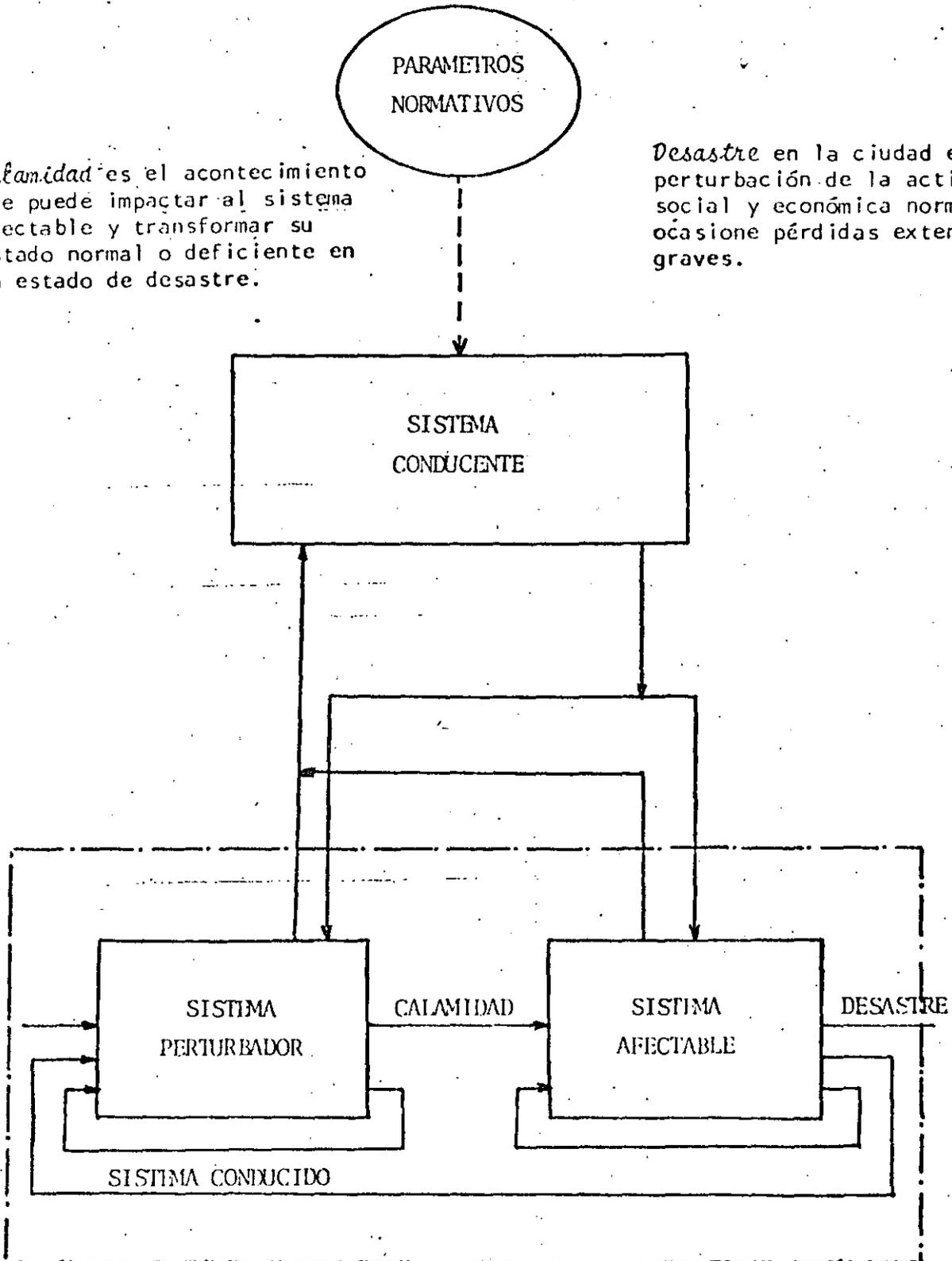
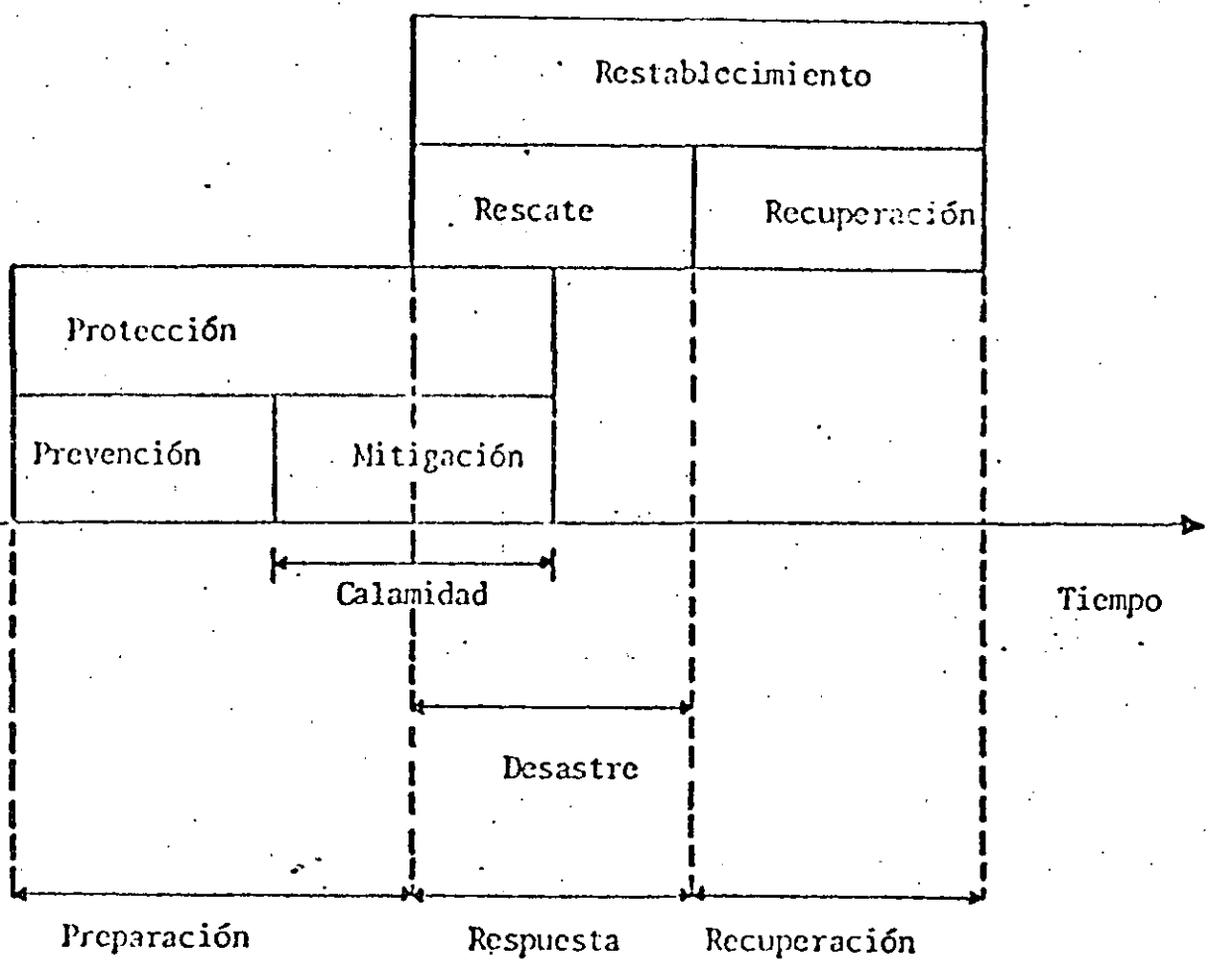


FIG 1 MARCO CONCEPTUAL

Prevención: impedir o disminuir la ocurrencia de las calamidades

Mitigación: disminuir los efectos de los impactos de las calamidades



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

Recuperación: reconstruir y mejorar el sistema afectable

FIG 2 OBJETIVOS DEL SIPROR EN RELACION AL TIEMPO

## I. HIDROMETEOROLOGICOS

56

16

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

## II. GEOLOGICOS

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

## III. FISICO QUIMICOS

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

## IV. SANITARIOS

1. EPIDEMIAS
2. PLAGAS

## V. PROVOCADOS POR EL HOMBRE

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

## VI. INTERRUPCION DE SERVICIOS

FIG 3 IDENTIFICACION Y CLASIFICACION DE CALAMIDADES POR SU ORIGEN

\* Calamidades permanentes en la Ciudad de México

## SISTEMAS VITALES

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

## SISTEMAS DE APOYO

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

## SISTEMAS COMPLEMENTARIOS

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

---

### COMPONENTES DE SERVICIOS DE SOPORTE DE VIDA

---

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

FIG 4. SISTEMAS DE SUBSISTENCIA Y SERVICIOS DE SOPORTE DE VIDA

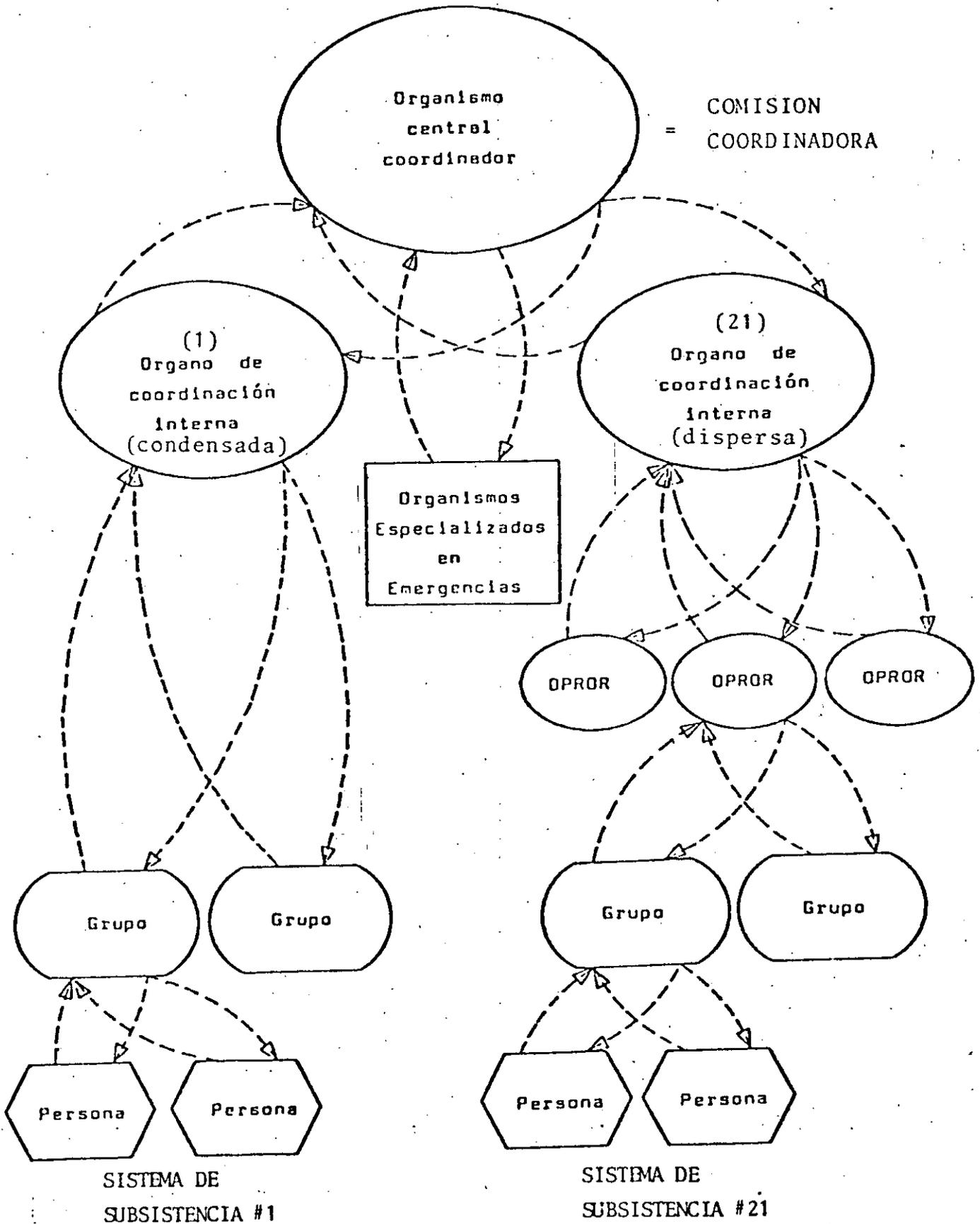


FIG 5 ESTRUCTURA JERARQUICA DEL SIPROR (ACTUALIZADA)

## INTEGRACION

### PRESIDENTES

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

### VOCALES

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

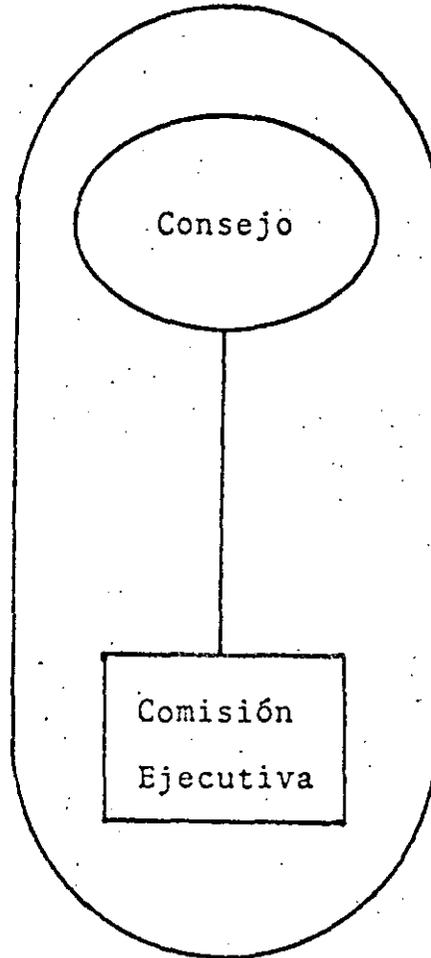
### REPRESENTANTES

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

## DIRECCION Y ASESORIA.

### SUBDIRECCIONES

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



## FUNCIONES Y ATRIBUCIONES

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

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

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

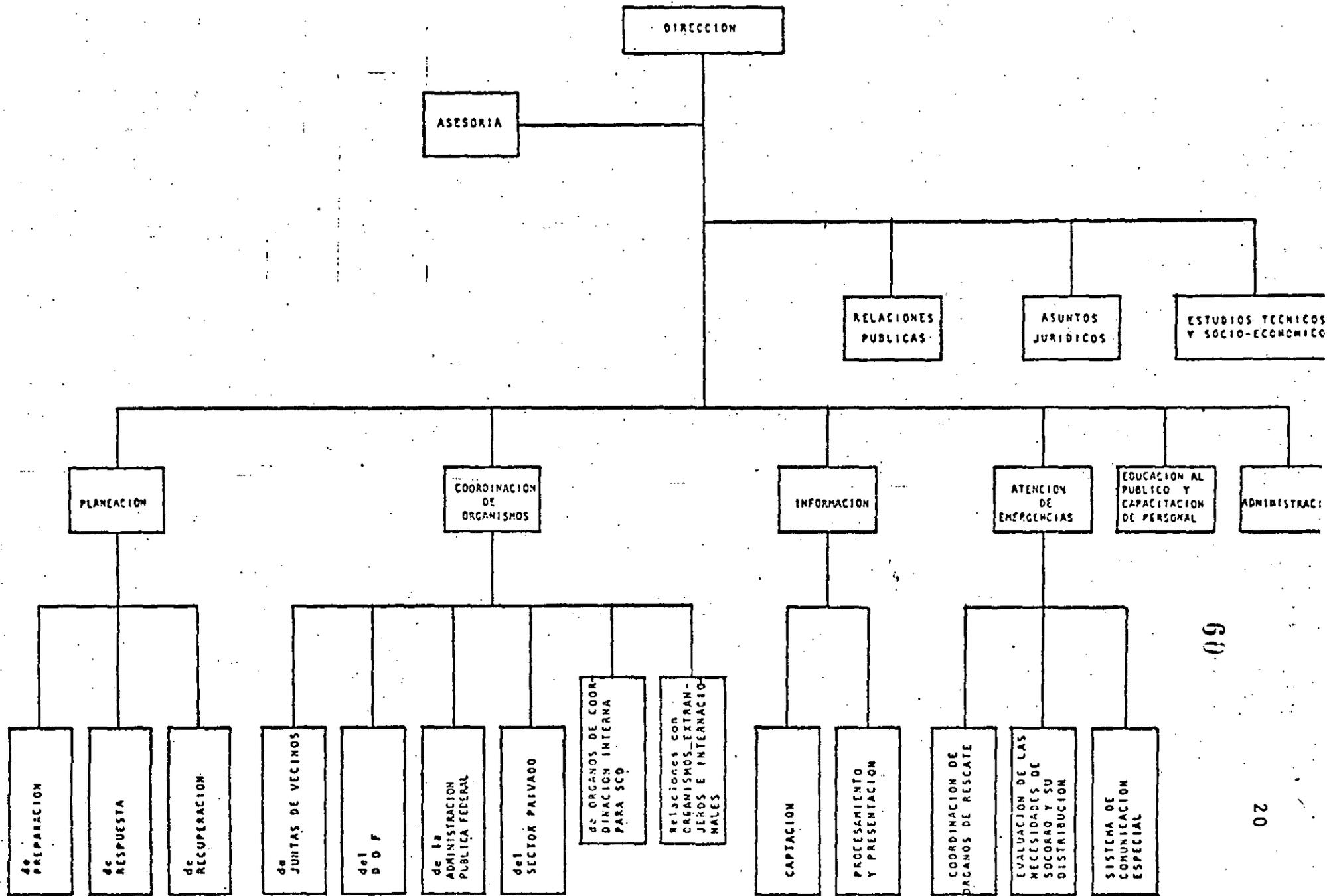


FIG 7 ORGANIGRAMA DE LA COMISION EJECUTIVA DEL OCC (EN ESTADO NORMAL)

61

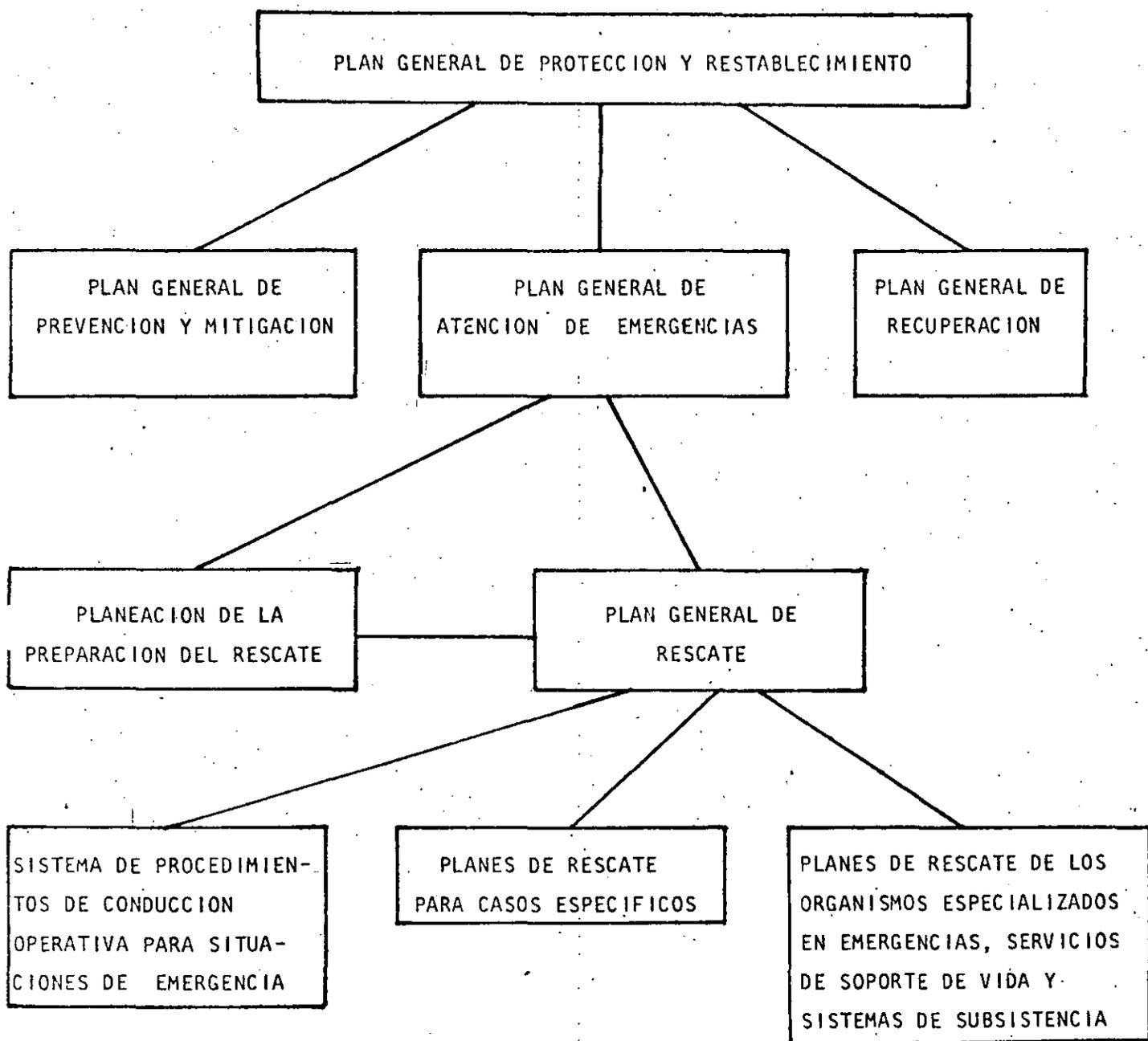


FIG. 8 ESTRUCTURA JERARQUICA DE LOS PLANES DE PROTECCION Y RESTABLECIMIENTO DE LA CIUDAD DE MEXICO



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

THE SYSTEMS/ PARADIGM CRISIS AND THE EMERGENCE OF NEW FRAMES:

SYSTEMIC-NETFIELDS

ING. RAUL CARVAJAL

NOVIEMBRE, 1985

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  
F. 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:

3.

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

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

B. System as a paradigm.

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

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

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

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

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

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

4

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

5

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

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

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

6

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

is an example of external complexity.

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

A third typology is related to the extension of the embedded social system which ranges from the individual to the whole society including formal and informal groups, social networks and organizations, and inter-organizational domains created by organizations, whose interrelationship compose a system at the level of the field as a whole [ 111 ] .

#### 2. Emergent social processes and the genesis of systems.

The study of the genesis of systems and emergent social processes is one of the areas mentioned in relation with futures research and the study of complex social systems. Emergence refers to 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-

8

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

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

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

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

9

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

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

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

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

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

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

(10)

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

8. Autonomy. The study of autonomy has regained an important place within the systems movement with the work of 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 a 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 inquire we must construct a theory of reality which will then guide us in the observation we make, which in turn will guide us in the revision of our theory of reality [32].

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

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

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

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

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

(11)

11. Power. Much criticism against the systems movement is directed toward the neglect of the variable power [19, 21]. Bryer [21] states that systems analysis has ignored variables which could prove to be crucial such as those involved in social problems that are culture-bound, value-laden, and honeycombed within a political power network. The study of power generates strong reactions within the systems movement. Churchman [32] states that an enemy of the systems approach is the political approach. On the other hand, Benveniste [14] says that a new social role combining political and technical dimensions is needed. The absence of research on power in social systems may be due to the association between power and political maneuvering, manipulation and intrigue. These associations have caused, and rightfully so, a strong reaction such as the one expressed by Eilon [39].

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

V. Limiting Assumptions Implicit in Systems Frames.

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

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

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

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

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

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

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

13

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

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

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

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

14

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

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

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

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

3. Mutually exclusive states. Weick (197) 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 get transformed into other entities such as networks. The growth and separation of a component is a traumatic experience and is frequently interpreted in terms of the failure of the system to provide adequate conditions for component development, or as a deviant act of either ambition or ingratitude on the part of the component. Systems that exist only in temporary conditions are considered to be in a state of immaturity.

In the systems literature, temporary systems have been recognized or conceptualized as the so called task or mission oriented groups, as basic parts in project, matrix or multidimensional organizations [5, 35, 95]. Thompson [100] has labeled "synthetic organizations" as those which emerge to coordinate the efforts 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 out, and so on. Nevertheless, the system persisted because people were able to draw support from the remnants of their extended family". They created a synthetic organization where people learned to deal with disasters and learn to organize themselves. It would not be surprising if there was a connection between the earthquake and the revolution that took place later. Perhaps the synthetic organization did not disappear after all.

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

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

17

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

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

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

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

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

22

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

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

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

4. Three frames which may constitute valuable tools for research, design, planning, and management of social systems have been developed under the generic name of systemic-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.

B I B L I O G R A P H Y

23

1. Ackoff, R.L., Towards a system of systems concepts, Management Science, 17, 11, 1971.
2. Ackoff, R.L., Emery, F.E., On Purposeful Systems, Chicago: Aldine-Atherton, 1972.
3. Ackoff, R.L., Redesigning the Future, New York: Wiley, 1974.
4. Ackoff, R.L., National development planning revisited, Oper. Res., 25, 2, 1977, 207-218.
5. Ackoff, R.L., Towards flexible organizations: a multidimensional design, Omega, 5, 6, 1977.
6. Ackoff, R.L., The future of operations research is past, J. Opl. Res. Soc., 30, 1979, 93-104
7. Ackoff, R.L., Resurrecting the future of operational research, J.Opl. Res. Soc., 30, 1979, 189-199.
8. Anderson, B., Carlos, M.L., What is social network theory? in T.R. Burns and W. Buckley (eds), Power and Control, Social Structures and Their Transformations, London and Beverly Hills: Sage Publications, 1976.
9. Bahm, A.J., Systems Theory: hocus pocus or holistic science, General Systems, 14, 1969.
10. Beer, S., Decision and Control, London: Wiley, 1966.
11. Beer, S., Brain of the firm, Allen Lane: The Penguin Press, 1972.
12. Beer, S., The Heart of Enterprise, New York: Wiley, 1980.
13. Bennis, W.G., Benne, K.D., Chin, R., The Planning of Change, 2nd. Edition, New York: Holt, Reinhardt and Winston, 1969.
14. Benveniste, G., The Politics of Expertise, Berkeley: Glendessary Press, 1972.
15. Berlinski, D., On Systems Analysis: An Essay on the Limitations of Mathematical Methods on the Social, Political and Biological Sciences, Cambridge: MIT Press, 1976.
16. Berlinski, D., Adverse notes on systems theory, in reference 57.
17. Bertalanffy, L. Von., The theory of open systems in physics and biology, Science, III, 1950, 23-29.
18. Bertalanffy, L. Von., General System Theory, Harmondsworth: Penguins Books, 1968.
19. Bevan, R.G., Bryer, R.A., On measuring the contribution of OR, J.Opl. Res.Soc., 29, 1978, 409-418.
20. Boulding, K., General Systems theory - the skeleton of science, in reference 22.
21. Bryer, R.A., The status of the systems approach, Omega, 7, 3, 1979, 219-131.
22. Buckley, W. (ed), Modern Systems Research for the Behavioral Scientist, Chicago: Aldine, 1968.
23. Cetron, M.J., Clayton, A., Investigating potential value changes, in reference 67.
24. Checkland, P.B., A Systems map of the Universe, J.Sys. Eng., 2, 2, 1971.
25. Checkland, P.B., Towards a systems-based methodology for real world problem solving, J. Sys. Eng., 3, 2, 1972.
26. Checkland, P.B., The development of systems thinking by systems practice-a methodology from an action research program, In R. Trappl and F.P. Hanika (eds), Progress in Cybernetics and Systems Research, Vol. II, Washington D.C.: Hemisphere, 1975, 278-283.
27. Checkland, P.B., Science and the systems paradigm, Int. J. General Systems, 3, 1976, 127-134.
28. Chen, G.K.C., What is the systems approach?, Interfaces, 6, 1, 1975.

- (24)
29. Churchman, C.W., The Systems Approach, New York: Delacorte Press, 1968.
  30. Churchman, C.W., The Design of Inquiring Systems, New York: Basic Books, 1971.
  31. Churchman, C.W., Perspectives of the systems approach, Interfaces, 4, 4, 1974.
  32. Churchman, C.W., The Systems Approach and its Enemies, New York: Basic Books, 1979.
  33. Clark, B.R., The occupational saga in higher education, Administrative Science Quarterly, 17, 1972, 178-184
  34. Crano, D., Invisible Colleges: Diffusion of Knowledge in Scientific Communities, Chicago: University of Chicago Press, 1972.
  35. Davis, S.M., Lawrence, P.R., Matrix, Reading, Mass: Addison-Wesley, 1977.
  36. De Greene, K.B., Sociotechnical Systems: Factors in Analysis, Design and Management, Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1973.
  37. Dolby, R.G.A., Sociology of knowledge in natural science, Science Studies, 1, 1971.
  38. Duncan, N.J., On revolutionizing methodology, Interfaces, 6, 1, 1975, 19-23.
  39. Eilon, S., Power corrupts, Omega, 7, 4, 1979, 269-272.
  40. Emery, F.E., Trist, E.L., Socio-technical systems, in F.E. Emery (ed), Systems Thinking, England: Penguin Books, 1969.
  41. Emery, F.E., Trist, E.L., Towards a Social Ecology, London: Plenum Press, 1973.
  42. Foerster, H. Von., The curious behavior of complex systems: lessons from biology, in Ref. 67.
  43. Forster, M., An introduction to the theory and practice of research in work organizations, Human Relations, 25, 6, 1972.
  44. Gall, J., Systemantics, New York: Quadrangle/The New York Times Book Co., 1974.
  45. Glassman, R.B., Persistence and loose coupling in living systems, Behavioral Science, 18, 1973, 83-98.
  46. Hall, A.D., Fagen, R.E., Definition of system, General Systems, 1, 1956.
  47. Hall, J.R., Hess, S.W., OR/MS: Dead or dying? RX for survival, Interfaces, 8, 3, 1978.
  48. Holling, C.S., The curious behavior of complex systems: lessons from ecology, in Reference 67
  49. Hoos, I.D., Systems Analysis as a technique for solving social problems- a realistic overview, Socio-Economic Planning Sciences, 4, 1, 1970.
  50. Hoos, I.D., Systems Analysis and Public Policy: a Critique, Berkeley: University of California Press, 1972.
  51. Hoos, I.D., Engineers as analysts of social systems: a critical enquiry, J.Sys. Eng., 4, 2, 1976, 81-88.
  52. Jenkins, G.M., The systems approach, J.Sys. Eng., 1, 1, 1969.
  53. Jones, A.W., On the limitations of GST in systems engineering, in reference 57
  54. Kast, F.E., Rosenzweig, J.E., The modern view: a systems approach, in J. Beishon and G. Peters (eds), Systems Behavior, The open University Press, London: Harper and Row, 1972.
  55. Klir, G.J., An Approach to General Systems Theory, New York: Wiley, 1969.
  56. Klir, J.C. (ed), Trends in General Systems Theory, New York: Wiley, 1972.
  57. Klir, J.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 V. Suppes (ed) The Structure of Scientific Theories, Urbana: The University of Illinois Press, 1974, 459-482.
60. Lapp, R.E., The New Priesthood: The Scientific Elite and the Uses of Power, New York: Harper, 1965.
61. Lee, A.M., Systems Analysis Frameworks, London: Macmillan, 1970.
62. Leeuw, A.C.J. de, Systems: definition and goal, Journal of Systems Engineering, 3, 2, 1972.
63. Levin, P.H., On decisions and decision-making, Publ. Admin., 50, 1972, 19-44.
64. Lewin, K., Field Theory in Social Science: Selected Theoretical Papers, Dorwin Cartwright (ed), London: Tavistock, 1963.
65. Lilienfeld, R., Systems Theory as an ideology, Social Research, 42, winter 1975, 637-660.
66. Lilienfeld, R., Systems thinking in the social sciences, in R. Lilienfeld, The Rise of Systems Theory, New York: Wiley, 1978.
67. Linstone, H.A., Clive Simmonds, W.H., Futures Research, Reading, Ma.: Addison-Wesley, 1977.
68. Ludz, P.C., Marxism and System theory in a bureaucratic society, Social Research, 42, 1975, 661-674.
69. Marchall, J.H., On the concept of a system, Philosophy of Science, 42, 1975, 448-468.
70. Masterman, M., The nature of a paradigm, In I. Lakatos and a 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. Mitroff, I.I., Kilmann, R., On organizational stories: an approach to the design and analysis of organizations through myths and stories, in R.H. Kilmann, L.R. Pondy, and D.P. Slevin (eds), The Management of Organization Design: Strategies and Implementation, New York: American Elsevier, 1976.
80. Mullins, N.C., The development of a scientific specialty: the phage group and the origins of molecular biology, Minerva, 10, 1, 1972.
81. Mulkay, M.J., Gilbert, G.N., Woolgar, S., Problem areas and research networks in science, Sociology, 9, 2, 1975.
82. Pfeffer, J., Salancik, C., Organizational decision making as a political process: the case of a university budget, Administrative Science Quarterly, 19, 1974, 131-151.
83. Phillips, D.C., System Theory - a discredited philosophy, Abacus, September 1969, 3-15.
84. Phillips, D.C., Holistic Thought in Social Science, Stanford, Cal.: Stanford University Press, 1976.
85. Pidd, M., Systems approaches and operational research, European Journal of Operational Research, 3, 1979, 13-D.

86. Pondy, L.R., The other hand clapping: and information processing approach to organizational power, in T. Hammer and S. Bacharach (eds), Reward Systems and Power Distribution, Cornell University, School of Industrial and Labor Relations, 1977.
87. Pondy, L.R., Mitroff, I.I., Beyond open system models of organization, Research in Organizational Behavior, 1, 1979, 3-39
88. Price, D.J., De Solla, Little Science, Big Science, New York: Columbia University Press, 1963.
89. Raitt, R.A., Must we revolutionize our methodology?, Interfaces, 4, 2, 1974.
90. Rapoport, A., Modern systems theory-an outlook for coping with change, General Systems, XV, 1970, 15-25
91. Rubin, A.D., Hypothesis Formation and Evaluation in Medical Diagnosis, AI-TR-316, MIT Artificial Intelligence Laboratory, Cambridge, Mass, Jan. 1975.
92. Sachs, W.M., Toward formal foundations of teleological systems science, General Systems, XXI, 1976, 145-152.
93. Scott, W.G., Mitchell, T.R., Organization Theory, Georgetown, Ontario: Richard D. Irwin, Inc., 1972.
94. Shapere, D., The structure of scientific revolutions, Philosophical Review, 73, 1964, 383-394.
95. Shaw, M.E., Costanzo, P.R., Theories of Social Psychology, New York: Mac Graw-Hill, 1970.
96. Silverman, D., The Theory of Organization, New York: Basic Books, 1971.
97. Simon, H.A., The Sciences of the Artificial, Cambridge, Mass.: MIT Press, 1969.
98. Suppes, F. (ed), The Structure of Scientific Theories, Urbana: The University of Illinois Press, 1974.
99. Systems Analysis and Operations Research: A tool for policy and program planning for developing countries, Commission on International Relations, National Academy of Sciences, Washington D.C., 1976.
100. Thompson, J.D., Organizations in Action, New York: McGraw Hill, 1967.
101. Trist, E.L., New directions of hope: recent innovations interconnecting organizational, industrial, community and personal development, Regional Studies, 13, 1979, 439-451.
102. Trist, E.L., The environment and system-reponse capability, Futures, April 1980.
103. Van Court, H., Systems Analysis, in Progress in OR, Vol. 2, New York: Wiley, 1964.
104. Van Gigch, J.P., Applied General Systems Theory, 2nd Ed., New York: Harper and Row, 1978.
105. Varela, F.J., On being autonomous: the lessons of natural history for systems theory, in reference 57
106. Vickers, G., The future of culture, in H.A. Listone and W.H. Clive Simmonds, Futures Research, Reading, Ma.: Addison - Wesley, 1977.
107. Weick, K.E., Middle range theories of social systems, Behav. Sci., 10, 6, 1974.
108. Weick, K.E., Educational organizations as loosely coupled systems, Administrative Science Quarterly, 21, 1976, 1-19
109. Zeleny, M., Book Reviews: Trentowski, Bogdanov, LeGue, Smuts, Int. J. General Systems, 5, 1, 1979, 63-71.
110. Schwartz, P., Gilly, J., The emergent paradigm: Toward an aesthetics of life. Unpublished Manuscript presented at the ESCMAR 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, APLICACIONES Y TALLERES  
DE LA ING. DE SISTEMAS

EL METODO DE LOS SISTEMAS

FELIPE OCHOA ROSSO

NOVIEMBRE, 1985

### 3. EL METODO DE LOS SISTEMAS

Como se anotó en el primer capítulo, se clasifican los sistemas productivos en no existentes y existentes. Los problemas de creación atañen a los primeros, mientras que los típicos problemas a los que se abocan los segundos son de corrección, mejoramiento, contracción o expansión.

El método de la ciencia como se mostró en el segundo capítulo, es necesariamente sustituido por el paradigma sistémico, al enfrentarse a situaciones de problemas generados en ambientes perturbados, cuya naturaleza se manifiesta a través de múltiples elementos interrelacionados entre sí y con el medio. Con esto parcialmente se sustituye el enfoque analítico por el sintético.

En este capítulo primeramente se establece el modelo conceptual de los elementos que corresponden a un sistema productivo y posteriormente se describe la secuencia de solución a problemas que se generen en dichos sistemas.

#### 3.1 MODELO DE UN SISTEMA PRODUCTIVO

Para entender más detalladamente los fenómenos que son de interés para el investigador, frecuentemente se construyen o conforman esquemas que ayudan a conceptualizar con mayor versatilidad la realidad. Los modelos que se conciben para tales objetivos, en ocasiones distan mucho de ser representaciones fieles y auténticas de la realidad, dado que muchos de los sistemas que se desean modelar presentan características que dificultan la tarea; tal es el caso de la incommensurabilidad del fenómeno o el desconocimiento del mismo. Sin embargo, un modelo que represente sistemas con estos rasgos, debe construirse pensando en lograr una similitud o semejanza lo mayor posible con el fenómeno observable de la realidad que se desee estudiar. Para lograr este acercamiento es indispensable la conjunción de dos hechos; primero, ser capaz de mirar en los objetos sus verdaderos aspectos significativos, que le caracterizan y que lo determinan (con ello lo incommensurable se hace pequeño); segundo, el modelo debe ser producto de un intercambio permanente entre teoría y práctica (con lo que el desconocimiento es abatido).

El modelo que se presenta a continuación no es producto de la casualidad, responde a muchos años de experiencia, es el resultado de reunir todos los elementos comunes que intervienen en cualquier sistema productivo, es la consecuencia de contemplar largamente que estos elementos comunes que intervienen en cualquier sistema productivo, es la consecuencia de contemplar largamente que estos elementos presentan una relevancia mucho mayor en sus similitudes que en sus diferencias, es el producto de admitir que la "complejidad" es una actitud, no una característica intrínseca en la naturaleza.

Si recordamos que sistema es la manera como un conjunto de elementos lleva a cabo una función con un objetivo determinado, esta forma o manera como se lleva a cabo una función queda descrita por lo siguientes componentes.

- a) los elementos que intervienen en la función, ya sea en forma activa o en forma pasiva,
- b) los elementos que no intervienen en dicha función,
- c) los elementos que se ven afectados directa o indirectamente por la actividad productiva,
- d) la liga entre los elementos que intervienen,
- e) el mecanismo utilizado para desarrollar la función,
- f) la bondad con que el sistema desarrolla la función,
- g) los recursos que utiliza para la función.

Para lograr un primer acercamiento al modelo general de un sistema productivo se retomará la conceptualización de uso muy común, conocida como "caja negra".



En efecto, cualquier sistema productivo se caracteriza por ser una estructura que mediante los flujos de entrada, es capaz de producir flujos de salida. Ahora bien, este diagrama tan general no genera contribuciones importantes para lo que se desea alcanzar, ya que es posible aplicarlo a múltiples sistemas sean o no productivos, sin embargo, partiendo de él es posible obtener mediante el refinamiento de cada bloque, una estructura que particularice mas en los sistemas de interés, y a su vez, permita visualizar las componentes que describen lo esencial de un sistema productivo.

Primeramente, entre los flujos de entrada y sin pretender jerarquizarlos, destacan los medios de subsistencia financieros proporcionados por los propietarios del sistema o por las instituciones financieras; - cualquier sistema productivo, tratase de una fábrica de calzado, del sector turismo en Guadalajara o del sistema nacional de producción de semillas, requiere unidades monetarias, capital como un flujo constante para poder planear, implantar u operar un sistema. Estos recursos financieros básicamente provienen de dos fuentes que son la banca o el erario público, o bien, los mismos propietarios del sistema cuando éste se encuentra en posibilidades de generar utilidades.

En mayor o menor medida, todo sistema productivo requiere del influjo permanente de bienes o servicios producidos por otros sistemas, o bien, por la naturaleza; en los casos de extracción de su riqueza. Los encargados de proporcionar insumos al sistema son los proveedores, los cuales proporcionan toda una gama de posibles requerimientos que van desde refacciones, mobiliario, materia prima, etc., hasta tecnología o información sobre diversos tópicos.

Los bienes o servicios producidos por el sistema conforman las mercancías que han de ser comercializadas y vendidas a los usuarios, los que, le retribuyen de nueva cuenta al sistema el costo invertido para la elaboración de las mismas, más un incremento, conformándose así los ingresos. Esta retribución monetaria debe ser considerada como otra fuente de entrada al sistema.

El último factor que se considera relevante y que incide en el sistema, tiene un carácter un tanto especial, consiste en la repercusión que los competidores tienen hacia el sistema, mismo que puede ser caracterizado como otro flujo de entrada, aunque por sus condiciones se manifiesta más claramente en el mercado de los bienes y servicios. En cierta medida, podría estarse hablando de un impacto recibido por la reacción del sistema en su ambiente de actuación.

Continuando con el desarrollo se tienen las componentes que configuran los flujos de salida del sistema. Un sistema productivo se interconecta con el exterior principalmente por los bienes o servicios que produce, que es en última instancia, la razón misma de ser el sistema. Entonces, el producto final del sistema es transmitido a los usuarios y consumidores que básicamente son de dos tipos; el primero es aquel que utiliza la mercancía como insumo para su producción, esto es, es el sistema al que nuestro sistema sirve como proveedor, encadenándose de esta manera las relaciones sectoriales, que reciben el nombre de relaciones intersectoriales hacia adelante; el segundo tipo de usuarios son a los que el producto del sistema servirá exclusivamente como consumo final (nótese que este consumo final no necesariamente es ropa o alimentos, sino que es extensivo a maquinaria, refacciones, construcción, etc., según sea el sistema en estudio).

Del sistema hacia el exterior, marchan unidades monetarias a manera de pago a los proveedores por los insumos que éste abastece al sistema y que son a su vez los bienes o servicios que el sistema productivo del proveedor produce. Esto también provoca una concatenación sectorial pero ahora en sentido inverso, o sea, lo que se conoce como relaciones intersectoriales hacia atrás.

Una tercer componente de salidas del sistema lo constituyen los desechos; este factor que no tiene importancia para algunos sistemas, retoma papeles muy significativos para otros, basta señalarlo con el ejemplo de las fábricas de cemento portland o bien con cualquier sistema de alcantarillado, en relación al detrimento que causan al ambiente cercano.

Hasta el momento se han señalado únicamente los flujos que corren a través del sistema, como insumos que son transformados o contribuyen en la elaboración de bienes o servicios. Ahora falta señalar a las componetes que se encargan de llevar a cabo esta transformación.

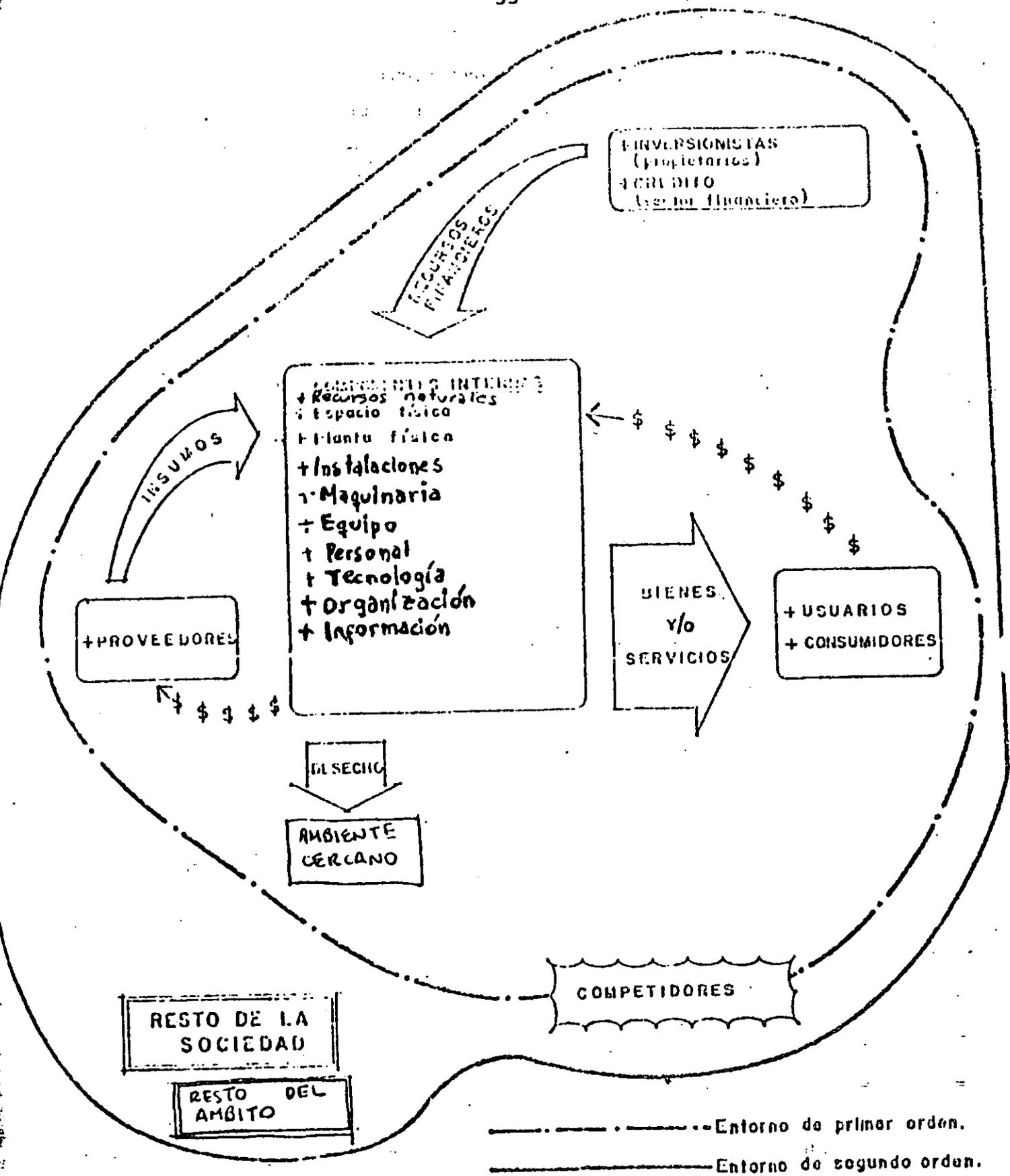
Todos los sistemas productivos se dan en un espacio físico y cuentan con una planta física y sus respectivas instalaciones, esto es, no existe alguno que sea simple idealización y que pierda la propiedad de ser tangible. En dicha planta laboran y desarrollan su trabajo los ejecutivos, los administrativos y los obreros o mano de obra directa, es decir, el personal que lleva a cabo las funciones del sistema.

Para ejecutar la función se requiere en primer instancia de recursos naturales, mismos que han de ser transformados en productos finales por medio de maquinaria, equipo y una tecnología acorde a los mismos.

Por último, sea cual sea su magnitud, tipo o clase, todo sistema productivo posee una estructuración de las relaciones que deben darse entre las jerarquías, funciones y obligaciones individuales necesarias para su mejor eficiencia, es decir, tiene una organización respaldada y complementada por la información.

Todos los elementos señalados proporcionan la acotación del entorno de primer orden como puede ser observado en la figura (2).

Este entorno se caracteriza por ser la envolvente de las interacciones más fuertes e importantes del sistema con el medio en donde se encuentra; el entorno de segundo orden sería por el contrario, la envolvente de las más débiles o secundarias, como lo son las interacciones entre el sistema y el resto de la sociedad como tal. Cabe hacer la observación, que en dicho esquema se ubica a los competidores con una componente en el entorno de primer orden y otra en el segundo, con lo cual se intenta representar la escasa importancia que estos tienen en algunas ocasiones y la gran relevancia que guardan en otras.



MODELO GENERAL DE UN SISTEMA PRODUCTIVO

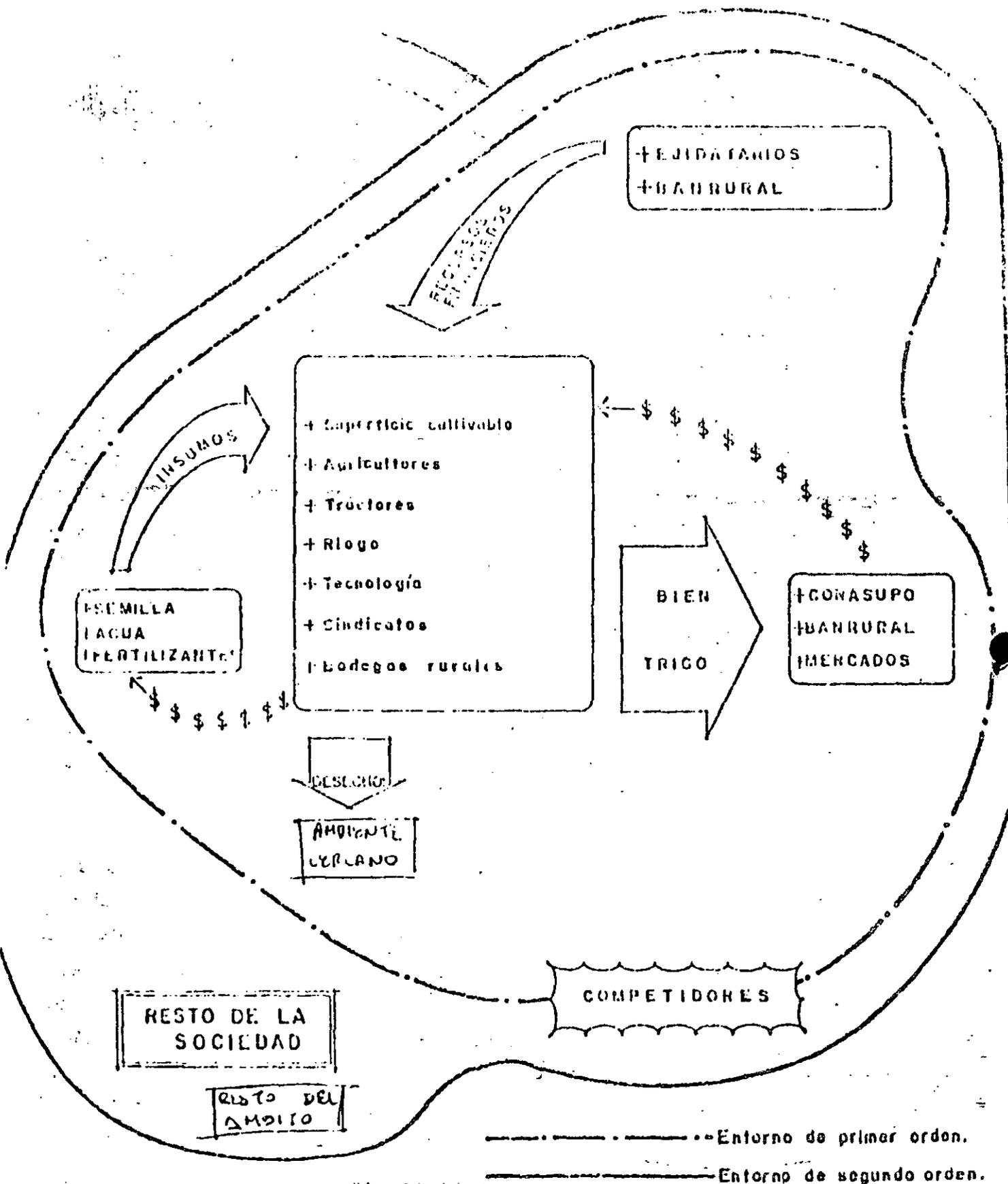
FIGURA 2

A manera de ejemplos representativos se muestran en las figuras 3, 4 y 5, a los sistemas productivos de trigo en Ciudad Obregón, Sonora; de bienes y servicios de la pequeña y mediana industria y de Servicios Educativos, UNAM, respectivamente.

El señalar como ejemplos a estos sistemas tiene como objetivo fundamental demostrar que aún cuando aparentemente son muy diferentes, existe la estructura genérica indicada, con la cual estas diferencias se minimizan.

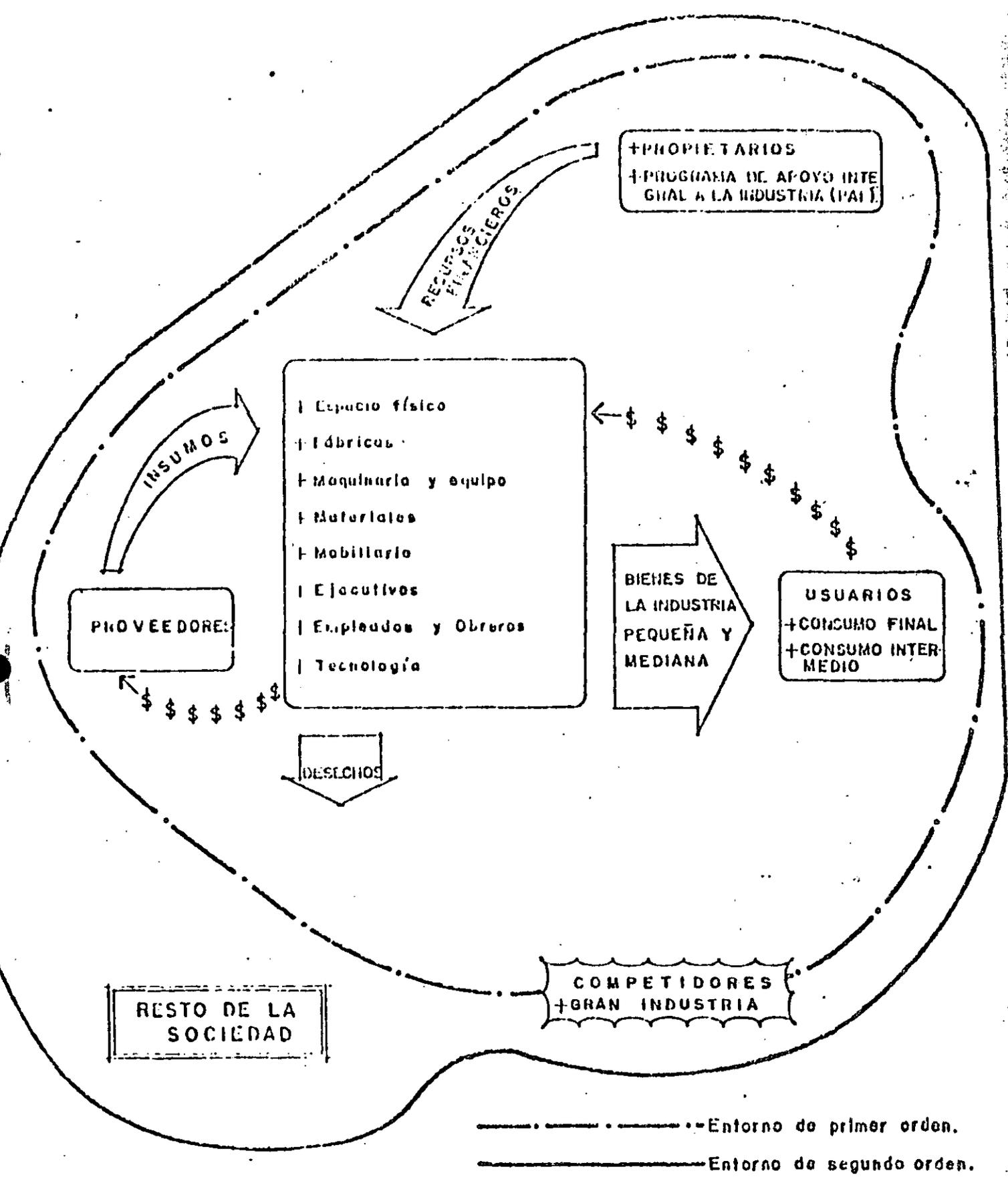
La principal observación que emerge es la siguiente: todos pueden ser representados, idealizados o esquematizados bajo el mismo marco conceptual. Es importante recalcar que no se intenta afirmar que todos los sistemas productivos son iguales, por el contrario, se reconoce que cada uno tiene sus características peculiares que lo distinguen de los demás; pero el concentrar la esencia de todos en este esquema, además de permitir una mayor visualización del sistema, coadyuva a una mejor detección de la problemática, apoya en la creación de un nuevo sistema y permite o da cabida al diseño de un PROCESO ESTRUCTURADO DE SOLUCION DE PROBLEMAS DE SISTEMAS, característica que quizá sea lo más valioso de una conceptualización como la que se presenta.

Ahora bien, el proceso estructurado debe corresponder a la naturaleza del problema como se había señalado con anterioridad. En este sentido, los problemas de mejoramiento y corrección guardan una gran similitud, ya que el sistema no requiere en estos casos cambios cuantitativos relevantes, sino simplemente variaciones, reajustes o reorganización de sus elementos. Sobre esta base, los problemas de expansión, contracción y mayormente los de creación de sistemas, implican cambios cuantitativos en forma significativa, esto es, la presencia de cualquiera de estos problemas conduce a generar un nuevo sistema.



SISTEMA PRODUCTIVO DE TRIGO, CD. OBREGON, SONORA.

FIGURA 3



SISTEMA DE PRODUCCION DE BIENES DE LA INDUSTRIA MEDIANA Y PEQUEÑA.

FIGURA 4

## 1. Ubicación del sistema.

Al definir al sistema productivo como "un todo formado por un conjunto de elementos humanos y mecánicos interrelacionados y estructurado para desempeñar la función de producir satisfactores para la sociedad", no se intenta enmarcarlo bajo un contexto aislado cuyo único elemento fuera el sistema productivo en sí. Dada la visión totalizadora del Enfoque de Sistemas, del sistema productivo interesan sus relaciones internas tanto como las externas, o mejor expresado, interesa por indispensable el estudio de su entorno.

Para ubicar adecuadamente al sistema productivo se requiere del tratamiento de este en tres dimensiones que son la temporal, la espacial y la sectorial.

Inicialmente es necesario hablar de la duración de un sistema, es decir, de su dimensión temporal. Esto aunque no es muy relevante para ciertos sistemas productivos, resulta básico para otros, tal es el caso de un sistema productivo cuyo insumo esencial sea un bien no renovable, en cuyo caso habrá que definir perfectamente el período en que se piensa se agotará el recurso y considerar esto ya sea en la creación del sistema, expansión o contracción. Como ejemplo concreto puede mencionarse el caso de una industria petroquímica cuyos costos de instalación hace que los errores en el diseño de su tamaño sean prácticamente prohibitivos, ya que sería muy penoso llegar a agotar los hidrocarburos teniendo la capacidad instalada a la mitad de su vida útil, puede arguirse que las instalaciones podrían venderse a otro país, pero no por ello dejar de ser un fracaso el diseño o creación del sistema; también puede decirse que en los próximos cien años es muy difícil que se agote el recurso (en México por lo menos), pero ello es hacer referencia al tiempo necesariamente, y en consecuencia a una ubicación dentro de él.

Todo sistema productivo se desenvuelve en un marco espacial, entonces el segundo planteamiento en cuanto a la ubicación del sistema será delimitar el espacio físico abarcado por el mismo.

La ubicación espacial de un sistema responde a necesidades y características del mismo, pudiéndose abarcar marcos muy reducidos o muy extensos,

yendo desde niveles puntuales hasta contextos globales como el nivel mundial. El espacio que delimita a un sistema productivo, típicamente corresponde a uno de los siguiente niveles:

- a) Espacio Mundial, corresponde al nivel máximo posible (por lo menos en la actualidad). En este podría encontrarse por ejemplo el sistema de producción de derivados del petróleo, si se desea se conocer el equilibrio mundial de los mismos.
- b) Espacio Internacional. El siguiente nivel se da cuando el sistema abarca solo ciertos países del orbe. Son ejemplos de éstas las Bolsas de Subcontratación de Procesos Industriales instaladas en Europa que dan servicio a países como España, Francia e Italia. También podría serlo el contexto manejado en algunos estudios económicos realizados por la Comunidad Económica Europea o por la Comisión de Estudios para América Latina en que consideran como sistema productivo a la suma o el total de todos los sistemas productivos particulares de cada país involucrado.
- c) Espacio Nacional. De las delimitaciones más comúnmente utilizadas, el nivel nacional constituye el contexto más amplio de un sistema productivo. Puede hablarse por ejemplo de un sistema nacional de producción de madera y corcho, de un sistema nacional de producción de productos farmacéuticos medicinales, del Sistema Alimentario Mexicano en su fase de producción, etc.
- d) Espacio Regional. En ocasiones atendiendo a necesidades de planeación de un sistema productivo, es necesario realizar un análisis de similitud en el espacio, regionalizando para ello el territorio del país. Es así como aparece la regionalización del Plan Nacional Hidráulico, la del Plan Nacional de Desarrollo Industrial, la elaborada con fines agrícolas por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, etc., en todas ellas impera la necesidad de estudiar al sistema en unidades lo más homogéneamente posible en cuanto es requerido por el objeto de estudio.
- e) Espacio Estatal. El sistema puede requerir de un estudio a nivel de entidad federativa en cuyo caso se hablaría por ejemplo

del sistema de producción agrícola del Estado de Veracruz, el sistema de producción de cobre del estado de Coahuila, etc.

- f) Espacio Municipal. La unidad política-administrativa más pequeña en que puede enmarcarse un sistema productivo es el municipal. Los ejemplos serían similares a los del caso anterior.
- g) Espacio Local. Resulta cuando se hace referencia a una localidad específica (Industria del calzado en León, producción artesanal en Taxco etc.)
- h) Espacio Puntual. Cuando el sistema en estudio está conformado por una empresa (Industrias Resistol, D.M. Nacional, etc.), misma que se ubica bien definitivamente dentro de una localidad, se está haciendo referencia necesariamente a un espacio puntual.

Cabe señalar, que el listado de niveles indicado anteriormente es de carácter indicativo más que normativo, ya que cabe la posibilidad de que el sistema en estudio abarque parte de un país y parte de otro (en cuyo caso podría caer dentro de los niveles Internacional o regional), o bien, exclusivamente una área de una empresa en particular (departamento de montaje en una fábrica). Sin embargo, cualquier sistema productivo se desarrolla en un espacio físico bien definido, el cual deberá ser señalado como ubicación espacial para un correcto estudio del sistema.

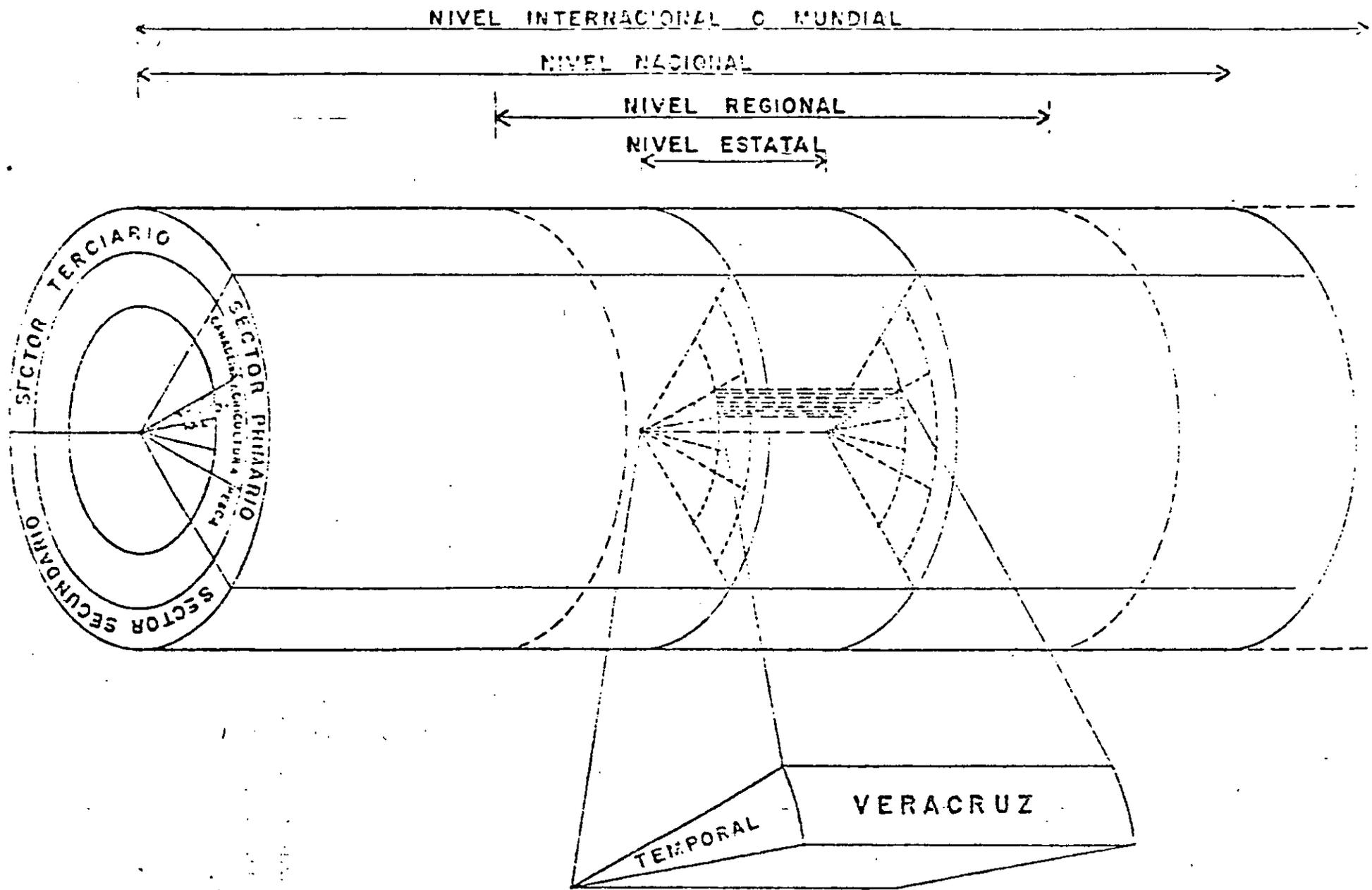
La tercer componente de la ubicación de un sistema; y con lo cual este queda perfectamente definido en todas sus dimensiones, es la sectorial.

Todo aparato productivo de una nación, es decir, toda economía, avanza y se diversifica conjuntamente con la distribución del trabajo y genera lo que se conoce como ramas de actividad económica. El agrupamiento más usual de estas ramas es por medio de los llamados sectores económicos. Existen tres grandes sectores en los que se agrupan a todas las ramas que son el primario, el secundario ó Industrial y el Terciario que corresponde a Comercio y Servicios. De acuerdo a la Matriz de Relaciones Intersectoriales, el Sector Primario se subdivide a su vez en Agricultura, Ganadería, Silvicultura y Pesca, el sector Secundario en Industria Extractiva

e-Industria de la Transformación y el Terciario en Transportes, Comunicaciones, Comercio, Alquiler de Inmuebles, Servicio y Preparación de Alimentos y Alojamiento, Créditos, Seguros y Fianzas, Otros Servicios, y Servicios del Gobierno. Cada una de estas divisiones puede aún subdividirse nuevamente en ramas más específicas como la extracción y beneficio de minerales metálicos, la extracción y beneficio de carbón mineral y grafito, la extracción de minerales no metálicos excepto sal, explotación de sal, extracción de petróleo crudo y gas natural, que conformarían a la anterior división de la Industria Extractiva. El proceso puede seguir continuando hasta llegar a ramas muy específicas como la Extracción de arena y grava, concluyendo en la última ramificación que considera a la empresa como la unidad mínima productora.

A este proceso se lo conoce como desagregación de las actividades productivas, siendo cada subdivisión un nivel de agregación. Como se verá más adelante, resulta innecesario manejar tantos nivel de agregación como subdivisiones se tengan en una rama, ya que para fines de estudio de un sistema algunos resultan esencialmente iguales. Consecuentemente los niveles de agregación que se consideran son únicamente tres: el nivel máximo de agregación o nivel 1 que resulta de unir a todas las actividades económicas en una sola, es decir, analizar la Economía en su totalidad (incluye los tres sectores); el nivel intermedio o nivel 2 que incluye cualquier nivel de agregación posterior al mencionado anteriormente y anterior al nivel en que se ubican las empresas como unidad y obviamente el nivel mínimo o nivel 3, resulta de considerar a las empresas como el sistema productivo en estudio. En la figura (6) se muestran estos diferentes niveles de agregación, considerando las ramas de actividad económica contenidas en la matriz de relaciones intersectoriales antes citada.

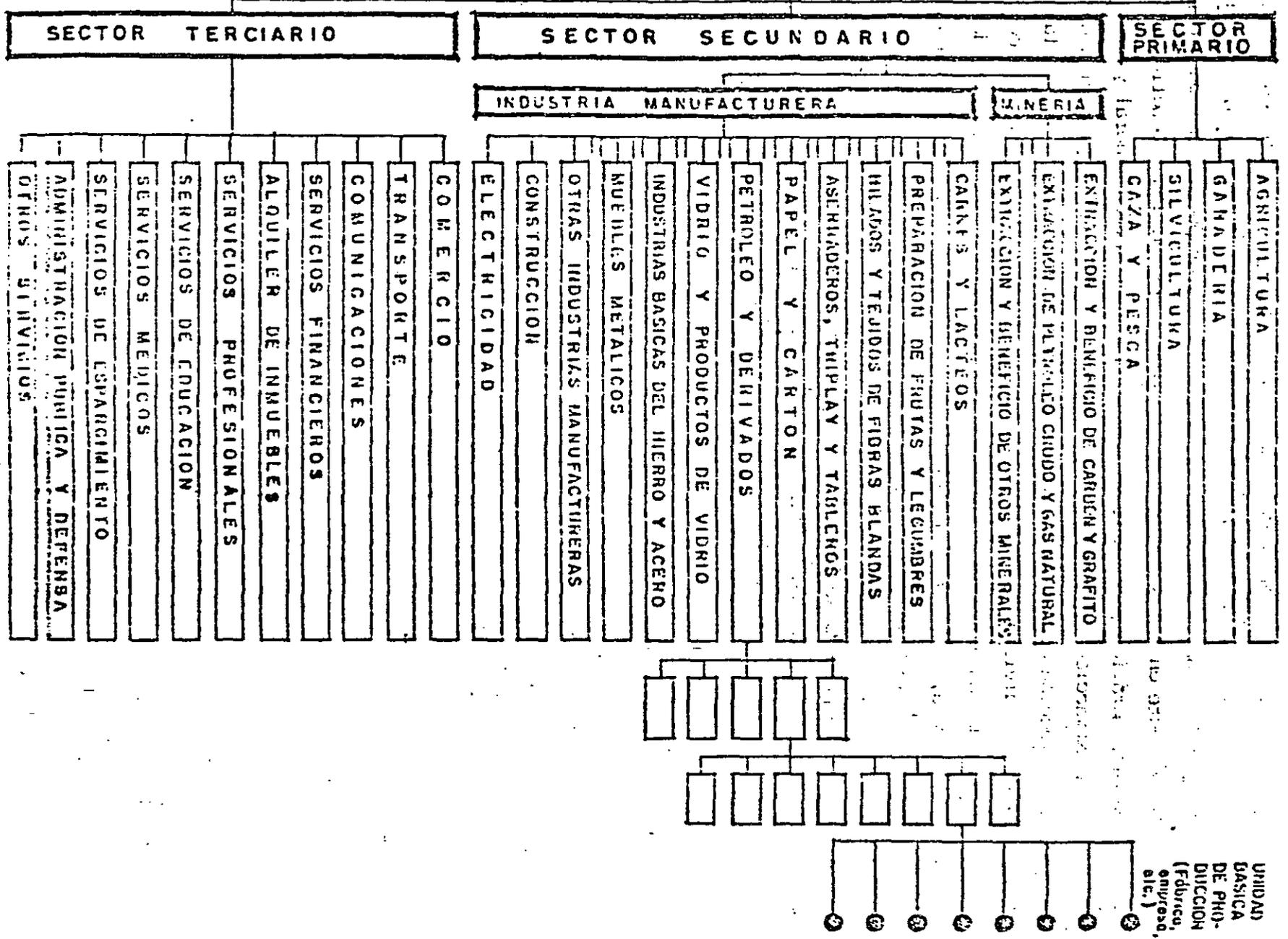
Para esquematizar de mejor forma la ubicación sectorial y espacial de un sistema se presenta la figura (7), en que se muestra al Sistema Productivo Agrícola de Temoral en el Estado de Veracruz. La figura cilíndrica mostrada, representa el nivel de agregación 1 en su espacio físico nacional; una rodaja del cilindro implicaría referirse al mismo nivel de agregación 1 pero en un espacio físico menor que el nacional (regional, estatal, etc.) un segmento longitudinal acotado por dos círculos concéntricos significaría un nivel 2 de agregación en un espacio físico



UBICACION ESPACIAL Y SECTORIAL DEL SISTEMA DE PRODUCCION AGRICOLA DE TEMPORAL EN EL ESTADO DE VERACRUZ .

FIGURA 6

# ECONOMIA NACIONAL



NIVEL DE ORGANIZACION  
 PRIMARIO  
 SEGUNDO  
 TERCIO

CLASIFICACION DE LAS ACTIVIDADES ECONOMICAS.

FIGURA 6

Esta fase tiene cierta similitud con lo que tradicionalmente se conoce como Estudio de Mercado. Deberán conocerse los datos mínimos indispensables sobre el área de mercado, o sea, su población en cuanto a estructura y cambios, ingresos de dicha población (estratos actuales y cambios en la distribución), los factores limitativos de la comercialización o distribución, etc.; sobre el comportamiento de la demanda, se requiere la situación actual y sus series de estadísticas básicas, la estimación de la demanda, la distribución espacial y tipología de consumidores, características teóricas de la demanda (coeficientes de crecimiento histórico, índices básicos y curvas de demanda), situación futura en cuanto a proyecciones de la demanda (extrapolaciones de la tendencia histórica y análisis de los factores condicionantes de la demanda futura); del comportamiento de la oferta se requieren elementos muy similares a los de la demanda, situación actual, situación futura o valuación previsible de la oferta (utilización ociosa, planes y proyectos de ampliación que pudieran conocerse, etc); complementario a lo anterior, se requiere la determinación o estimación de los precios en el futuro, las condiciones de competencia del proyecto, y la demanda potencial del proyecto.

Se requiere información financiera tal como los recursos financieros para la inversión (necesidades totales de capital, capital disponible, capacidad de inversión), análisis y proyecciones financieras (proyección de gastos, proyección de los ingresos), programa de financiamiento, y de especial modo, las fuentes de financiamiento.

De los proveedores se requieren referencias de ubicación de los mismos, costos, calidades y especificaciones de sus productos, condiciones de venta, tiempos de provisionamiento, características de su fluidez de operación, etc.

Por último, es muy importante indagar sobre los impactos ambientales en el ecosistema o en el ambiente cercano, producto de los desechos del sistema por crear: en ciertas ocasiones estos desechos no deben ser vistos como problema, sino por el contrario, con posibilidad de ser integrados al proceso productivo de otro sistema (en la actualidad este punto cobra tal importancia que empiezan a constituirse bolsas de residuos industriales, cuya finalidad es conectar a cierto tipo de industrias).

...la historia del cazado en el País, por ejemplo.  
sión, el estudio del entorno de un sistema deberá iniciarse en una perfecta ubicación sectorial y espacial del mismo, delimitándolo en el tiempo o aclarando la relación que el sistema mantenga con él.

2. Análisis del entorno

En términos generales, el análisis del entorno se refiere al estudio de las componentes para conocer los elementos específicos que conciernen al sistema en cuestión. Como se había señalado, el análisis del entorno está estrechamente ligada a la fase posterior, por tanto debe tenerse muy presente que lo que se haga será con el fin único, exclusivo y preciso de elaborar los diseños alternativos.

Primeramente, debe ajustarse el modelo general de un sistema productivo al caso concreto por analizar, detallarse las componentes y elementos que lo conforman, omitiendo o resaltando según sea el caso aquellas que carezcan de importancia o sean de mayor relevancia, respectivamente. La importancia de éste modelo radica en que constituye un apoyo indispensable para interconectar constante y permanentemente aquellos aspectos que sean relevantes durante la secuencia de fases del proyecto, evitando de este modo truncamientos que pudieran ser costosos.

Ya que el presente método sirve tanto para la expansión o contracción de sistemas existentes, como para la creación de nuevos sistemas, es necesario marcar las diferencias del análisis del entorno para cada una de las dos posibilidades.

Para la creación de nuevos sistemas, el entorno lo constituyen el conjunto de sistemas existentes que llevan a cabo la misma función, dentro del mismo nivel de desagregación sectorial y el nivel inmediato superior.

La indagación, como ya se mencionó anteriormente, tiene como objetivo único y preciso el poder fijar en la fase subsecuente las características de los usuarios a atender, las características del bien o servicio a producir, las características del mecanismo de producción y las necesidades de recursos.

El listado de requerimientos expuesto, marca tan sólo pautas de orientación en el análisis; de ninguna manera es un listado exhaustivo y por tanto debe considerarse como ilustrativo en cuanto al tipo de información requerida y en cuanto a los tópicos a tratar en el análisis del entorno.

Para el caso de expansión o contracción de sistemas es válida la búsqueda de información sobre el mismo terreno, con la variante lógica de que en el entorno se incluye al sistema ya existente, mismo que aporta la experiencia sobre el mercado, la tecnología, los proveedores, etc., que convierten al problema, en términos generales, en uno más sencillo que el de creación total del sistema.

Es muy importante declarar desde este momento, que desde la fase de análisis hasta la fase de selección, ya sea del nuevo sistema o de la magnitud de la expansión o contracción del existente, existen tres niveles de profundidad o completez con que deben realizarse estas fases.

El primer nivel es el conceptual que tiene por objeto conocer la situación mediante un simple bosquejo; el segundo, que es el de posibilidad, cumple con la función de presentar los resultados con mayor claridad, nitidez y extensión que el primero. Finalmente el tercer nivel, el ejecutivo, contiene el detalle necesario y suficiente para encadenar las fases mencionadas directamente con la fase de implantación del sistema.

Resumiendo, el análisis del entorno, la elaboración de diseños alternativos, la evaluación ex-ante de diseños alternativos y la selección, constituyen un ciclo de fases repetido en tres niveles, conceptual, de factibilidad y ejecutivo. Consecuentemente, lo exhaustivo del análisis del entorno ( y de las citadas fases en general), dependerá directamente de dicho nivel.

### 3. Elaboración de diseños alternativos.

La elaboración de diseños alternativos constituye una fase del proceso de solución de problemas en donde se requiere con especial énfasis de la creatividad del diseñador; es una fase cuya naturaleza sintética

invita en mayor medida a explotar la inventiva del generalista.

La creatividad puede enfocarse como la capacidad que tiene una persona para unir dos ideas, elementos, conceptos, etc., que no estaban unidos con anterioridad. Creatividad, también puede ser vista como una combinación de flexibilidad, originalidad y sensibilidad orientada hacia ideas que permiten a la persona creativa desprenderse de las secuencias comunes de pensamiento y producir otras secuencias de pensamiento diferentes y productivas, cuyo resultado ocasiona satisfacción a ella misma y tal vez a otras. De acuerdo con esto, un producto creativo debe ser original, adecuado al contexto en que se presenta y factible de descubrimiento paulatinos.

Es común escuchar entre la gente que la creatividad es una facultad que solo los genios poseen o que viene de nacimiento transmitida en los genes, nada es más falso que dicha afirmación. La creatividad es en efecto una facultad, pero una facultad susceptible de fomentar, transmisible, enseñable y fácil de aprender. Algunas habilidades que hacen posible el pensamiento creativo son la fluidez, que es la facilidad con que se usa la posibilidad para abordar de diferentes maneras un mismo problema o estímulo, la originalidad, que se refiere al estilo personal en el pensar y en el hacer, manifestándose en reacciones y respuestas imprevisibles, ingeniosas y poco comunes, por último, la elaboración, siendo ésta, la capacidad para desarrollar ideas y llegar a una realización (habilidad que pone a prueba la aptitud creadora).

La fase del proceso de elaborar diseños alternativos marca una de las principales diferencias entre el método de los sistemas y el método científico, por el simple hecho de crear al objeto, o sea, el sistema productivo. Es una fase en la que se sintetizan los diversos aspectos logrados mediante el análisis del entorno.

La secuencia que se recomienda para la ejecución de esta fase, dado el modelo del sistema productivo, es diseñar de productos a insumos, es decir, de salidas a entradas, observando primeramente que es lo que se va a producir y luego cómo ha de producirse.

En efecto, los primeros elementos diseñados deben ser los bienes o

servicios que el sistema desea producir, para ello, de la ejecución del análisis se tiene información detallada sobre el usuario: qué tipo de usuario es, cuáles son sus ingresos, sus necesidades, sus deseos, etc., gestándose con ello alternativas factibles de diseño que habrán de producirse, las formas o presentaciones, el número de unidades, los precios y todo aquello que conduzca a elaborar una amplia gama de posibilidades de bienes o servicios a producir.

Con lo anterior, el siguiente paso lógico es fijar los medios del sistema para lograrlo. Debe saberse inicialmente las magnitudes del espacio físico donde habrá de instalarse la planta física con sus respectivas instalaciones. Con el bien o servicio diseñado, se estará en posibilidades de abordar el diseño del proceso, describiendo las unidades de transformación como son las líneas de producción, flujos de materiales, el proceso mismo de transformación, las unidades complementarias, la tecnología a utilizar y aspectos similares. Deberá hacerse recuento de la mano de obra y personal existente en la región, a fin de establecer la posibilidad y disposición del sistema a producir los volúmenes y calidad previamente diseñados.

El paso posterior es fijar, en función de los aspectos tecnológicos previstos, las fuentes de financiamiento tanto para la implantación como para la operación y control.

Los insumos constituyen el siguiente elemento a diseñar, deben establecerse los factibles proveedores al sistema, observándose los mecanismos de disponibilidad y abastecimiento, así como las políticas de pago que se requieran.

Los desechos del sistema deben ser fijados y ordenados adecuadamente, de tal manera que ingresen a otros sistemas en forma beneficiosa o por lo menos sin perjudicarlos.

Por último, la administración del sistema debe estar acorde al proceso de producción; debiéndose fijar los flujos de información requeridos para evitar tanto la duplicidad de funciones como los cuellos de botella y tener de manera definida y efectiva los mecanismos de control adecuados para una buena toma de decisiones.

En el caso de expansión o contracción de un sistema el proceso es idéntico con la única salvedad de tratarse de elementos en parte conocidos, cuestión que sujeta o restringe el diseño a las condiciones ya existentes (maquinaria, equipo, personal, etc.).

#### 4. Evaluación ex-ante de diseños alternativos.

Cuando se habla de "evaluación" generalmente se piensa en evaluación financiera, evaluación social, evaluación económica, etc. Sin embargo, al momento de enfrentarnos en la realidad a un proyecto que tiene que evaluarse, resulta en ocasiones muy difícil determinar qué tipo de evaluación es conveniente, ¿evaluación económica?, ¿evaluación social?, ¿evaluación financiera?, ¿dos de éstas?, o las tres?. Se denota una confusión acerca de lo que significa e implica el evaluar.

Primeramente, definamos "evaluación" como el mecanismo mediante el cual se transmite juicio acerca de los impactos que las diferentes alternativas producen en los diversos sectores del sistema. Entonces, en esta fase del proceso se evalúan los diseños alternativos obtenidos en la fase anterior.

El juicio que ha de transmitirse es la comparación por medio de parámetros, de lo que puede esperarse de cada opción con respecto de los objetivos planteados inicialmente.

Al afirmar que evaluar es pasar juicio, necesariamente se está haciendo referencia al hecho de pasar juicio a alguien sobre determinada cuestión de interés para ese alguien. En este sentido, bajo el modelo general de nuestro sistema productivo, ése alguien resultan ser los actores del sistema que son:

-En el entorno de 1º orden,

-dentro del sistema

.propietarios

.personal

-fuera del sistema

.financieros

.proveedores

.usuarios

- .competidores
- .sociedad cercana
- En el entorno de 2º orden
- .resto de la sociedad.

Los impactos o puntos de interés son las áreas que a dichos actores atañen con mayor fuerza, por ejemplo, lo económico, lo social, la política, lo cultural, lo técnico, etc. Con estos dos elementos es posible construir una matriz de evaluación, como la que se muestra en la figura 8. En dicha matriz cada celdilla representa el área de interés para un actor del sistema, en las diferentes opciones.

Existe un procedimiento de carácter general para la conformación de la matriz de evaluación. Primeramente se tienen que fijar los criterios de evaluación, esto es, se tienen que seleccionar los parámetros o indicadores adecuados para medir el impacto, de acuerdo a los intereses del actor del sistema; por ejemplo, en un sistema de producción de automóviles de nivel de desagregación sectorial 3, para los propietarios el impacto económico retoma gran relevancia y tendrá que elegirse como indicador alguno de tipo financiero (índice de rentabilidad, tasa interna de retorno, valor presente actualizado), pero lo más probable es que los impactos sociales como el generar empleo o ahorrar divisas o los impactos políticos o culturales, poco o nada le interesen; en éste mismo ejemplo, observando los impactos de interés para el sindicato, habría que tomar al indicador económico (salario) y quizá uno de tipo social (generación de empleo), pero es muy probable que uno estético careciera de interés para este actor. Recorriendo casilla por casilla, de renglón por renglón, se lograría fijar el criterio de evaluación para cada uno de los impactos que le interesen a cada uno de los actores.

Fijados los indicadores, la siguiente etapa es definir cómo serán cuantificados o cualificados, es decir, se establecen las relaciones entre variables cuando el criterio es cuantitativo o lineamientos generales cuando el criterio es cualitativo; son ejemplos del primer caso del coeficiente de número de empleos generados entre el total de los mismos, número de personas alfabetizadas, relación del beneficio total actualizado entre el costo total actualizado, etc.; en el segundo caso, al fijar criterios subjetivos como lo estético o agradable de las opciones, ten

Actores \ Impactos	Financieros	Económicos	Sociales	Políticos	Culturales	Técnicos	Ecobiológicos	Estéticos	Etc.
Propietarios									
Personal									
Financieros									
Proveedores									
Usuarios									
Competidores									
Sociedad cercana									
Resto de la sociedad									

Opción 1 :	
Opción 2 :	
Opción 3 :	

MATRIZ DE EVALUACION DE SISTEMAS.

drá que definirse y unificarse el concepto de agradable y estético que será utilizado en el paso siguiente, que es la valoración de parámetros. Consiste en asignar valores específicos o cualidades reales, a los indicadores considerados en la evaluación.

Al realizar la comparación de los resultados de la matriz contra el patrón que se establezca, se recomienda que este última sea un producto elaborado con base en sistema existentes del mismo nivel de agregación sectorial, y de no ser posible, la siguiente recomendación sería utilizar información estadística consolidada de sistemas existentes pero del mismo nivel, sea a nivel nacional (preferentemente) o internacional.

##### 5. Selección.

La selección consiste en elegir entre los diseños alternativos elaborados, de acuerdo con la evaluación ex-ante, el que más se adecue a los objetivos que se persiguen, es decir, se trata de elegir la mejor opción.

De acuerdo con lo anterior, esta fase no tendría ningún problema de no ser por el significado extenso de "la mejor" opción. Esto puede significar desde la decisión con un objetivo y un decisor, hasta la toma de decisiones con múltiples objetivos heterogéneos, muchos decisores y diversos grados de certidumbre, casos que por cierto, suelen ser los más comunes.

En efecto, la selección involucra cuatro elementos básicamente. El primero se refiere al conjunto de alternativas por seleccionar, que obviamente presentan diferentes magnitudes en sus parámetros evaluados; el segundo se refiere al grupo decisor, que bien puede estar conformado por una sola persona o varias gentes con visiones diferentes; el tercero es el objetivo que se persigue o los objetivos que se persiguen, que pueden ser regulamente homogéneos o completamente heterogéneos; por último, el cuarto elemento consiste en el grado de conocimiento que se tenga de la realidad o la actitud que se adopte ante ella, pudiendo ser de certidumbre, incertidumbre o riesgo.

Existen algunas áreas del conocimiento dedicadas a investigar en el campo de las herramientas, ciertos apoyos para la toma de decisiones,

lisis. Separando las componentes del sistema existente, éstas pueden ser evaluadas ex-post, dando los resultados del sistema y determinando si en efecto existen problemas o no; definirlos a fin de diagnosticar el estado actual del sistema e identificar posteriormente las opciones alternativas ya sea de corrección o mejoramiento, según sea el caso. Estas opciones al igual que en el método anterior, se evalúan ex-ante para poder seleccionar entre ellas la mejor, implantarla y controlar nuevamente al sistema.

A mayor detalle, se exponen a continuación cada una de las fases, extendiendo principalmente aquéllas que marcan las diferencias básicas entre el método operacional y el método de planeación antes expuesto.

### 1. Ubicación del sistema

Incluye los tres niveles del método anterior: ubicación temporal, ubicación sectorial y ubicación espacial. El primero se refiere al período para el cual se planeó el sistema, indicando el tiempo transcurrido y por transcurrir en este horizonte de planeación; en el segundo se señala si es del primero, segundo o tercer nivel de agregación sectorial; por último, en el tercero se indica si es puntual, regional, nacional, etc., el ámbito de acción del sistema en el espacio geográfico.

### 2. Análisis del sistema existente

Se mantiene el mismo espíritu que en el anterior proceso, desagregar las componentes para conocer los elementos específicos que conciernen al sistema en cuestión; la diferencia radica en que para el caso anterior la dirección del análisis estaba dada por la elaboración de diseños alternativos, mientras que en éste caso, lo es la evaluación ex-post de los resultados del sistema.

El fondo pudiera considerarse el mismo, pero la forma difiere. La razón principal de éste análisis es detectar fallas, desajustes, incongruencias, y en tanto que imperen estos factores, el énfasis en cada subsistema será diferente, resaltan aquellas áreas en que se considere más fuerte la problemática sin olvidarse de las restantes ni perdiendo el sentido de totalidad que es básico para el sistema.

El resultado de esta fase es un listado de elementos que caracterizan alguna componente del sistema, anexados con una medida de comportamiento que muestra los resultados de su desarrollo en un período dado, por ejemplo, eficiencia en una línea de producción, volumen de ventas (en unidades de producción o unidades monetarias), costos unitarios de producción, tiempo de entrega de proveedores, inasistencia del personal, retrasos en financiamiento, contenido de contaminantes en los desechos, etc.

### 3. Evaluación ex-post de los resultados del sistema

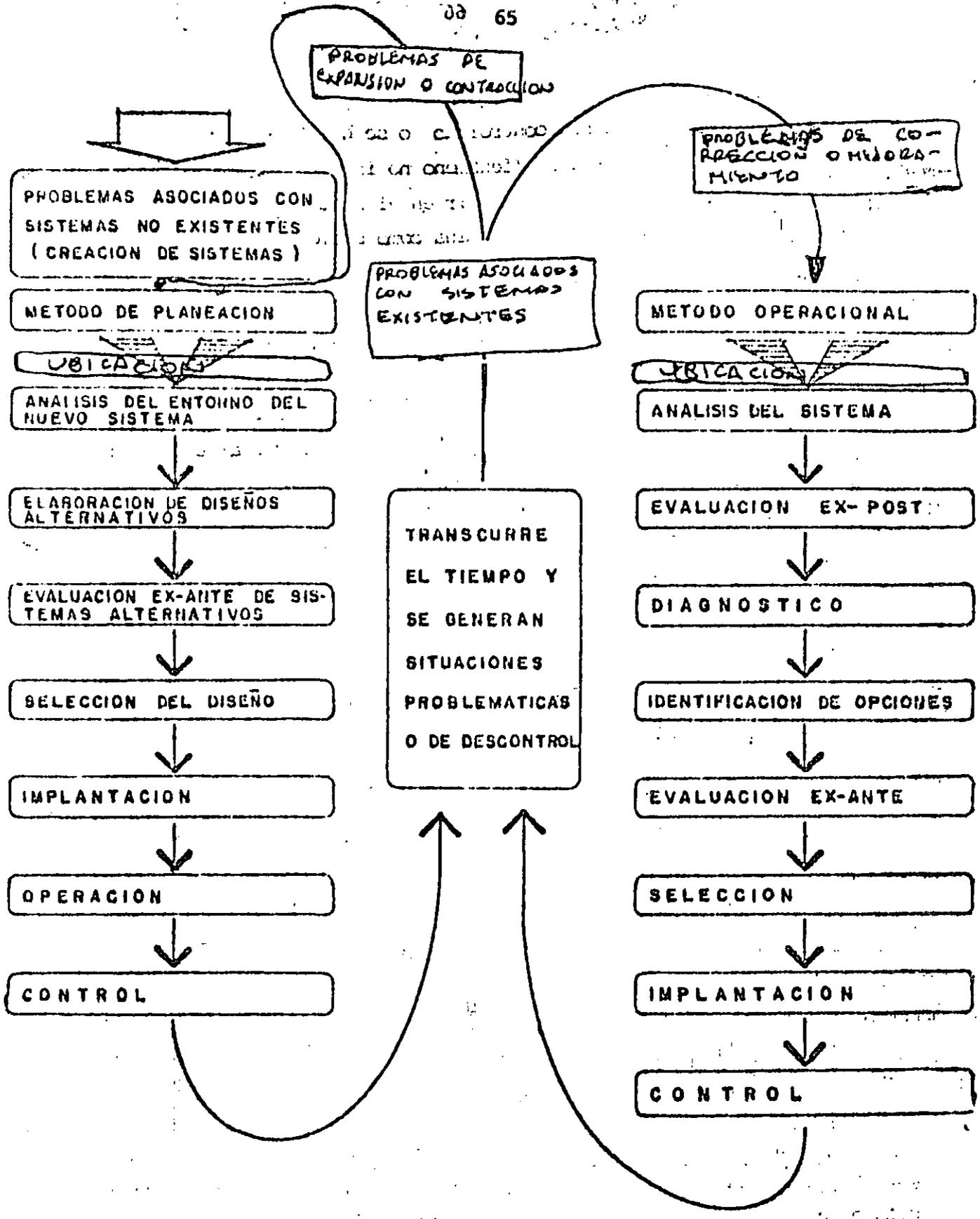
Evaluar ex-post es juzgar o pasar juicio de los resultados del sistema; es afirmar e informar si el sistema marcha bien o no con respecto a los objetivos que se persiguen. Esta evaluación resulta tan eficiente como la haya sido el análisis, esto es, si la separación de los elementos del sistema y la asignación de parámetros de medición de su comportamiento permiten asociarles los objetivos originales, será relativamente fácil el demostrar si estos han sido cumplidos o no y en que medida.

Para objetivizar la comparación es recomendable hacerlo primeramente con el mismo sistema, en caso de no poder determinar claramente los objetivos; esto es, ya que no hubo explícitamente objetivos, debe buscarse en las series históricas que se tengan sobre el sistema o indicadores que marquen el estado del mismo en el pasado y con ellos comparar, dónde se marcha bien y dónde mal.

De no poder lograr lo anterior por cualquier causa, el siguiente acercamiento podría ser los mismos indicadores de otros sistemas productivos nacionales que ya existan; en caso de fallar también esta posibilidad el siguiente nivel de desagregación sectorial nacional u otros sistemas existentes de otros países resultan ser una buena alternativa para la evaluación ex-post.

La última posibilidad sería simplemente realizar la fase mediante estimaciones que se realicen.

Ejemplos de productos finales de esta fase serían: en efecto, la eficiencia en la línea de producción es tantas veces más baja de lo que cabía esperar; dados los objetivos y las condiciones de mercado prevale



PROCESO DE SOLUCION DE PROBLEMAS DE SISTEMAS PRODUCTIVOS.

terminado el sistema ya no sea controlado o se hallan gestado en él situaciones diferentes a las deseadas (fenómeno no inevitable pero sí frecuente). Este proceso al volverse a repetir en el sistema existente conforma lo que en el párrafo anterior se denomina como ciclo de solución de problemas.

Para ambos procesos es válido el señalar que la amplitud e importancia relativa de cualquier fase con respecto a las restantes en un problema específico, depende exclusivamente de las características intrínsecas de cada problema, por ejemplo, puede llegar a suceder que al usar el método operacional, el separar las componentes en elementos esenciales constituya una tarea extremadamente difícil y tardada, pero ello lleve a una evaluación ex-post, a un diagnóstico y a una identificación de opciones relativamente sencilla, en otras ocasiones pueden presentarse situaciones contrarias.

Un caso que también es factible es la mezcla de ambos procesos para constituir la solución a un problema. Por ejemplo, supóngase que el gobierno federal decide elaborar un mecanismo a través del cual se pronostiquen los efectos o impactos de sus políticas en diversos sectores de la economía; esto conlleva a la creación de un mecanismo de evaluación ex-ante de políticas para el cual se tendrá que utilizar el método de planeación (ya que se creará un sistema), en cuya fase de análisis del entorno del nuevo sistema se tendrá que utilizar a manera de sub-fases; ciertas fases del método operacional como son el análisis del sistema existente (la economía en general), cierta evaluación ex-post, un diagnóstico y a manera de directrices del sistema por crear, una identificación de opciones correctivas o de mejoramiento.

En síntesis, los procesos así expuestos son de carácter indicativo y pueden ser utilizados tal cual, sin que ello prohíba realizar una composición de ambos (siendo en ocasiones necesario); además de darle un especial énfasis a ciertas fases.



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

FUNDAMENTOS, APLICACIONES Y TALLERES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

DISEÑO DE SISTEMAS

Ing. Arturo Fuentes Zenón

NOVIEMBRE, 1985

# METODOLOGIA DE LA PLANEACION NORMATIVA

## **ANTECEDENTES**

La planeación es un área de trabajo relativamente reciente en el mundo occidental; como es conocido, en la URSS se desarrollaron planes quinquenales, mismos que fueron ampliamente criticados desde la postura de una economía libre, esto es, de libre competencia.

Así en el mundo capitalista se rechaza la idea de la planeación, dándose a cambio un amplio desarrollo a los estudios beneficio-costos (que derivan en la actual evaluación de proyectos) y a las técnicas y modelos orientados a hacer una adecuada asignación de recursos; lo cual se muestra más acorde con su postura ideológica.

Es hasta finales de los 40's y principios de los 50's, que la planeación se comienza a aceptar como un campo de trabajo en el mundo occidental, destacando la experiencia francesa con sus planes de reconstrucción y la introducción de lo que se denominó como "planeación estratégica" en las grandes corporaciones; dándose, entre otros, los siguientes argumentos en favor de esta nueva posición: la presencia de un cambio acelerado que es necesario prever y orientar; el surgimiento de problemas cada vez más complejos que demandan una acción de conjunto; una mayor exigencia respecto a la eficiencia y eficacia de la dirección; etc.

En este contexto, se desarrollan diferentes concepciones y enfoques de planeación, no existiendo un cuerpo teórico unificado; sin em

### C: SUBSISTEMA "CONTROL DE RESULTADOS"

Donde se efectúan los ajustes o replanteamientos requeridos, al detectarse errores, omisiones, cambios en el medio ambiente, cambios en la estructura de valores, etc.

Estos tres subsistemas se desagregan a su vez de acuerdo con lo siguiente:

- A. Subsistema "Formulación del Problema"
  - A.1. Planteamiento de la situación problemática (a, b, c)
  - A.2. Investigación de lo real (d, e, f, g)
  - A.3. Formulación de lo deseado (h, i)
  - A.4. Evaluación y diagnóstico (j, k, l)
- B. Subsistema "Evaluación y Diseño de Soluciones"
  - B.1. Generación de opciones (m, n)
  - B.2. Evaluación de opciones y selección (ñ, o)
  - B.3. Plan estratégico (p)
  - B.4. Desarrollo de la solución (q, r, s, t)
  - B.5. Análisis de contingencias (u)
- C. Subsistema "Control de Resultados"
  - C.1. Diseño del control (w, x)
  - C.2. Evaluación de resultados y adaptación (y)

A continuación, se refiere el contenido y propósito de cada una de las etapas del proceso propuesto.

## A. FORMULACION DEL PROBLEMA

### A.1. Planteamiento de la problemática

#### a. Situación problemática inestructurada.

Por una situación problemática se entiende un estado de desorden, perplejidad, apuro, insatisfacción, incertidumbre, etc; siendo este el momento en que se hace llamar al grupo de planeación, al que más que plantearse los problemas, se le refieren los síntomas (problemática) y de una manera un tanto vaga.

#### b. Situación problemática estructurada.

Se pretende tener una visión más o menos ordenada de la problemática, cómo se interpreta el problema por distintas personas, a partir de qué momento se gesta, qué repercusiones se tienen, etc. Para esto, es muy útil la técnica de preguntas básicas (qué, cómo, cuándo, etc).

#### c. Resultado esperados.

Es un labor que con frecuencia se descuida, siendo imposible imaginar un proceso de solución de problemas en que no se tenga en mente qué es lo que se espera obtener, aunque evidentemente éstos son redefinibles conforme avance el proceso

### A.2. Investigación de lo real

#### d. Construcción del objeto de estudio.

Propiamente en este momento inicia el proceso de planeación, de acuerdo con la problemática planteada se definirán las variables y funciones relevantes, es decir, se establecerá el objeto de estudio, donde se señale lo que es pertinente y lo que es ajeno.

e. Investigación del estado actual.

Se busca conocer el estado actual de la situación, definiendo los elementos de estructura (personal, recursos, instalaciones, etc) y de proceso (objetivos, funciones, programas, etc), de acuerdo con lo que se consideró como relevante en la etapa anterior, en aras de definir la situación que se vive.

f. Obtención de datos históricos.

Los datos históricos serán de interés en la medida que sean útiles para explicar determinada situación que se vive en el presente y que se desee clarificar, o bien, que sirvan de base de conocimiento para elaborar pronósticos de alguna variable de interés, esto es contrario a la práctica común en que se recopilan datos con la esperanza de algún hallazgo y que en muchos casos se traducen en océanos de información inútiles.

g. Escenario de referencia.

Se hace la proyección de las variables que se asumieron eran relevantes, tanto del sistema como del medio ambiente, bajo la hipótesis de que ciertas tendencias y restricciones están latentes o existen en la situación presente y por tanto, se extienden al futuro, sintetizándose dichas proyecciones en una imagen del sistema sobre el horizonte de planeación. Con esto, se gana profundidad en el conocimiento de los problemas, tanto presentes como los que se vivirán en el futuro de no haber intervención.

### A.3. Formulación de lo deseado

#### h. Elaboración del estado normativo.

Esta etapa se desarrolla adoptando una actitud crítica con respecto a la realidad, obteniéndose una imagen idealizada como contrapartida de la situación observada.

El hacerlo así, evita el llegar a consideraciones demasiado generales y de poca utilidad en la planeación. Por ejemplo, si actualmente se le preguntase al Sr. Rector qué quiere para la Universidad, él podría argumentar en favor de una Universidad al servicio de la sociedad, o bien, alguna otra observación familiar; válida, pero muy general para efectos operativos, situación que se modificaría si previamente se ha planteado la problemática de un severo atraso tecnológico o de la deserción de un 70% del alumnado y que sólo un 30% del porcentaje restante se gradúa.

#### i. Formulación de objetivos.

La definición del estado normativo, de cualquier manera es cualitativa en mayor o menor grado y dado que su utilidad está correlacionada con el grado de explicitéza alcanzado, en esta etapa cada planteamiento se traducirá en objetivos concretos, alcanzables aún cuando no sea dentro del período de planeación<sup>1</sup>.

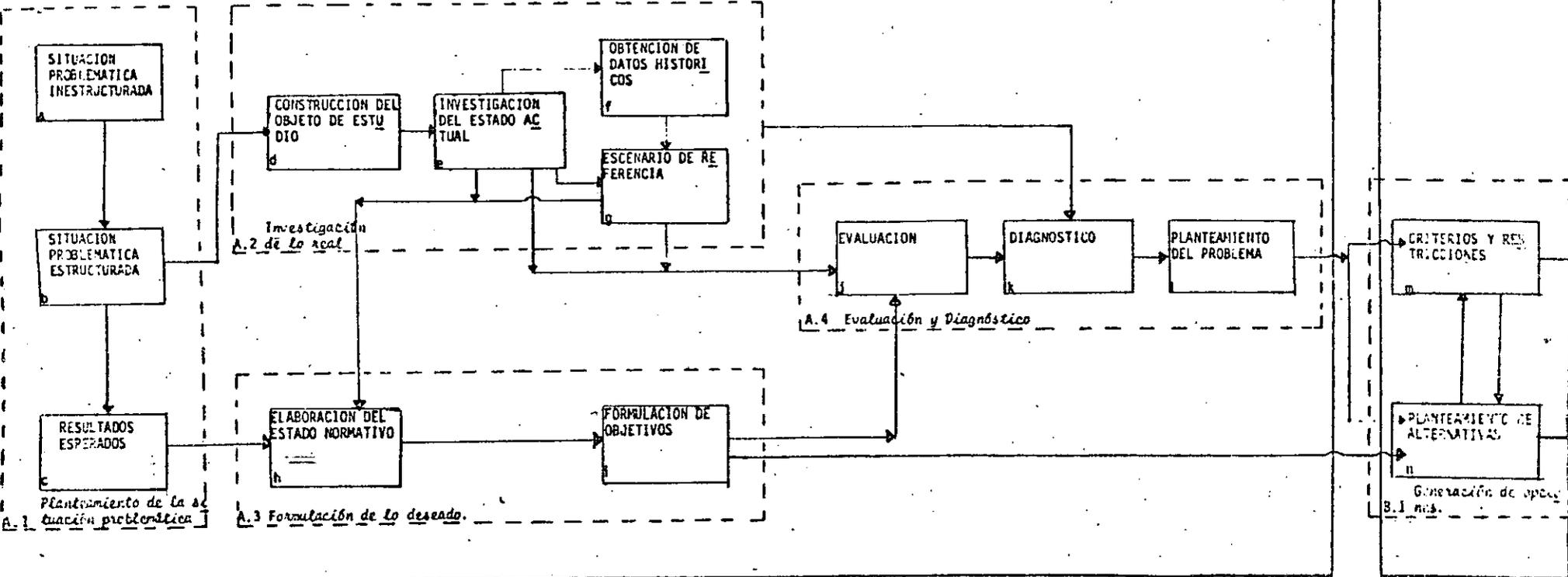
---

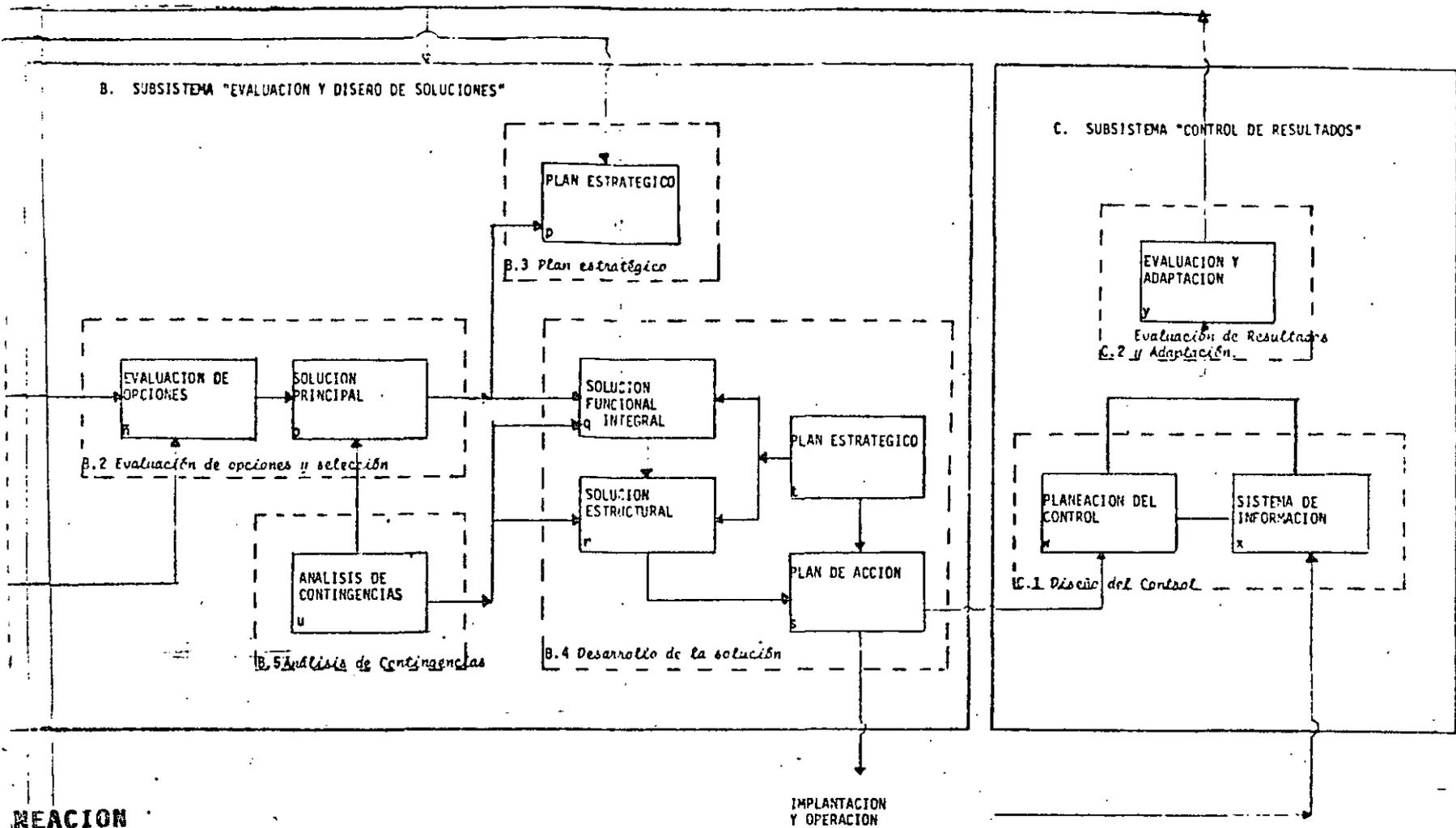
<sup>1</sup> Para mayor claridad, conviene hacer las siguientes definiciones:

**Meta:** es un resultado preferido que puede ser alcanzado dentro del período de planeación.

**Objetivo:** es un resultado preferido que puede o no alcanzarse dentro del período de planeación; su función es dar una interpretación específica y única a los planteamientos cualitativos hechos en el diseño del estado normativo.

A. SUBSISTEMA "FORMULACION DEL PROBLEMA"







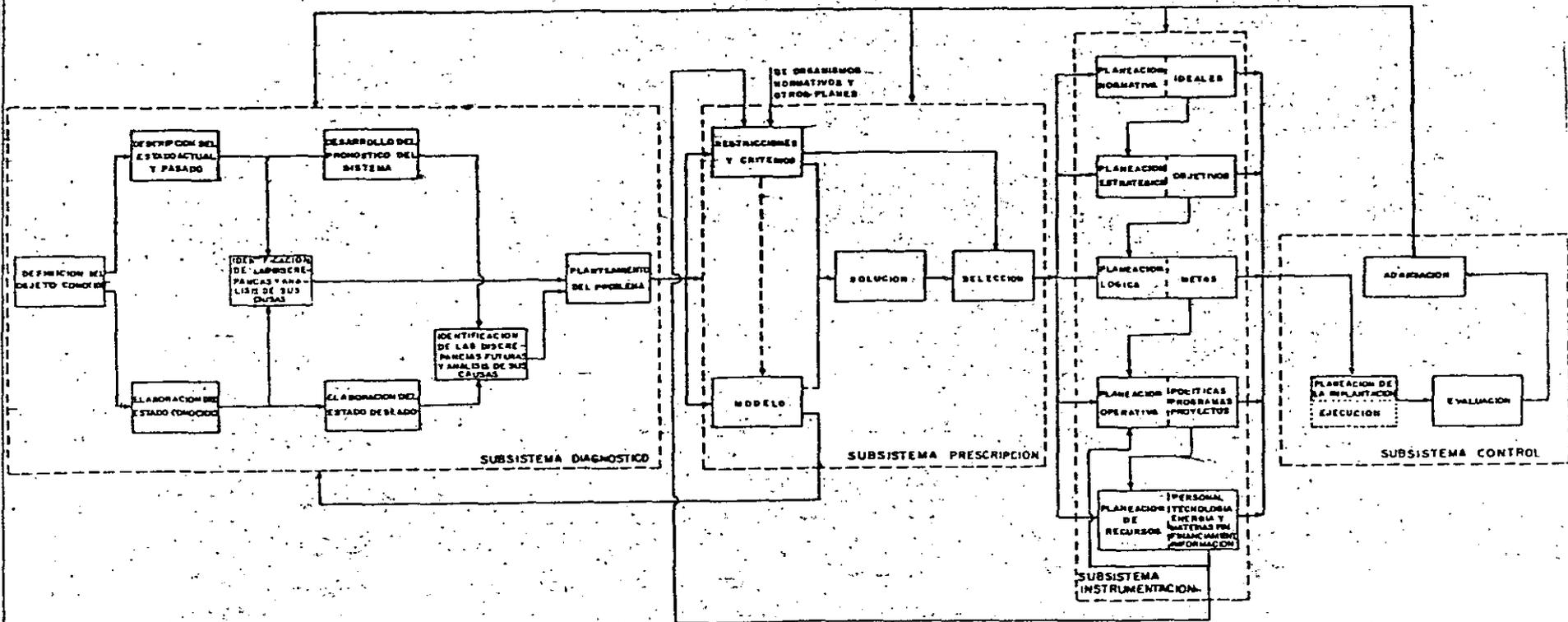
**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

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

**FORMULACION Y EVALUACION DE PROYECTOS**

**M. en I. Rubén Téllez Sánchez**

**NOVIEMBRE, 1985**



ESQUEMA GENERAL DEL PROCESO DE PLANEACION  
 TOMADO DE: "PAPEL DE LA PLANEACION EN EL PROCESO DE CONDUCCION" (O. GELMAN, G. NEGROE)  
 BOLETIN No. 8 DEL INSTITUTO MEXICANO DE OPERACION Y SISTEMAS 1981

- 1 SE PARTE DE LA CONDICION DE QUE CUALQUIER PROBLEMA DEBE ANALIZARSE ASOCIANDO EL CONCEPTO DE SISTEMA.
- 2 CONSISTE EN UNA FORMA DE PENSAR Y DE RAZONAR EN LA QUE SE ABARCA EL TODO -- (SISTEMA), SIN OLVIDARSE DE LAS PARTES (SUBSISTEMAS); Y EN LA QUE SE CONSIDERAN LAS INTERACCIONES ENTRE DICHAS PARTES; ENTRE LAS PARTES Y EL SISTEMA Y ENTRE EL SISTEMA Y SU MEDIO AMBIENTE.
- 3 REQUIERE ASUMIR UNA ACTITUD CIENTIFICA Y CONSIDERAR LAS BASES DEL METODO CIENTIFICO.
- 4 DESTACA LAS FINALIDADES U OBJETIVOS DEL SISTEMA SOBRE OTRAS CARACTERISTICAS DEL MISMO COMO PUEDE SER SU ESTRUCTURA, FUNCIONAMIENTO O EFICIENCIA.
- 5 UTILIZA LAS TECNICAS CIENTIFICAS DISPONIBLES DE CUALQUIERA DE LAS DISCIPLINAS INVOLUCRADAS.
- 6 POR TANTO, NECESARIAMENTE PRESUPONE ENFOQUE MULTIDISCIPLINARIO.
- 7 SE JERARQUIZAN OBJETIVOS, SUBSISTEMAS Y VARIABLES.
- 8 CONSIDERA RELEVANTE EL CONTROL DEL SISTEMA EN BASE A UN PROCESO CONTINUO DE INFORMACION-DECISION-ACCION.
- 9 SE ESTUDIA EL MEDIO AMBIENTE DEL SISTEMA.
- 10 SE ANALIZAN LOS RECURSOS DEL SISTEMA (HUMANOS, MATERIALES TECNOLOGICOS Y DE INFORMACION.
- 11 SE PARTE DEL CRITERIO DE QUE SIEMPRE EXISTEN VARIAS ALTERNATIVAS O CURSOS DE ACCION Y QUE DEBEN ESCOGERSE AQUELLAS QUE OPTIMICEN EL SISTEMA COMO UN TODO.
- 12 SE ASUME UNA ACTITUD ADAPTATIVA QUE CONJUNTE RESPUESTAS A DEMANDAS Y OPTIMACION DE RECURSOS.
- 13 SE ENFATIZA EN LA GENERACION DE SOLUCIONES INNOVADORAS Y ESTIMULOS CONSTANTES DE LA CREATIVIDAD.

- 2) Nacionales Públicos: Los que toman el simple papel de presupuestos públicos, y se refieren a la orientación que se les da a los recursos monetarios del país.
- 3) Sectoriales: Su objetivo principal es el de desarrollar específicamente aquel sector de la economía en el que estén interesados tanto los inversionistas privados como el gobierno. Tal es el caso, por ejemplo, de las inversiones que se realizan en la agricultura, minería, industria, etc.
- 4) Regionales: Se formulan cuando la acción del Estado se limita al desarrollo de ciertas regiones, que pueden abarcar uno, dos o más listados, departamentos o zonas. En algunas ocasiones, por convenio suscritos, abarcan dos países.
- 5) Individuales: Estos se refieren específicamente a proyectos de inversión pública con mayor o menor participación privada, los que pueden ser aislados o ligados entre sí.

Cualesquiera de estos esquemas de desarrollo parcial sólo puede obtener el óptimo de la utilización de los recursos disponibles en el ámbito del programa mismo. Por lo tanto, sus alcances son limitados. Sin embargo, no existe ningún impedimento para que en estas circunstancias y a falta de las condiciones sociales, políticas y económicas adecuadas para formular un plan, sea posible proceder a una programación racional.

De entre los tipos de programación parcial más importantes se encuentra el más microeconómico, o sea, el proyecto específico de inversión.

Existe una diferencia entre programa y proyecto: "el primero comprende una serie de proyectos específicos" y el segundo se refiere a una inversión concreta. Aparece, entonces, el análisis de los mismos como el último acto de la programación global desde arriba y el primero de la programación global desde abajo.

En el contexto de la planeación nacional se han venido creando esquemas de programación parcial, como los proyectos. Y de hecho, éstos se han destinado a resolver problemas regionales y estatales. De ahí la importancia que tiene su formulación y evaluación, al evitar el derroche de los recursos económicos, que de otra manera, se perderían al no existir estudios apropiados.

## 2. EL PROYECTO Y SUS ETAPAS DE DESARROLLO

En términos comunes, un proyecto significa cualquier idea, siendo más generalizado el concepto arquitectónico o de ingeniería. Sin embargo, un proyecto, desde el punto de vista económico es la "más pequeña unidad de inversión considerada en el curso de la programación, esto es, un mínimo de obras capaz de vida autónoma, que por razones de complementariedad técnica representa un todo en sí mismo, en el que no se puede prescindir de una de sus partes sin que se resientan las otras".

Las Naciones Unidas lo definen diciendo que un "Proyecto es una unidad de actividad de cualquier naturaleza, que requiere para su realización del uso o consumo inmediato o a corto plazo de algunos recursos escasos o al menos limitados (ahorros, divisas, talento especializado, mano de obra calificada, etc.); aún sacrificando beneficios actuales y asegurados, en la esperanza de obtener, en un período de tiempo mayor, beneficios superiores a los que se obtienen con el empleo actual de dichos recursos, sean éstos nuevos beneficios financieros, económicos o sociales".

El planteamiento y la ejecución de cualquier inversión pública o privada puede ser realizada a base de proyectos, los cuales se clasifican en la siguiente forma:

- a) Proyectos Agropecuarios.- Abarcan todo el campo de la producción animal y vegetal: las actividades pesqueras y forestales se consideran a veces como agropecuarias y otras como industriales. Los proyectos de riego, colonización, reforma agraria, extensión y crédito agrícola y ganadero, mecanización de faenas y abono sistemático suelen incluirse en los proyectos complejos de esta categoría - aunque individualmente pudieran clasificarse como proyectos de infraestructura o servicios.
- b) Proyectos Industriales.- Comprende toda el área manufacturera, la industria extractiva y el procesamiento de los productos extractivos, de la pesca, de la agricultura y de la actividad pecuaria.
- c) Proyectos de Infraestructura Social.- Tienen la función de atender necesidades básicas de la población, como salud, educación, abastecimiento de agua, redes de alcantarillado, vivienda y ordenamiento especial urbano y rural.
- d) Proyectos de Infraestructura Económica.- Incluye los proyectos de unidades directa o indirectamente productivas que proporcionan a la actividad económica ciertos insumos, bienes o servicios, de utilidad general tales como energía eléctrica, transporte y comunicaciones. Esta categoría comprende los proyectos de construcción, ampliación y mantenimiento de carreteras, ferrocarriles, aerovías, puertos y navegación, centrales eléctricas y sus líneas y redes de transmisión y distribución, sistemas de telecomunicaciones y sistemas de información.

e) Proyectos de Servicios. - Son aquellos cuyo propósito no es producir bienes materiales, sino prestar servicios de carácter personal o a través de instituciones. Incluidos entre ellos los trabajos de investigación tecnológica o científica. La comercialización de los productos de otras actividades y los servicios sociales que no están incluidos en la infraestructura social.

Se piensa que todos los estudios de ciertas ideas se pueden llamar proyectos. Para llegar a esto concepto, se tiene que pasar por una serie de etapas o análisis de dichas ideas.

Las etapas de este análisis, son los siguientes:

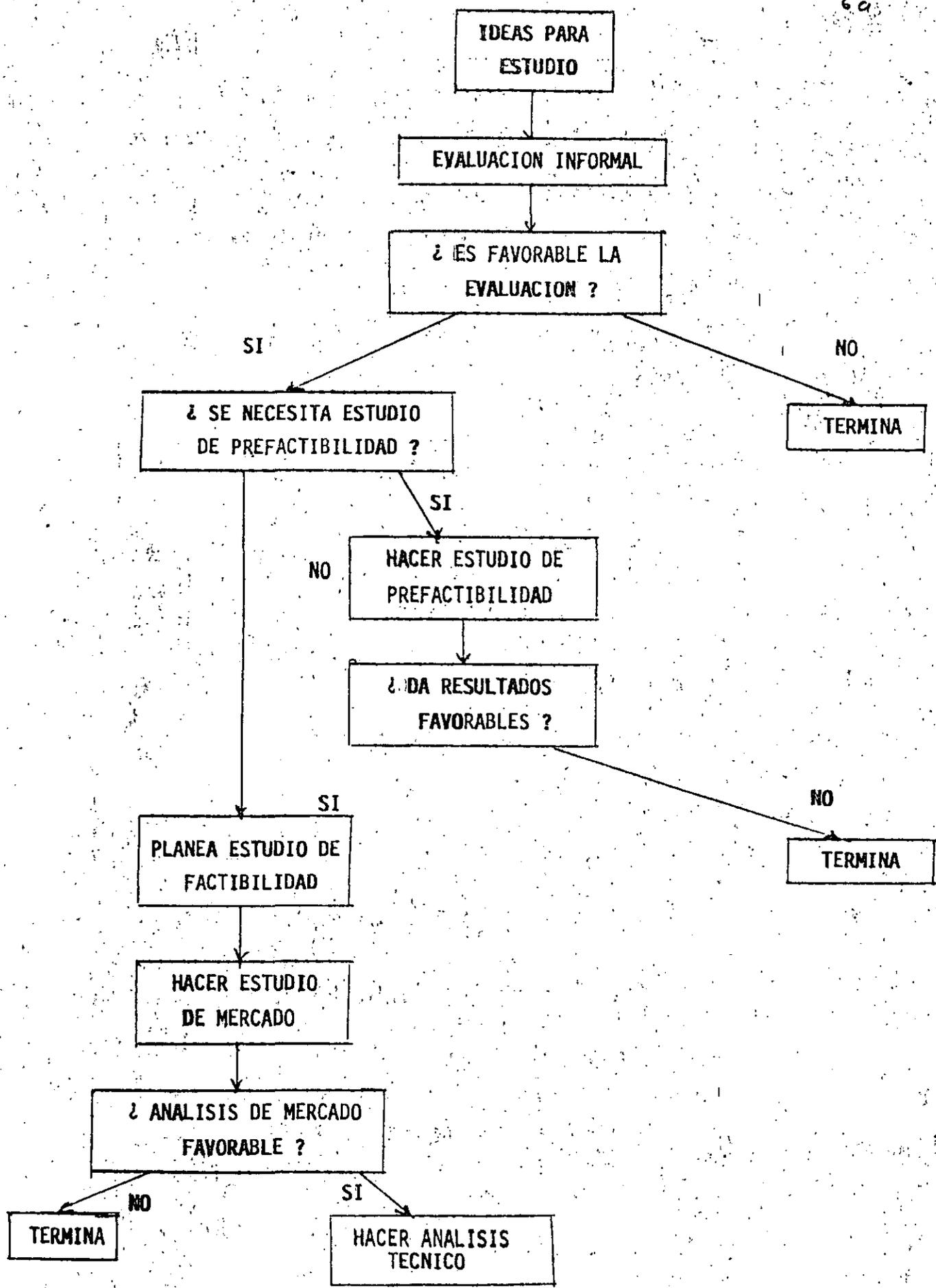
1) Identificación de la idea. - Se trata de reconocer, basándose en la información existente e inmediatamente disponible, si hay o no alguna razón bien fundada para rechazar de plano la idea del proyecto, si no la hubiese se adoptaría la decisión de proseguir con el análisis en la etapa siguiente; para ello, en esta primera etapa se trataría de definir y delimitar la idea del proyecto, identificando sus posibles soluciones y alternativas, técnicas y económicas, mediante el estudio de los siguientes temas.

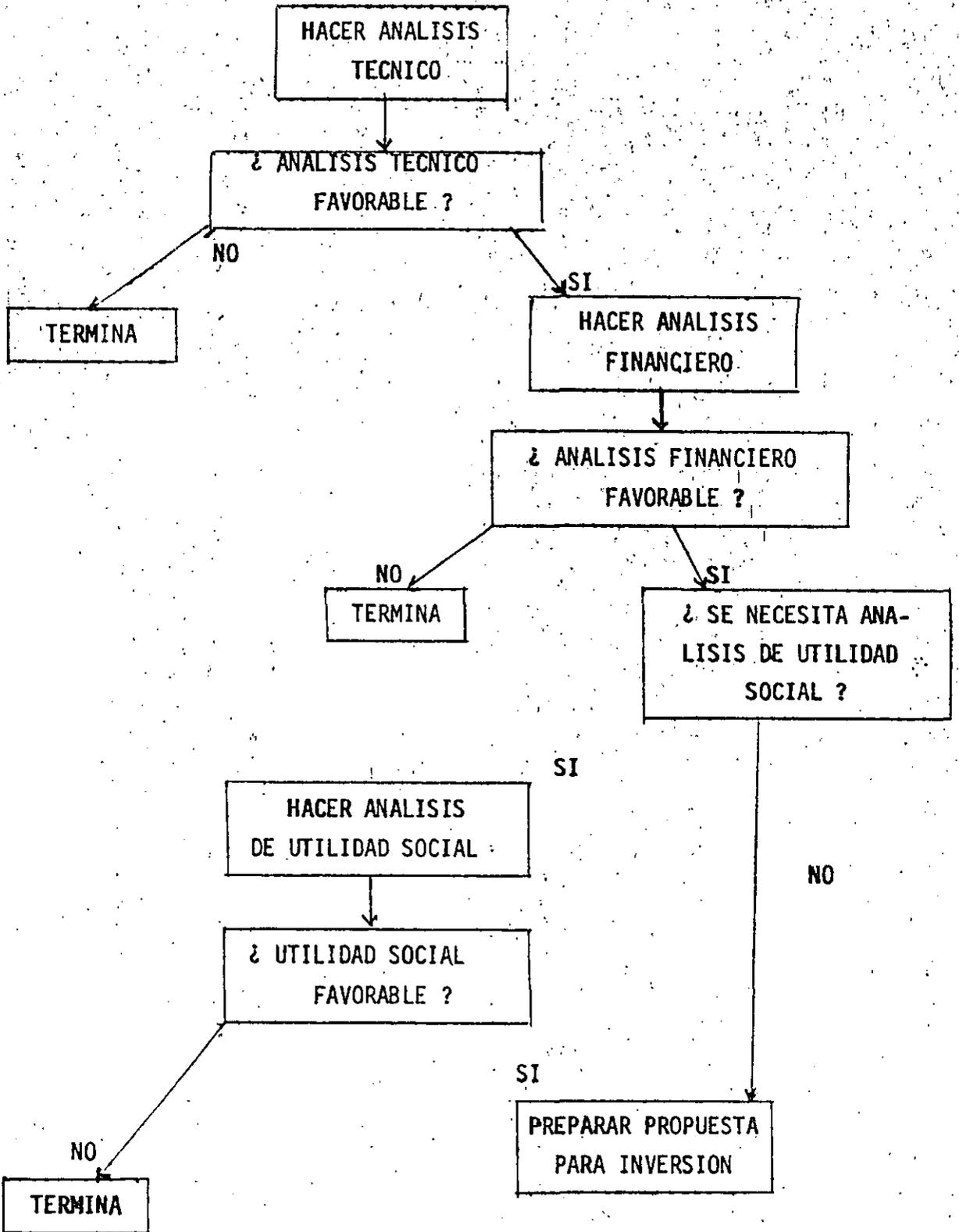
a) Mercado y Tamaño. - Se realiza una breve inspección del mercado, principalmente haciendo uso de las estadísticas disponibles que permitan obtener datos acerca del volumen y valor de la oferta, su origen y los indicadores de tipo general sobre la evolución de la demanda. Lo más importante es detectar los factores limitantes del mercado, respecto a la inexistencia de niveles de demanda adecuados a la poca accesibilidad a la demanda, etc.

También a nivel de idea, deberá hacerse una estimación aproximada de ciertos tamaños de producción aceptables.

PROCESO DE UN ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

6a





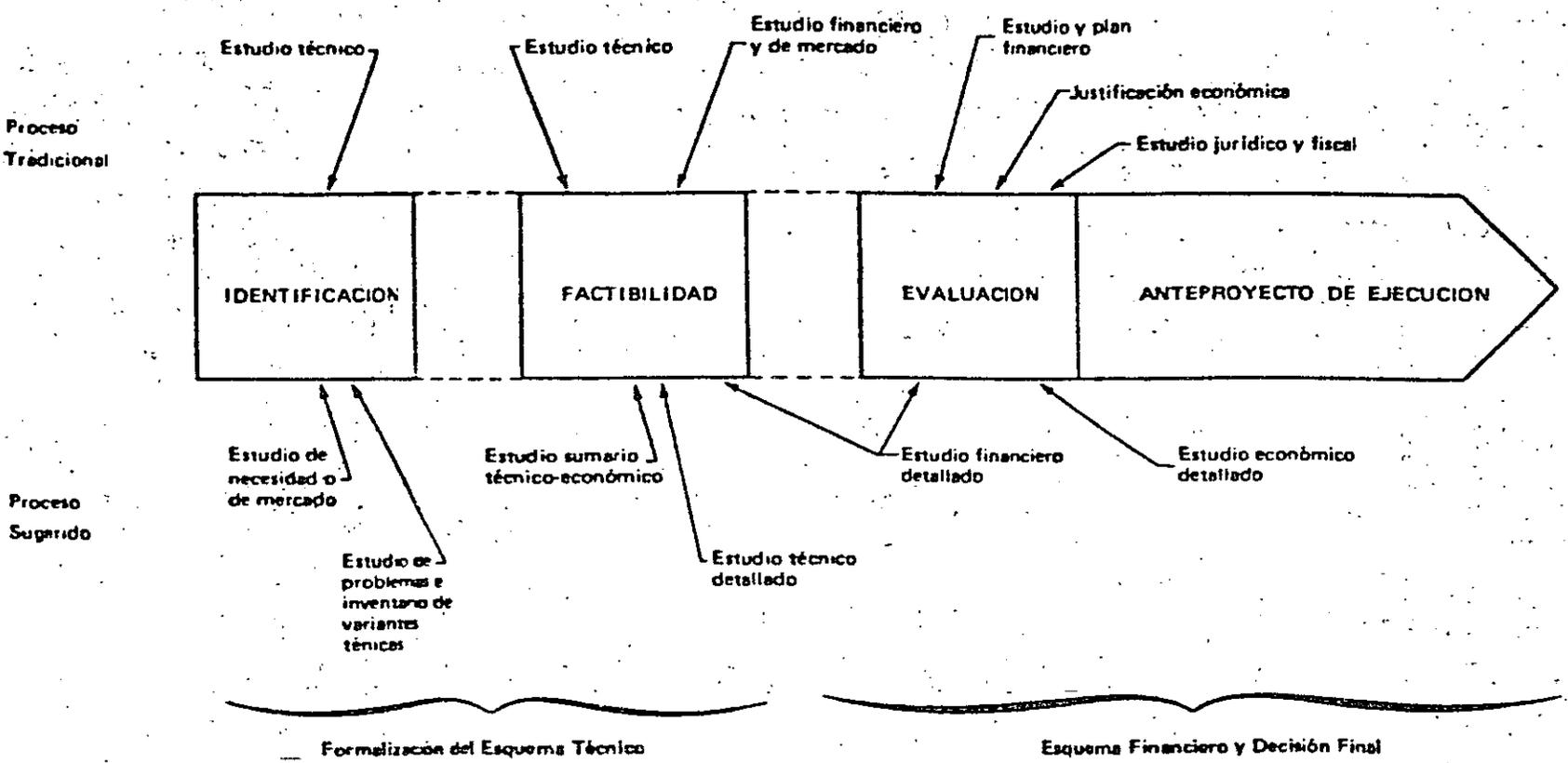


FIG. ESQUEMA DE ESTUDIOS EN UN PROCESO DE PREPARACION DE UN PROYECTO

b) Disponibilidad de insumos.- Se trata de analizar la existencia de un recurso o recursos que constituyen la materia prima básica y demás elementos complementarios de la producción de un bien; su localización geográfica, medición estimada, su estado actual de explotación y las posibilidades técnicas, futuras, de explotación.

c) Tecnología.- Fundamentalmente es el estudio de la tecnología adecuada para producir el tipo de bien de que se trate y su disponibilidad nacional o extranjera.

d) Monto de la Inversión.- Derivado del tema anterior, la cantidad aproximada que se requiere invertir y la capacidad financiera del patrocinador o patrocinadores; finalmente.

e) El Marco Físico, Social y Político.- El cual incluirá un breve análisis sobre las deficiencias de la infraestructura, a capacidad ociosa en plantas industriales similares existentes en la región o país; las disposiciones legales vigentes en el lugar y que afectan a la idea de inversión; la ecología, etc.

Lo importante es dejar establecido que en esta primera etapa, independientemente de que haya sido aceptada o no, se deben señalar aquellos aspectos del problema que representen un obstáculo para la consecución del objetivo final, y que deán estudiarse en el siguiente paso denominado:

2) El Anteproyecto Preliminar.- Su "característica principal es la de ser como un filtro, como un tamiz que permite llevar a cabo una importante depuración entre los posibles caminos que con mayor éxito- puedan conducir al resultado buscado. Lo que se pretende es analizar las posibles soluciones para el aprovechamiento, por ejemplo, de un recurso natural, y seleccionar una de ellas."

4) Presupuestos y Financiamiento.- La idea principal es la de proyectar los ingresos futuros del proyecto, los costos totales de producción, los costos financieros, las obligaciones fiscales y laborales. Las utilidades obtenidas, las aportaciones de los socios y los créditos indispensables.

5) La organización de la futura empresa debe concebirse según las necesidades planteadas y de acuerdo con las leyes mercantiles vigentes.

6) Evaluación Privada y Social.- "La evaluación consiste en realizar una apreciación comparativa entre las posibilidades de uso de los recursos representados por los proyectos de inversión."

En realidad, esta definición es incompleta si se toma en cuenta que un nuevo proyecto tiene diferentes repercusiones tanto para la institución o entidad promotora, como para la sociedad en su conjunto.

Este tema suele considerarse por algunos autores como el análisis financiero y económico de los proyectos. El primero, se refiere "en averiguar cómo se realizará la financiación de primer establecimiento, o sea, quién lo efectuará y de qué forma, a qué gastos de funcionamiento se atenderá, cuáles son los ingresos previsibles, cómo tendrá lugar el reembolso de los gastos a la entidad financiadora, quién lo efectuará, en qué medida y en qué período de tiempo, y así sucesivamente". En resumen, "trata de descubrir si los ingresos monetarios derivados del proyecto serán tales, que cubran los gastos de capital y explotación". Por su parte, el análisis económico, se refiere al estudio del impacto que produce un nuevo proyecto en la sociedad.

Los estudios comprendidos en esta etapa de desarrollo de los proyectos, deberán realizarse con todo el rigor científico requerido para presentar el documento a una institución u organismo financiero, que será la encargada de tomar la decisión de llevar adelante el proyecto, mediante el otorgamiento de los fondos necesarios para su construcción.

4) Proyecto Detallado.- Una vez aprobado el financiamiento, el siguiente paso será el de realizar un análisis de ingeniería en el que se especifiquen, con el máximo detalle, las condiciones y características técnicas que debe cumplir en la realidad la futura empresa. El resultado recibe el nombre de Proyecto de Inversión.

### 3. LA FORMULACION DE UN ANTEPROYECTO DEFINITIVO O ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

#### Definición y Propósitos

El anteproyecto definitivo (también denominado estudio de factibilidad o de viabilidad Técnica-Económica) es una investigación que abarca todos los datos e informaciones relevantes para un proyecto de inversión: estos datos e informaciones son ordenados y presentados en forma sistemática, suficiente y adecuada para facilitar una decisión en cuanto a la implementación técnica y económica del proyecto. Figura 6.

Esta definición señala claramente el propósito de un Estudio de Factibilidad como instrumento para tomar decisiones y en este caso, es un instrumento para tomar una decisión acerca de una inversión. Por lo tanto, la recolección y la investigación de los datos se guía por el propósito de tomar una decisión.

El Estudio" debe desarrollarse de un modo ordenado, como una investigación y un análisis completos, para evitar las pérdidas que ocasiona el emprender un proyecto incorrecto. El procedimiento debe permitir la fácil eliminación del proyecto, con un mínimo de gasto inútil, si se aclara en cualquier momento que no debe continuarse con él. De estos principios, se desprenden dos conclusiones: la investigación y el análisis técnicos, económicos y financieros de un proyecto propuesto, deben coordinarse y escalonarse en fases, según una norma concreta, de manera que no se olvide ningún aspecto importante; y sólo deben contraerse compromisos financieros paso a paso, a medida que se comprueba por el trabajo ya hecho la validez de cada paso. Si no se sigue este avance sistemático es fácil invertir grandes sumas de dinero en un proyecto que tiene que abandonarse posteriormente o continuar con otro improductivo por haberse invertido ya demasiado en él".

### Contenido y Secuencia

Los estudios correspondientes, se dividen en cuatro grandes temas: Mercado y comercialización; Aspectos técnicos del proyecto; Presupuestos y financiamiento; Organización de la empresa y evaluación económica y social. A continuación, se explican tanto su contenido como la secuencia de

1) Estudio de Mercado y Comercialización.- "El objetivo del estudio de mercado en un proyecto consiste en estimar la cuantía de los bienes o servicios provenientes de una nueva unidad de producción que la comunidad estaría dispuesta a adquirir a determinados precios. Esta cuantía representa la demanda desde el punto de vista del proyecto y se especifica para un período convencional."

Otros autores hablan de los efectos hacia atrás (los que se producen principalmente en la demanda derivada) y hacia adelante (los que se producen en la demanda final), etc.

En este caso, el problema que se desea resolver es determinar la forma de distribuir los recursos económicos de tal manera que su empleo sea óptimo. Ello implica establecer preferencias entre distintas alternativas.

Para esto, se necesita medir la relación que existe entre los recursos utilizados con los resultados o beneficios obtenidos, utilizando, entre otras técnicas, como el valor presente, la tasa interna de rendimiento y el costo-beneficio. A su vez, la aplicación de estos indicadores tiene un sentido diferente cuando se refiere a tres distintos intereses, los cuales puede ser: 1) El empresario; 2) El proyecto en sí, y 3) La sociedad.

Los puntos 1) y 2) caen en lo que se denomina Evaluación Privada; y el punto 3), Evaluación Social.

Los datos y la información deben ordenarse y presentarse en una forma que permita un resumen fácil de los resultados. La forma de la presentación es muy importante para tomar una decisión; por consiguiente, debe ser objetiva y señalar tanto los resultados positivos como los negativos. El término suficiente implica que el estudio sea amplio, ya que una investigación incompleta no es adecuada para tomar una decisión bien fundada.

Por lo general, el objetivo del estudio se limita a la investigación de la factibilidad técnica y económica. Por lo tanto, todas las consideraciones y los detalles que se presentan después de haber tomado una decisión acerca de un proyecto no se tratan en un es

tudio de factibilidad. Entre otros factores, los de mayor relevancia práctica son aquellos que se refieren al financiamiento del proyecto. De hecho, un estudio, con frecuencia es el instrumento para llevar a cabo las negociaciones con instituciones financieras y con futuros inversionistas. Esta es otra razón por la cual no se incluyen propuestas o recomendaciones acerca del tipo de financiamiento de un proyecto para no perjudicar estas negociaciones. Este no es el caso si el inversionista mismo presenta el estudio, y si posiblemente desea ofrecer algunas condiciones atractivas. Por lo general, en el estudio tampoco se incluyen los detalles acerca de la realización técnica y comercial, tal como la selección de los abastecedores de maquinaria y de administración. Su propósito es el de enfocar y de proporcionar una base para tomar una decisión de inversión, y, por lo tanto, su contenido no debe anticipar ninguna acción que deba seguirse después de haber tomado esa decisión.

#### 4. LIMITACIONES DE LOS PROYECTOS

Cuando se analiza un proyecto se tiene que tomar en cuenta las limitaciones que existen en una serie de aspectos, que hacen que la libertad con que se estimen ciertos datos o se hacen supuestos sea más o menos relativa. Estos aspectos se relacionan con:

El Mercado: Se presentan limitaciones con el mercado porque en algunos casos puede existir una demanda potencial importante que para convertirla en demanda real serán necesarios mecanismos publicitarios o promocionales que hagan que el consumidor actúe motivado hacia la acción efectiva de la compra.

Cuando el producto es nuevo, por lo general, no existe una demanda verdadera en el sentido estricto de la palabra; ésta debe crearse y si bien es cierto que no existe competencia, se tendrán que interponer los medios necesarios para acercarse al consumidor.

De todos modos y en cualquier caso, la instalación de una nueva empresa no implica la recurrencia automática del mercado hacia ella y, por lo tanto, la organización comercial deberá proyectarse para una enérgica actuación en la transposición del mercado comprador de otras fuentes de oferta hacia la recientemente creada.

Otra limitación por el mercado, es la del tamaño regional de la demanda, ya que algunos proyectos no pueden ser rentables si sólo contemplan la satisfacción de una demanda local. En este caso, debepreciarse, desde el principio, en que el proyecto puede necesitar distribución a nivel nacional y en algunos casos internacional.

Diseño del Producto: La teoría necesaria para la creación y elaboración de un producto, concluye en la generalización abstracta o en un producto definido a la manera como teóricamente fue desarrollado en otro país. En el primer caso deberá contarse con los conocimientos técnicos para crear realmente el producto en todos sus detalles partiendo del proceso de producción y medios auxiliares disponibles. Para poder permanecer en el mercado es necesario desarrollar variantes cada vez mejores, en el diseño del producto, algunas de ellas podrán ser sustanciales y otras de menor cuantía, pero en cualquier caso, requieren de una buena organización técnica. Si por el contrario, se trata de un producto diseñado en otro país, su copia rigurosa puede traer grandes dificultades porque no estará adaptada a la tecnología de proceso disponible o requerirá niveles de producción que por su costo son muy difíciles de obtener en la zona. La "tradicción" de los planos, especificaciones y detalles menores del producto es una labor que

requiere un conocimiento profundo de las responsabilidades del área y no debe descuidarse en la preparación del proyecto.

Tecnología del Proceso: Para algunos productos existen procesos de tecnología muy avanzada que requieren equipos de capacidad muy superior a la demanda que se desea satisfacer; como consecuencia, el proyecto, en su tamaño mínimo técnico, se muestra sobre-dimensionado y puede suceder que tecnologías menos avanzadas sean más convenientes por requerir menos inversión, ser más flexibles y necesitar menos entrenamiento básico.

Materias Primas: Las materias primas representan también una limitación importante, no sólo por la cantidad disponible en la zona sino por su calidad. Los procesos y equipos que precisan instalarse pueden provenir de países de tecnología desarrollada, donde se utilizan materias primas similares a las disponibles en la zona del proyecto, pero no idénticas y los equipos pueden estar diseñados para la calidad existente en el país de origen que no es posible conseguir en el área del proyecto. Por otra parte, debe considerarse que en zonas con desarrollo incipiente puede existir una cierta materia prima, pero no existe la seguridad del suministro continuo; en estos casos, deben preverse inversiones adicionales en inventarios y la combinación de las compras locales con importaciones.

Mano de Obra: En algunas regiones, la mano de obra es abundante, pero tiene poco entrenamiento básico e incluso muchas veces es analfabeta. Instalar un proyecto en zonas donde la mano de obra va a ser entrenada, implica un esfuerzo sumamente grande, que no puede dejarse de tenerse en cuenta.

Tampoco deben dejarse de considerarse las costumbres de trabajo en la zona, pues en algunos casos, el trabajador agrícola siente

que su presencia según un horario determinado y rígido es innecesaria y pueden presentarse dificultades para lograr la mínima disciplina compatible con la organización fabril. En todo proyecto que se instale en una zona de desarrollo incipiente hay que tener en cuenta, inevitablemente el alto costo del entrenamiento y reentrenamiento derivado de la alta rotación de la mano de obra.

Dentro de esta misma limitación debe considerarse el problema de las remuneraciones, pues un nivel demasiado alto puede conducir a la inasistencia sistemática, si no hay educación suficiente en la mano de obra.

Si el proyecto requiere gerentes, administradores, ingenieros diseñadores y especialistas de distinta índole, debe precisarse que la movilización de estos individuos hacia la zona del proyecto sólo podrá lograrse con remuneraciones mucho más altas que las que los satisficían en la que están radicados en el momento y que puede presumirse sea una zona industrial aparentemente.

Además debe tenerse en cuenta que una parte de la mano de obra intelectual tendrá que ser seleccionada localmente y entrenada especialmente para el proyecto. Por último debe pensarse que la mano de obra intelectual proveniente de otras regiones tendrá una alta rotación, porque muchas de ellas llegarán atraídas por la alta remuneración y volverán a su zona de origen cuando hayan logrado un "ahorro" que les satisfaga al sacrificio realizado.

Proveedores de Partes y Servicios: La existencia local de proveedores de parte y servicios debe tomarse en cuenta. En zonas de desarrollo incipiente habrá que pensar en una etapa inicial de autoabastecimiento del proyecto puesto que no van a existir de inmediato -

proveedores hábiles. En zonas donde existan deben investigar la calidad y seriedad de sus suministros e incluir en el proyecto las etapas de asistencia técnica para su desarrollo a los niveles de calidad y seguridad en la entrega, que el proyecto requiere.

Insumos Auxiliares: La energía eléctrica disponible puede convertirse en una limitación importante porque puede no tener la calidad necesaria o no ser confiable, lo que exigirá una planta de fuerza motriz independiente, cuyo costo debe incluirse. Dentro de este mismo concepto debe estudiarse la existencia de aprovisionamiento de agua y desagüe industriales, los que en caso contrario, deben incluirse en el proyecto a un costo adicional a veces muy alto.

Comunicaciones: Tanto para la entrada de materiales de servicios como para la salida de los productos terminados, la infraestructura de las comunicaciones puede hacer variar las necesidades de inversión, los inventarios necesarios y las dimensiones del proyecto. Las comunicaciones orales o equivalente, como el teléfono y el télex son factores que facilitan la operación o la limitan en caso de no existir.

Factores de Clima y Estructura Geofísica: Son importantes en la zona donde se harán las construcciones del proyecto, pues una temperatura y humedad extremas exigirán instalaciones de aire acondicionado o calefacción y un suelo reseco o muy blando necesitarán cimientos o pilotajes especiales que en todo caso deben considerarse en el proyecto.

Medios Económicos y Financieros: La capacidad limitada para invertir, obliga a veces al inversionista a seleccionar un tamaño y capacidad de producción que puede no ser la más adecuada. Sin embar

go, sólo evaluando económicamente el proyecto, se sabrá si es o no rentable con el tamaño escogido. También a través de la evaluación podremos recomendar la política más conveniente para acumular los beneficios de los años iniciales y con estos, ampliar posteriormente la planta para llegar así, a tamaños más rentables.

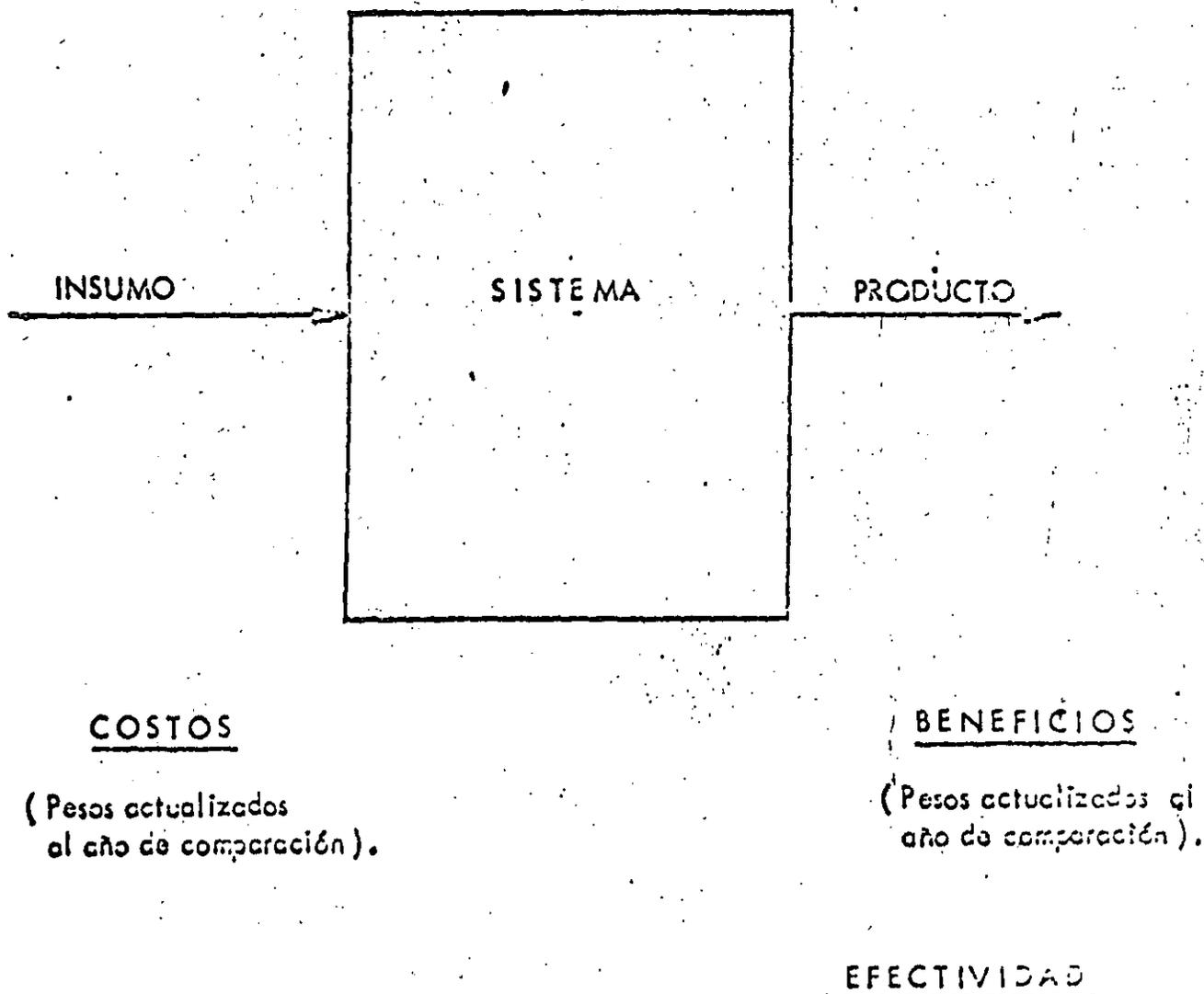
A veces, el proyecto debe ajustarse a ciertas condiciones de disponibilidad de dinero, que pueden no ser las óptimas. Eso se presenta porque los inversionistas no cuentan con los recursos propios en el momento de la instalación y tienen que recurrir a un crédito limitado. De esta manera, se tendrá que instalar el proyecto y ponerlo en marcha con un flujo financiero prefijado e invariable que puede no ser el adecuado.

Limitaciones de Carácter Legal y Reglamentario: Pueden existir y no ser tenidas en cuenta en el proyecto. Los convenios prioritarios de leyes que reglamentan los horarios y edades de trabajo, autorizaciones para el consumo de energía, desagüe de aguas servidas y demás leyes y reglamentos aplicables pueden influir notablemente en la formulación de un proyecto si se toman debidamente en cuenta.

## 5. LA EVALUACION DE UN ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

En los párrafos anteriores se mencionó el concepto de evaluación, tanto desde el punto de vista financiero, como desde el punto de vista económico. En realidad, puede afirmarse que la medición de la capacidad del proyecto para generar por sí mismo los ingresos que permitirán su autofinanciamiento, así como del impacto que producirá el proyecto en la sociedad, forman parte del proceso de preparación del estudio.

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



Los métodos de evaluación de alternativas 26

excluyentes, esencialmente son 2:

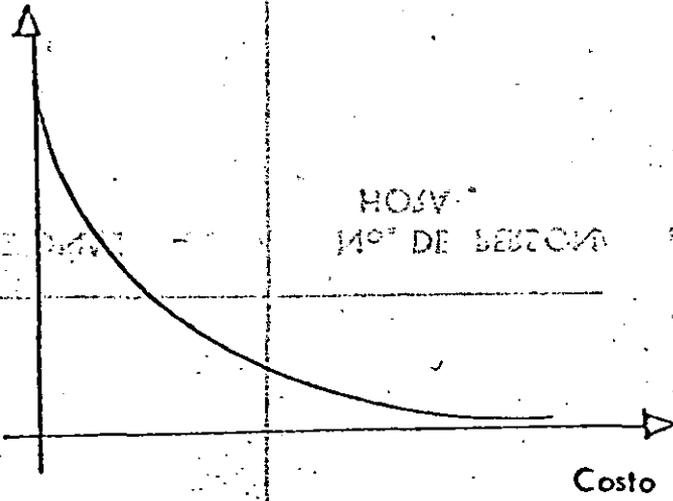
- a) Análisis de Beneficio-Costo
- b) Análisis de Efectividad-Costo

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

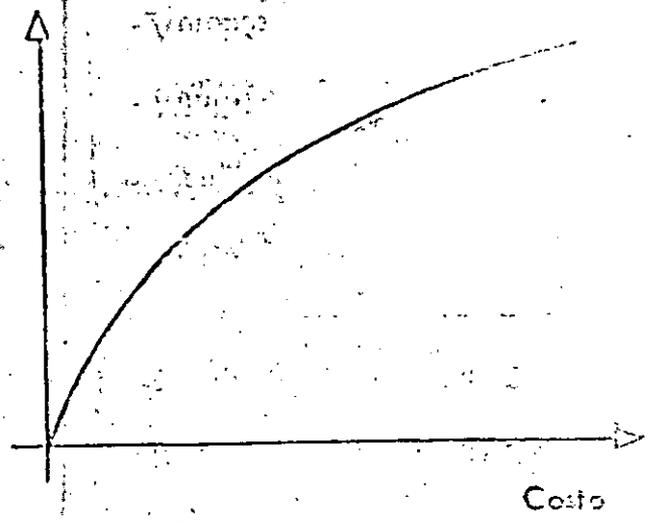
En el segundo sólo los insumos pueden ser evaluados por precios de mercado, en tanto que para los productos no existen valores en el mercado y son evaluados mediante su efectividad.

<u>OBJETIVO</u>	<u>MEDIDA DE EFECTIVIDAD</u>	<u>ALTERNATIVAS</u>
REDUCIR EL ANALFABETISMO	No. DE PERSONAS ALFABETIZADAS POR AÑO.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incrementar el No. de Maestros.</li> <li>- Incrementar el uso de la Radio y T.V.</li> <li>- Realizar propaganda para que el que sabe enseñe al que no sabe leer.</li> <li>- Orientar el Servicio Social de los Pasantes.</li> </ul>
DEFINIR EL CRUZAMIENTO EN UN RIO.	No. DE VEHICULOS / HORA.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Transbordador</li> <li>- Puente de Concreto</li> <li>- Puente de Acero</li> <li>- Desviar el cruzamiento 5 Km.</li> <li>- Desviar el cruzamiento 3 Km.</li> </ul>
COMUNICAR 2 ZONAS URBANAS.	No. DE PERSONAS TRANSPORTADAS / HORA.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Metro</li> <li>- Mon. iel.</li> <li>- Minibús</li> <li>- Autobús</li> <li>- Trolé-bus.</li> </ul>

Efectividad



Efectividad



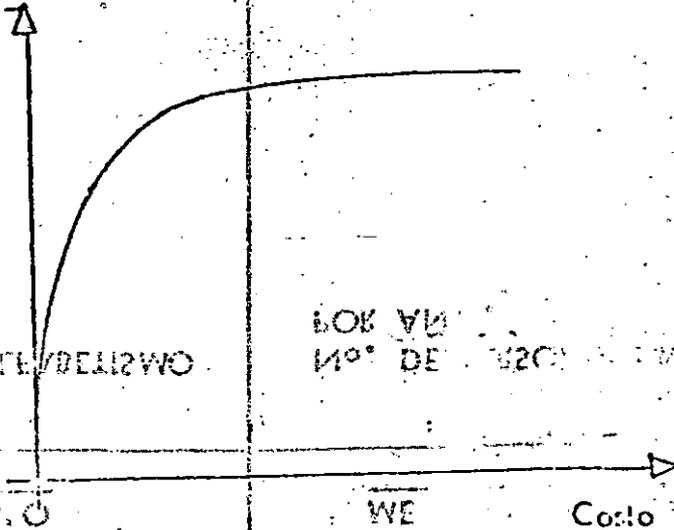
CONTRIBUCION A LA EFECTIVIDAD

NOV. NO. DE RECURSOS

EN UN NIVEL DE EFECTIVIDAD

NO. DE RECURSOS

Efectividad

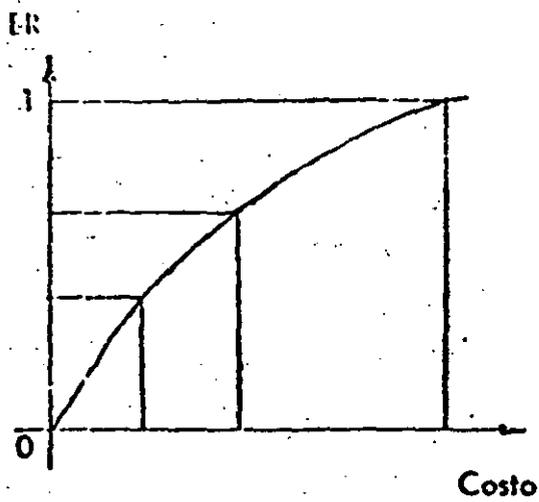


RECURSOS EN UN NIVEL DE EFECTIVIDAD

NO. DE RECURSOS

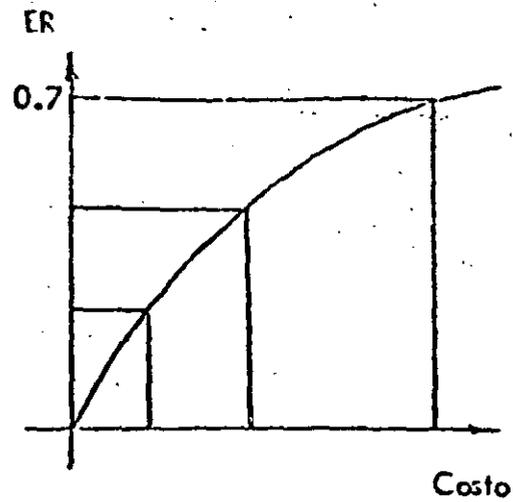
FUNCION EFECTIVIDAD-COSTO

<u>OBJETIVO</u>	<u>MEDIDA DE EFECTIVIDAD</u>	<u>ALTERNATIVAS</u>
REDUCIR EL ANALFABETISMO	No. DE PERSONAS ALFABETIZADAS POR AÑO.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incrementar el No. de Maestros.</li> <li>- Incrementar el uso de la Radio y T.V.</li> <li>- Realizar propaganda para que el que sabe enseñe al que no sabe leer.</li> <li>- Orientar el Servicio Social de los Pasantes.</li> </ul>
DEFINIR EL CRUZAMIENTO EN UN RIO.	No. DE VEHICULOS / HORA.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Transbordador</li> <li>- Puente de Concreto</li> <li>- Puente de Acero</li> <li>- Desviar el cruzamiento 5-Km.</li> <li>- Desviar el cruzamiento 3 Km.</li> </ul>
COMUNICAR 2 ZONAS URBANAS.	No. DE PERSONAS TRANSPORTADAS / HORA.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Metro</li> <li>- Monoriel</li> <li>- Minibús</li> <li>- Autobús</li> <li>- Trolébus</li> </ul>



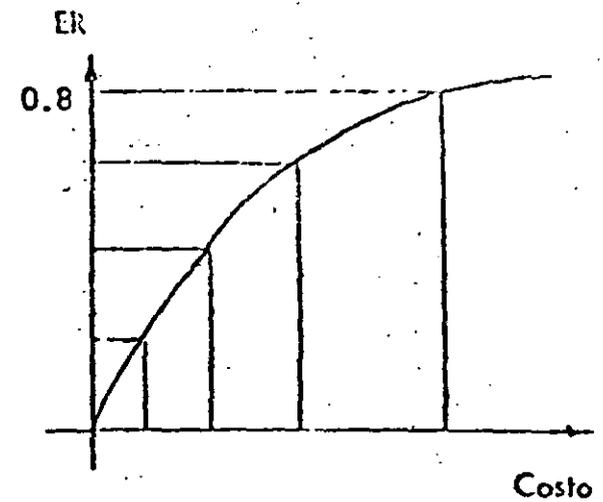
ER = 1.

1



ER = 0.7

2



ER = 0.8

3

PLANTEAMIENTO

Maximizar

$$Z = \sum E_i X_i$$

s.a.

$$\sum C_i X_i \leq D$$

$$X_i = 0 \text{ ó } 1$$

en donde :

$Z$  = Valor de la función objetivo

$E_i$  = Efectividad del proyecto  $i$

$C_i$  = Costo del proyecto  $i$

$X_i$  = Variable decisional que toma el valor 0 ó 1

técnica, que como es sabido es el cociente de sus productividades marginales.

El cambio (tradeoff) es entonces la tasa a la que un insumo puede ser sustituido por otro manteniendo el mismo nivel de producto o efectividad de diseño.

Para el mejor diseño esta fracción debe ser igual al cociente de los costos marginales de los factores usados.

De esta manera el analista: a) determinará un diseño particular que es técnicamente eficiente. b) calculará el cociente de las productividades marginales de los recursos empleados en ese diseño, así como sus costos. c) buscará otro diseño que incremente el uso de los recursos con la mayor productividad y disminuya el uso de recursos con la menor productividad. d) continuará de esta manera hasta lograr las condiciones del óptimo.

### 138. Ejemplo de Análisis Efectividad-Costo (De Naufville)

Se intenta encontrar el medio de mayor efectividad para disminuir los accidentes en cruces ferroviarios en una zona urbana.

Los datos se suministran en la siguiente tabla:

Categoría	Tráfico diario en promedio	Número de trenes (por día)	Número de vías	Número de cruces
1	35,000-50,000	20	1	3
2	15,000-35,000	20	1	27
3	0-15,000	20	1	23
4	35,000-50,000	75	2	27
5	15,000-35,000	75	2	23
6	0-15,000	75	2	22

Se consideran cuatro alternativas de aviso a los automovilistas, cada una con su costo.

Alternativa	Costo anual (promedio)
a) barras cruzadas	\$ 42 (U. S. Dollars)
b) luces intermitentes	\$ 1,995 "
c) barreras automáticas	\$ 4,225 "
d) pasos o desnivel	\$ 67,900 "

Se supone que el número de accidentes se pueden producir mediante las ecuaciones de Newman:

$$NEA \text{ (barras)} = 0.0978A + 0.0014A^2 + 0.0013C + 0.0134D + 0.0090E + 0.0156G$$

$$NEA \text{ (luces)} = 0.0131A + 0.0009A^2 + 0.0145B + 0.0107C + 0.0170E + 0.0151G$$

$$NEA \text{ (barreras)} = 0.2469A + 0.0013A^2 + 0.0421B + 0.0073C + 0.0090D + 0.0073G$$

en donde:

- NEA = número esperado de accidentes por año
- A = promedio anual de tráfico diario (en cientos)
- B = número de vías
- C = visibilidad horizontal (valor típico = 20)
- D = promedio del número de trenes diarios
- E = factor del ángulo de cruceamiento (valor típico = 9)
- F = tipo de aproximación (v. t. = 5)
- G = visibilidad diagonal (v. t. = 5)

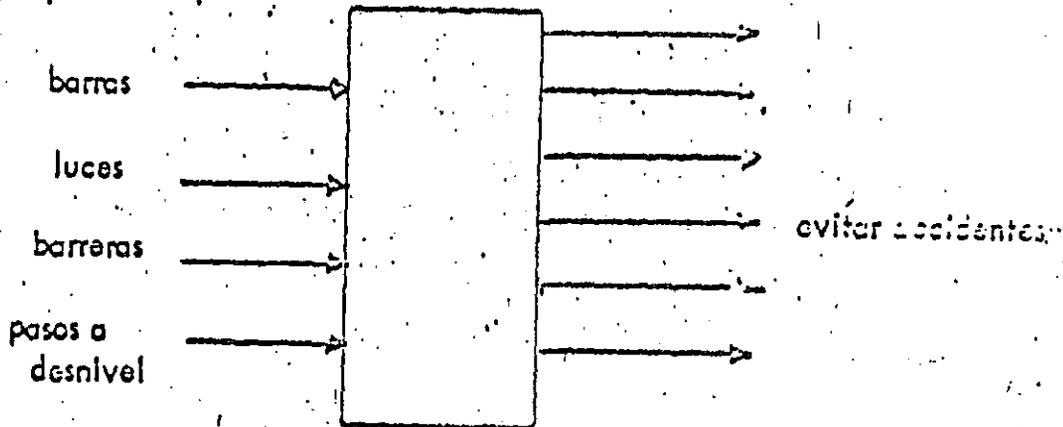
Solución

a) Cálculo del número esperado de accidentes por año.

Entrando a las ecuaciones de Newman con los datos de la tabla anterior:

Categoría	Barras	Luces	Barreras	Desnivel
1	1.12	0.85	- 0.40	0
2	0.91	0.72	- 0.13	0
3	0.63	0.54	0.22	0
4	2.03	1.45	0.08	0
5	1.82	1.32	0.35	0
6	1.54	1.14	0.71	0

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



Plan	Categoría y Alternativa						Costo	NEA (año)
1	1-1	2-1	3-1	4-1	5-1	6-1	7,770.00	282.1
2	1-1	2-1	3-1	4-3	5-1	6-1	120,931.00	229.5
3	1-3	2-1	3-1	4-3	5-1	6-1	133,560.00	224.9
4	1-3	2-1	3-1	4-3	5-3	6-1	481,579.00	102.9
5	1-3	2-3	3-1	4-3	5-3	6-1	501,790.10	74.2
6	1-3	2-3	3-1	4-3	5-3	6-2	637,756.10	66.0
7	1-3	2-3	3-1	4-3	5-3	6-3	637,036.10	55.3
8	1-3	2-3	3-3	4-3	5-3	6-3	723,475.10	47.1
9	1-3	2-3	3-3	4-3	5-3	6-4	2,004,105.50	31.5
10	1-3	2-3	3-3	4-3	5-4	6-1	333,502.00	2...
11	1-3	2-3	3-4	4-3	5-4	6-4	11,492,596.00	

PLAN 1										PLAN 2				PLAN 3				PLAN 4			
1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5		
1-2	0.25	1,253			0.25	1,253	0.25	1,253	128			0.25	1,053	128	-1.2	12,700					
1-3	-0.2	1,130			-0.2	1,130	1.02	4,193	264			1.02	4,193	364					-1.2	12,700	
1-4	0	1,130			0	1,130	1.12	3,185	12			1.12	3,185	12			-0.4	9,300	-4	1,130	
2-1	24.6	1,130	24.6	1,130	0.01	42				24.6	1,130				24.6	1,130			24.6	1,130	
2-2	0	1,130			0.12	1,053	0.12	1,053	28			0.12	1,053	28			0.19	1,953	98	0.19	1,953
2-3	-0.5	1,130			-0.13	4,235	1.04	4,193	248			1.04	4,193	248			1.04	4,193	248	1.04	4,193
2-4	0	1,130			0	3,185	0.72	3,185	8			0.72	3,185	8			0.72	3,185	8	0.72	3,185
2-5	14.5	965	14.5	965	0.02	42				14.5	965				14.5	965			14.5	965	
3-2	12.5	1,953			0.54	1,953	0.09	1,953	46			0.09	1,953	46			0.09	1,953	46	0.09	1,953
3-3	5.1	4,193			0.22	4,193	0.41	4,193	98			0.41	4,193	98			0.41	4,193	98	0.41	4,193
3-4	0	3,185			0	3,185	0.63	3,185	7			0.63	3,185	7			0.63	3,185	7	0.63	3,185
4-1	55	1,130	55	1,130	2.02	42															
4-2	14.1	1,953			1.45	1,953	0.08	1,953	231												
4-3	2.1	114,500			0.05	4,235	1.05	4,193	464	2.1	114,500				2.1	114,500			2.1	114,500	
4-4	0	3,185			0	3,185	2.03	3,185	23			0.09	3,185	0.9			0.09	3,185	9	0.09	3,185
5-1	151	3,480	151	3,480	1.82	42				151	3,480				151	3,480					
5-2	109	1,953			1.22	1,953	0.08	1,953	256			0.08	1,953	256			0.08	1,953	256		
5-3	29	3,510			0.35	4,235	1.47	4,193	345			1.47	4,193	345			1.47	4,193	345	29	3,510
5-4	0	3,185			0	3,185	1.82	3,185	21			1.82	3,185	21			1.82	3,185	21	0.35	3,510
5-5	33.8	925	33.8	925	1.54	42				33.8	925				33.8	925			33.8	925	
5-6	25.1	1,953			1.14	1,953	0.4	1,953	205			0.4	1,953	205			0.4	1,953	205	0.4	1,953
5-7	15.5	4,193			0.72	4,193	0.83	4,193	198			0.83	4,193	198			0.83	4,193	198	0.72	4,193
6-1	0	3,185			0	3,185	1.54	3,185	18			1.54	3,185	18			1.54	3,185	18	1.54	3,185
282.5				1,130						225.4	121,026				224.0	133,700					

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

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

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

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

C-1	PLAN 5				PLAN 6	PLAN 7				PLAN 8										
	AREA	PERIMETER	AREA	PERIMETER		AREA	PERIMETER	AREA	PERIMETER	AREA	PERIMETER	AREA	PERIMETER							
1-1	2.32	12.6	1.12	4.2																
1-2	2.32	5,975	0.25	1,725																
1-3	-1.2	12.7m	-0.42	1,575	-1.2	12.7m														
1-4	0	23,665	0	23,665	-0.42	23,665	-1													
2-1	2.6	1,125	0.91	42																
2-2	17.5	14,500	0.72	1,725																
2-3	-3.5	14,500	-0.13	1,725	-3.5	14,500														
2-4	0	23,665	0	23,665	-0.13	23,665	2													
3-1	11.5	965	0.23	42	11.5	965														
3-2	12.5	1,953	0.54	1,725																
3-3	5.1	1,193	0.22	1,193																
3-4	0	23,665	0	23,665	0.41	1,193	98													
4-1	55	1,125	2.03	42																
4-2	39.1	52,125	1.45	1,725																
4-3	2.1	14,500	0.08	1,725	2.1	14,500														
4-4	0	23,665	0	23,665	0.08	23,665	.9													
5-1	151	3,425	1.12	42																
5-2	109	14,500	1.32	1,725																
5-3	29	351,000	0.5	1,725	29	351,000														
5-4	0	23,665	0	23,665	0.35	23,665	4													
6-1	33.2	925	1.04	42	33.2	925														
6-2	25.1	14,500	1.15	1,725																
6-3	12.5	1,193	0.71	1,193																
6-4	0	23,665	0	23,665	1.54	1,193	18													
total					21.7															

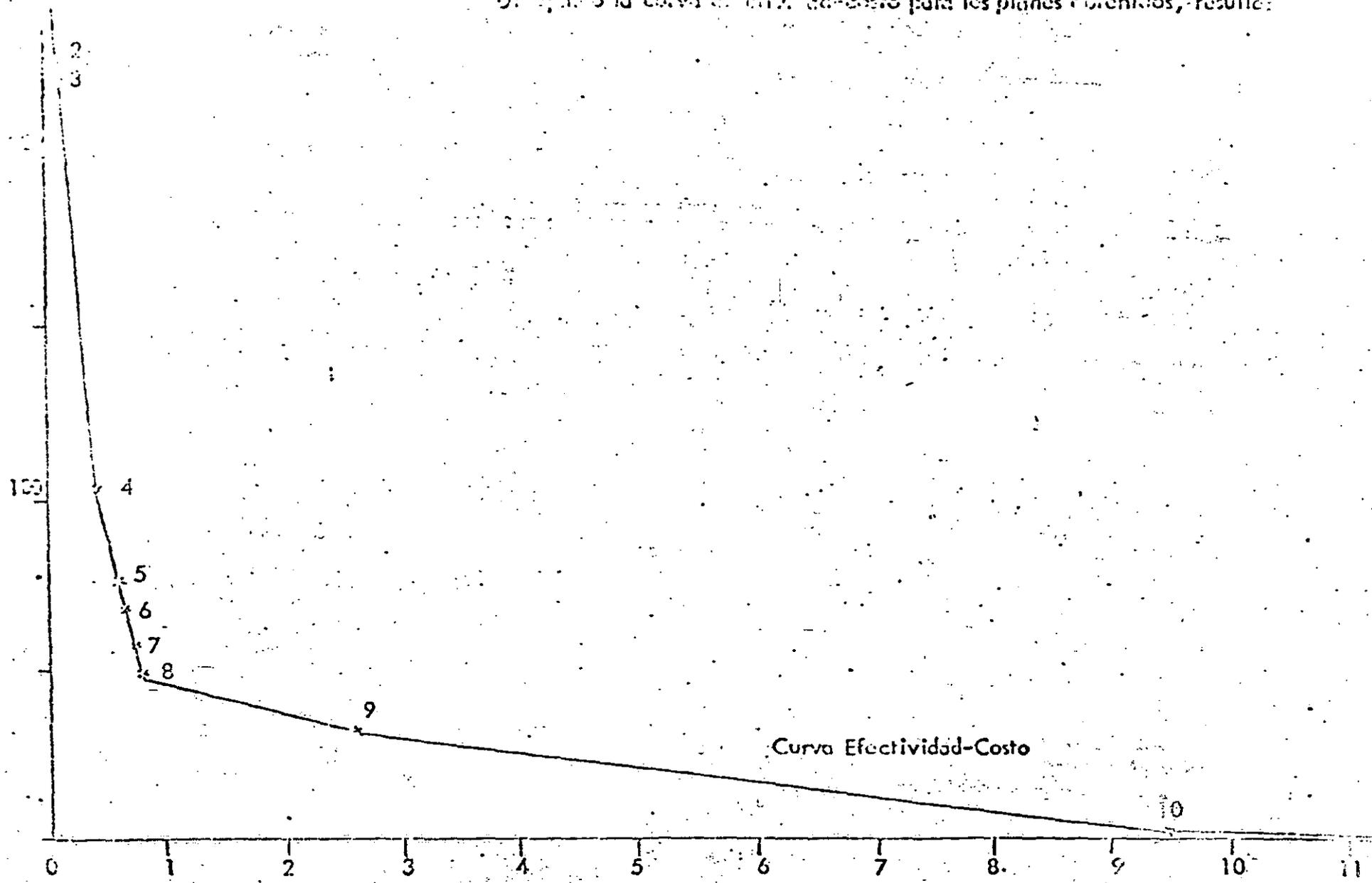
(1-3),(3-3)  
(3-1),(2-3)  
(5-3),(6-1)

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

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

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

Si se traza la curva de efectividad-costo para los planes obtenidos, resulta:



ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD  
Incremento del 2% en los Costos de Operación  
(Miles de Pesos)

CONCEPTO	HORIZONTE DEL PROYECTO (AÑOS)				
	1	2	3	4	5
A. Utilidad con el proyecto	1 215.7	1 696.6	2 212.2	3 054.4	3 709.8
B. Utilidad sin el proyecto	-	-	-	-	-
C. Saldos	1 215.7	1 696.6	2 212.2	3 054.4	3 709.8
D. Otros beneficios	-	-	-	-	-
E. Inversiones	6 945.7	-	-	-	-
F. Incremento de capital de trabajo	242.3	-	-	-	-
G. Recuperación del capital de trabajo	-	-	-	-	242.3
H. Valores residuales	-	-	-	-	-
I. Flujo de efectivo (C+D-E-F+G+H)	(5 972.3)	1 696.6	2 212.2	3 054.4	3 952.1

CUADRO No. 33

CÁLCULO DE LA TASA DE RENTABILIDAD  
(Miles de Pesos)

AÑOS	FLUJO DE EFECTIVO	FACTOR DE ACTUALIZACIÓN TASA 22%	FLUJO DE EFECTIVO ACTUALIZADO	FACTOR DE ACTUALIZACIÓN TASA 23%	FLUJO DE EFECTIVO ACTUALIZADO	
1	(5 972.3)	0.8136	(4 855.5)	0.8000	(4 777.8)	SUMA = 193.0
2	1 696.6	0.6610	1 121.5	0.6400	1 085.8	VPM <sub>1</sub>
3	2 212.2	0.5374	1 188.8	0.5170	1 132.6	
4	3 054.4	0.4369	1 334.5	0.4096	1 251.1	SUMA = (13.2)
5	3 952.1	0.3552	1 403.8	0.3277	1 295.1	VPM <sub>2</sub>
			193.0		( 13.2)	

NOTA: Las cantidades entre paréntesis representan valores negativos.

Cálculo de la Tasa Interna de Retorno por medio de Interpolación

DATOS

$T_1 = 22$

$T_2 = 23$

$VPM_1 = 193$

$VPM_2 = (-13.2)$

$$TIR = T_1 + (T_2 - T_1) \frac{VPM_1}{VPM_1 - VPM_2}$$

$$TIR = 22 + (23 - 22) \frac{193}{193 - (-13.2)}$$

$$TIR = 22 + (2 \times \frac{193}{206})$$

$$TIR = 22 + 1.96$$

$$TIR = 24.9\%$$

CUADRO No. 22

PROGRAMA DE AMORTIZACION DEL CREDITO REFRACCIONARIO  
(Miles de Pesos)

A. S. D.	SALDO A PRINCIPIO DE AÑO	INTERESES 1/	AMORTIZACION	PAGO TOTAL (intereses + amortizaciones)
1	15 937.30	4 180.1 2/	200.0	4 380.1
2	15 737.30	2 675.3	2 800.0	5 475.3
3	13 137.30	2 250.3	4 000.0	6 250.3
4	9 237.30	1 570.3	4 500.0	6 070.3
5	4 737.30	805.3	4 737.3	5 542.6
<b>T O T A L</b>		<b>11 481.3</b>	<b>15 937.3</b>	<b>27 418.6</b>

1/ Los intereses son del 17% sobre saldos insolutos

2/ Incluye los intereses generados durante la construcción e instalación de la fábrica de mascaí en Camerón, Municipio de Yantzepec, Estado de Chiapas.

4



PUNTOS BASICOS DE LA FORMULACION Y EVALUACION DE UN PROYECTO AGROINDUSTRIAL.

1.- ESTUDIO DE MERCADO DE PRODUCTO

1.- EL PRODUCTO EN EL MERCADO

- PRODUCTO PRINCIPAL Y SUBPRODUCTOS
- PRODUCTOS SUSTITUTOS
- PRODUCTOS COMPLEMENTARIOS

5.- ANALISIS OFERTA - DEMANDA

- DEMANDA INSATISFECHA

2.- AREA DE MERCADO O ZONA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO

- UBICACION GEOGRAFICA
- POBLACION CONSUMIDORA
- INGRESOS DEL CONSUMIDOR
- COMPORTAMIENTO DEL CONSUMIDOR
- ANALISIS DE LA COMERCIALIZACION

6.- PRECIO DEL PRODUCTO

- MECANISMOS DE FORMACION DE PRECIOS DEL PRODUCTO
- DETERMINACION DEL PRECIO Y SU EFECTO SOBRE LA DEMANDA

3.- ANALISIS DE LA DEMANDA

- ANALISIS HISTORICO
- ANALISIS TEORICO
- DEMANDA FUTURA

7.- COMERCIALIZACION

- CANALES DE COMERCIALIZACION
- POLITICA DE VENTA Y PRECIOS
- DISTRIBUCION FISICA
- PROMOCION Y PUBLICIDAD

4.- ANALISIS DE LA OFERTA

- COMPORTAMIENTO HISTORICO GLOBAL
- NUMERO Y PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LOS OFERTANTES
- OFERTA FUTURA

8.- POSIBILIDADES DEL PROYECTO

- CONDICIONES DE COMPETENCIA DEL PROYECTO
- MERCADO POTENCIAL DEL PROYECTO

42  
2.- ANALISIS DE LA PRODUCCION Y  
DISPONIBILIDAD DE MATERIA PRIMA

1.- MATERIAS PRIMAS BASICAS

- CARACTERISTICAS Y ESPECIFICACIONES DE LAS MATERIAS PRIMAS BASICAS

2.- LOCALIZACION Y CARACTERISTICAS DE LAS ZONAS DE PRODUCCION

- UBICACION GEOGRAFICA
- INFRAESTRUCTURA Y VIAS DE COMUNICACION

3.- NIVELES, TENDENCIAS Y PARAMETROS DE LA PRODUCCION

- COMPORTAMIENTO HISTORICO DEL VOLUMEN DE PRODUCCION

4.- ORGANIZACION Y FORMAS DE PRODUCCION

- NUMERO Y TIPO DE PRODUCTORES
- VOLUMEN DE LA PRODUCCION POR UNIDAD ECONOMICA
- REGIMEN DE TENENCIA DE LA TIERRA
- ORGANIZACION PARA LA PRODUCCION
- CONDICIONES DE VIDA DE LOS PRODUCTORES

5.- ANALISIS TECNICO DE LA PRODUCCION

- TIPO DE EXPLOTACION
- PROCESO PRODUCTIVO
- CONSTRUCCIONES, INSTALACIONES Y MAQUINARIAS
- PRINCIPALES PARAMETROS
- RENDIMIENTOS
- CARACTERISTICAS CUALITATIVAS
- ASISTENCIA TECNICA

6.- ANALISIS COMERCIAL DE LA PRODUCCION

- DESTINO DE LA PRODUCCION
- CANALES DE COMERCIALIZACION Y DISTRIBUCION FISICA

7.- ANALISIS FINANCIERO DE LA PRODUCCION

- ESTRUCTURA DE COSTOS DEL PRODUCTOR
- INGRESOS POR VENTA
- FINANCIAMIENTO DEL PROCESO DE PRODUCCION
- RENTABILIDAD

8.- PERIODOS DE DISPONIBILIDAD DE LA PRODUCCION

- CICLO DE PRODUCCION Y ESTACIONALIDAD
- PERECIBILIDAD

9.- PRODUCCION DISPONIBLE PARA EL PROYECTO

- VOLUMEN DE PRODUCCION
- ALTERNATIVAS DE ZONAS PRODUCTORAS
- MEDIDAS DE POLITICA ECONOMICA
- PLANES DE AMPLIACION DE LOS PRODUCTORES
- PROYECCION DE LA DISPONIBILIDAD

10.- DISPONIBILIDAD DE INSUMOS COMPLEMENTARIOS

- DESCRIPCION GENERAL
- LOCALIZACION DE LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO
- PRECIOS Y MECANISMO DE ADQUISICION
- PERMANENCIA DEL SUMINISTRO

3.- LOCALIZACION Y TAMAÑO

1.- MACROLOCALIZACION

- ASPECTOS GEOGRAFICOS
- ASPECTOS SOCIOECONOMICOS Y CULTURALES
- INFRAESTRUCTURA
- ASPECTOS INSTITUCIONALES

2.- MICROLOCALIZACION

- MATERIAS PRIMAS E INSUMOS
- INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS
- MANO DE OBRA
- MERCADO DE CONSUMO
- ECONOMIA EXTERNA
- DIRECTRICES ECONOMICAS

3.- ANALISIS DE ALTERNATIVAS DE MICRO-LOCALIZACION

4.- TAMAÑO Y SUS FACTORES CONDICIONANTES

- MERCADO ACTUAL Y FUTURO
- DISPONIBILIDAD DE MATERIA PRIMA E INSUMOS
- CAPACIDAD MINIMA RENTABLE
- CAPACIDAD FINANCIERA
- MANO DE OBRA

5.- DEFINICION DEL TAMAÑO

5.- PROGRAMA DE PRODUCCION

4.- PROGRAMA DE PRODUCCION PRIMARIA Y ABASTECIMIENTO DE MATERIA PRIMA PARA EL PROYECTO

1.- MARCO DE REFERENCIA

- CARACTERISITCAS DE LA PRODUCCION PRIMARIA
- NECESIDADES DE MATERIA PRIMA
- CALIDAD DE LA MATERIA PRIMA

2.- PROGRAMA DE LA PRODUCCION PRIMARIA

- TECNICAS ALTERNATIVAS DE PRODUCCION
- PRODUCCION ESPERADA
- PRODUCCION PRIMARIA-PRODUCCION INDUSTRIAL
- NECESIDADES DE RECURSOS
- CALENDARIZACION DE LAS INVERSIONES
- CALENDARIO DE ASISTENCIA TECNICA

3.- PROGRAMACION DEL ABASTECIMIENTO

- CALENDARIO DEL SUMINISTRO
- TRANSPORTACION DE LA MATERIA PRIMA

5.- INGENIERIA DEL PROYECTO  
ESPECIFICACIONES INDUSTRIALES

- MATERIA PRIMA
- PRODUCTO TERMINADO

2.- PROCESO DE PRODUCCION

- ANALISIS Y SELECCION DE ALTERNATIVAS DE PROCESO
- DESCRIPCION DEL PROCESO

3.- MAQUINARIA Y EQUIPO

- SELECCION DE LA MAQUINARIA Y EQUIPO
- DESCRIPCION DE LA MAQUINARIA Y EQUIPO
- CONDICIONES PARA LA ADQUISICION
- MANTENIMIENTO

BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA

5.- REQUERIMIENTOS DE INSUMOS Y SERVICIOS

- MATERIA PRIMA
- INSUMOS AUXILIARES
- SERVICIOS AUXILIARES
- MANO DE OBRA

6.- TERRENO

7.- OBRA CIVIL

- DISTRIBUCION Y DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA INDUSTRIAL
- ANTEPROYECTO ARQUITECTONICO
- PRESUPUESTO DE LA OBRA CIVIL

8.- CRONOGRAMA DE CONSTRUCCION, INSTALACION Y PUESTA EN MARCHA

6.- INVERSIONES

1.- INVERSION FIJA

- TERRENO
- EQUIPO Y MAQUINARIA
- EQUIPO DE VENTA
- EQUIPO DE OFICINA
- EQUIPO DE TRANSPORTE
- OBRA CIVIL
- IMPREVISTOS

2.- INVERSION DIFERIDA

- ESTUDIO DE PREINVERSION
- INGENIERIA DE DETALLE
- GASTOS DE INSTALACION, MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA
- GASTOS DE ORGANIZACION Y CONSTITUCION DE LA EMPRESA
- PATENTES
- FLETES, SEGUROS DE TRASLADO E IMPUESTOS ADUANALES O DE IMPORTACION

3.- CAPITAL DE TRABAJO

- DINERO EN EFECTIVO
- INVENTARIO DE MATERIA PRIMA E INSUMOS AUXILIARES
- INVENTARIO DE PRODUCTOS EN PROCESO
- INVENTARIO DE PRODUCTOS TERMINADOS
- CUENTAS Y DOCUMENTOS POR COBRAR

4.- RESUMEN DE LAS INVERSIONES

5.- CALENDARIO DE INVERSIONES

7.- FINANCIAMIENTO

- 1.- NECESIDAD DE CAPITAL
- 2.- FUENTE DE FINANCIAMIENTO
- 3.- COMPOSICION DEL CAPITAL
- 4.- CONDICIONES DE LOS PRESTAMOS
- 5.- MINISTRACION DE FONDOS
- 6.- AMORTIZACION DE LA DEUDA

9. EVALUACION ECONOMICA Y SOCIAL

1. EVALUACION ECONOMICA

- VALOR PRESENTE NETO
- TASA INTERNA DE RETORNO
- ANALISIS DE SENSIBILIDAD
- RELACION BENEFICIO-COSTO

2.- EVALUACION SOCIAL

- TASA DE RENDIMIENTO DEL PRODUCTO NACIONAL BRUTO
- ANALISIS COSTO-BENEFICIO
- PRECIOS SOMBRA A RECURSOS DETERMINADOS
- TASA SOCIAL DE DESCUENTO
- GENERACION DE EMPLEOS

8.- PRESUPUESTOS DE INGRESOS Y EGRESOS

- 1.- PRESUPUESTO DE INGRESOS
- 2.- COSTOS DE OPERACION
- 3.- PUNTO DE EQUILIBRIO
- 4.- ESTADOS FINANCIEROS PROFORMA
  - BALANCE GENERAL
  - ESTADO DE RESULTADOS
  - ESTADO DE ORIGEN Y APLICACION DE RECURSOS

10.- ORGANIZACION

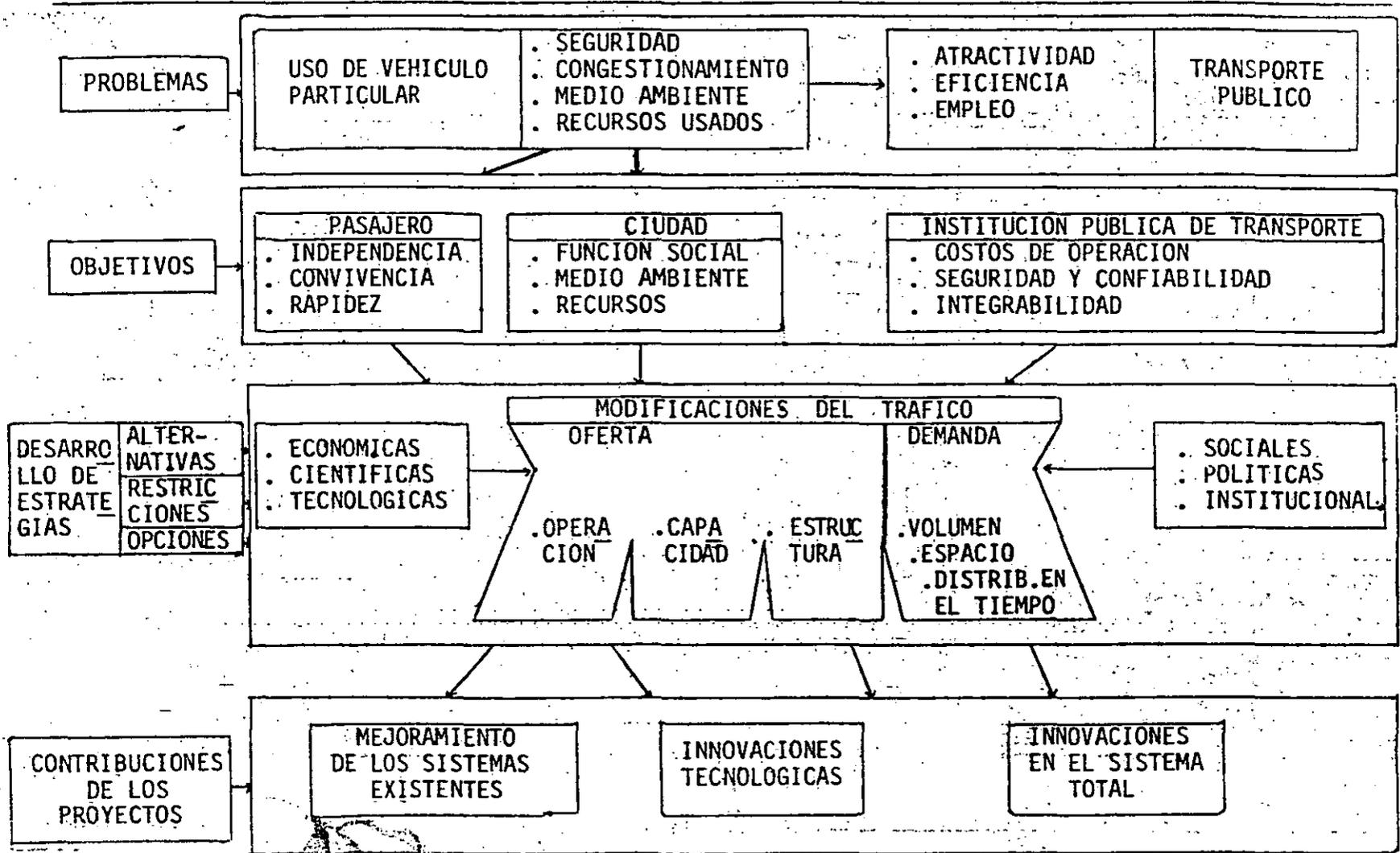
1.- CONSTITUCION DE LA EMPRESA

- ALTERNATIVAS DE ORGANIZACION
- PROPUESTA DE ORGANIZACION
- APROBACION DE LA FORMA JURIDICA DE ORGANIZACION SELECCIONADA

2.- ORGANIZACION TECNICA Y ADMINISTRATIVA DE LA EMPRESA

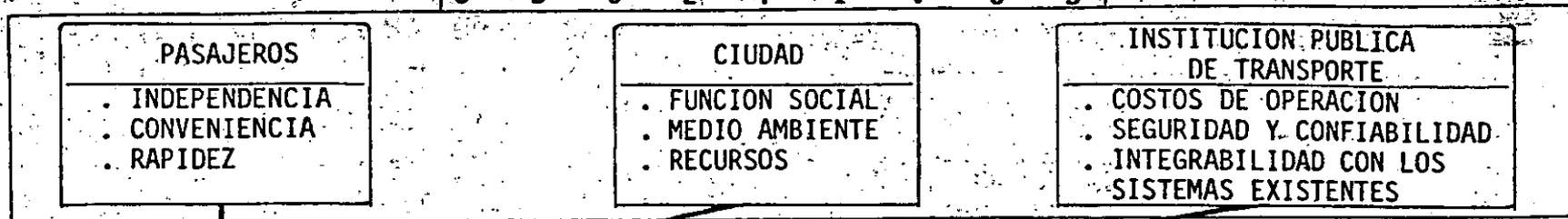
- ESTRUCTURA ORGANICA
- SELECCION, RECLUTAMIENTO Y CAPACITACION DE PERSONAL

# LA CONTRIBUCION DE LOS PROYECTOS DE TRAFICO EN EL CONTEXTO GENERAL DE UNA CIUDAD Y EN EL DESARROLLO DE ESTRATEGIAS DE TRANSPORTE



CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE UN NUEVO SISTEMA DE TRANSPORTACION URBANA RESULTANTES DE UNA EVALUACION DE LOS OBJETIVOS DE LOS PASAJEROS, LA CIUDAD, Y LA INSTITUCION PUBLICA DE TRANSPORTE.

O B J E T I V O S



VEHICULOS	- PEQUEÑO - CONFORTABLE - DISPONIBILIDAD DE ASIENTOS	- ENERGIA EFICIENTE - SIN EMISION DE GASES - SILENCIOSA	- SEGURO Y CONFIABLE - NUMERO MINIMO DE EMPLEADOS	. OPERACION AUTOMATICA . OPERADORES ELECTRICOS PEQUEÑOS Y CONFORTABLES
SEÑALIZACION	- APROPIADAMENTE UBICADA	- TAMAÑOS APROPIADOS - VISIBLE	- MINIMOS GASTOS DE MANTENIMIENTO	. SEPARADOS Y ELEVADOS DE TAMAÑO APROPIADO . ELEMENTOS FIJOS
REDES Y ESTACIONES	- ACCESO APROPIADO A LAS ESTACIONES	- INTEGRACION CON RELACION A LAS ESTRUCTURAS EXISTENTES DE LA CIUDAD.	- INTEGRACION CON RELACION A LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE EXISTENTES	. ESTACIONES SIN EMPLEADOS . GUIA AUTOMATIZADA DE PASAJEROS . DISTANCIAS CORTAS ENTRE ESTACIONES
OPERACION	- RESPONDE A LA DEMANDA - SIN CAMBIO DE VEHICULO - ESPERAS BREVES O NULAS		- FLEXIBLE - SEGURA Y CONFIABLE - MINIMO NUMERO DE EMPLEADOS	. TOTALMENTE AUTOMATIZADA . PROCESO DE MANTENIMIENTO ALTAMENTE AUTOMATIZADO

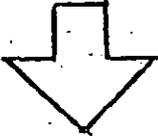
CARACTERISTICAS TECNOLOGICAS RESULTANTES

CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL SISTEMA

**POLITICAS DE OFERTA Y DEMANDA PARA EL TRANSPORTE  
EN EL LARGO PLAZO Y EN EL CORTO PLAZO**

CONTROL DE LA OFERTA

CONTROL DE LA DEMANDA

<p>LARGO PLAZO (una década o más)</p>  <p>(PARA COMPLETAR RESULTADOS)</p>  <p>CORTO PLAZO (varios meses, uno o varios años)</p>	<p>CAMBIANDO LA ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE TRANSPORTE</p>	<p>CAMBIANDO LA DISTRIBUCION ESPACIAL DE LA DEMANDA</p>
	<p>CAMBIANDO LA CAPACIDAD FISICA DEL SISTEMA DE TRANSPORTE</p>	<p>CAMBIANDO LOS VOLUMENES DE DEMANDA</p>
	<p>CAMBIANDO (MEJORANDO) LA OPERACION DE LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE EXISTENTES</p>	<p>CAMBIANDO LA DISTRIBUCION DEL TIEMPO DE LA DEMANDA</p>

7. CARACTERISTICAS QUE CONSTITUYEN UNA EXPRESION DE LA INSUFICIENCIA TANTO TEORICA COMO PRACTICA DE LOS DISTINTOS ENFOQUES CONCEBIDOS DE LA EVALUACION DE PROYECTOS:

- HERRAMIENTA DE JUSTIFICACION DE DECISIONES YA ADOPTADAS
- FORMALISMO A CUMPLIR ANTES DE PROCEDER A LA EJECUCION DEL PROYECTO O CON EL PROPOSITO DE NEGOCIAR ALGUN FINANCIAMIENTO
- PROCESO APARENTEMENTE MUY COMPLEJO Y BORROSO
- DIVORCIO ENTRE LOS NIVELES DE EVALUACION, PLANEACION Y DECISION (POLITICA)
- ENFOQUE PRETENDIDAMENTE OBJETIVO Y NEUTRAL
- CARENCIA DE UNA VERDADERA COMPRESION E INCORPARACION, EN LA FASE DE EVALUACION, DEL ENTORNO SOBRE EL CUAL REPERCUTA EL FUTURO PROYECTO.
- DIVORCIO ENTRE LA TEORIA Y LA PRACTICA
- NO SE INVOLUCRAN DISTINTOS NIVELES DE MEDICION, ASI COMO UNA MEDIDA GLOBAL, COHERENTE Y REPRESENTATIVA.
- INADECUACION ENTRE BASE DE DATOS DISPONIBLE Y LOS REQUERIMIENTOS, Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACION
- POSICIONES IDEOLOGICAS DIFERENTES EN CADA PAIS QUE DIFICULTAN LA GENERALIZACION DE ENFOQUES TEORICOS DE "OBJETIVOS DESEABLES" PARA LOS PAISES EN DESARROLLO
- EVALUACIONES QUE RESPONDEN TAN SOLO A UNA MEDIDA DE DESARROLLO O MEDICION DE LA VELOCIDAD DE UN PROCESO, SIN ATENDER A SU DIRECCION, QUE PUEDE SER DESCONOCIDA O DESVIRTUADA.



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

FUNDAMENTOS, APLICACIONES Y TALLERES DE LA ING. DE SISTEMAS

DETERMINACION DE LAS POLITICAS OPTIMAS DE INVERSION  
EN LA RED CARRETERA DE LA ZONA CONURBANA CENTRO

DR. JOSE DE JESUS ACOSTA FLORES

NOVIEMBRE, 1985

# DETERMINACION DE LAS POLITICAS OPTIMAS DE INVERSION EN LA RED CARRETERA DE LA ZONA CONURBADA CENTRO

## RESUMEN

"En el informe se discute la metodología empleada y los resultados obtenidos en la determinación de las políticas óptimas de inversión en la red carretera de la zona conurbada centro con la finalidad de minimizar tanto los costos de construcción como los sociales de operación.

La metodología consta de dos partes: la primera es un modelo de programación lineal que minimiza los costos sociales de operación para cada posible configuración de la red carretera bajo estudio y la segunda es un modelo de programación dinámica que determina la distribución óptima en el tiempo y en el espacio de las inversiones".

## INTRODUCCION

La presente discusión tiene como finalidad ilustrar la metodología usada en el proyecto "Determinación de las Políticas Óptimas de Inversión en la Red Carretera de la Zona Conurbada Centro". Este proyecto surgió de la necesidad de resolver el conflicto actual y futuro de la red carretera en la zona centro del País.

Se consideró el implantar un modelo que reflejara el comportamiento del sistema carretero teniendo en cuenta posibles inversiones, de tal manera que permita determinar cuándo y dónde realizar estas inversiones con el propósito que el costo total, incluyendo tanto los costos de construcción como los sociales de operación, sea el menor posible en el horizonte de planeación fijado.

En Suecia fue desarrollado un modelo con estas características por Göran Bergendahl de la Universidad de Estocolmo, por lo que se decidió aplicarlo adaptándolo a las necesidades propias del sistema carretero bajo estudio. Este modelo está constituido por dos subsistemas, en uno de ellos se utilizan técnicas propias de la programación dinámica para determinar el lugar y el momento de cada inversión y en el otro se recurre a la programación lineal para estimar el costo social de operación de cada red resultante de dichas inversiones.

## METODOLOGIA

Debido a la estrecha relación que mantienen todas las carreteras de la zona conurbada centro, las inversiones que se realicen se consideran interdependientes ya que el monto y el momento para realizar una inversión será influenciado por el monto y tiempo de realización de otras inversiones

Por lo anterior se consideró a las diferentes carreteras como una red, en la que, las demandas de tráfico son descritas por la relación entre los nodos y donde las inversiones pueden visualizarse como acciones que abren o amplían tramos en la red. Así, se pueden tener variaciones en la red carretera original, en donde éstas serán producto de las diferentes inversiones posibles. Se considera que las inversiones sólo se hacen cada 5 años y que la red no sufre modificaciones en otro tiempo.

La información fuente está constituida por dos partes, la primera es la destinada a alimentar el modelo de programación lineal y consta de los siguientes conceptos: la red carretera considerada, el costo social de operación por vehículo para cada tramo (con y sin saturación), las capacidades de los tramos antes de saturarse, la demanda de vehículos entre orígenes y destinos, y las diferentes rutas utilizadas de un origen a un destino. Con esta información, el modelo proporciona el mínimo costo social de operación para cada red carretera considerada.

La segunda parte de la información fuente alimenta el modelo de programación dinámica y está integrada por: las posibles decisiones de inversión y su monto, períodos en que podrían realizarse las inversiones y el valor de la tasa de descuento. Con esta información y con la proporcionada por el modelo lineal (costo social de operación) el modelo dinámico determina la distribución óptima en el tiempo y espacio de las inversiones.

### MODELO DE PROGRAMACION LINEAL

En esta sección se desarrolla el modelo de programación lineal para determinar la operación óptima de cada red carretera posible en cada período calculándose su costo social de operación:

Para esto se asume que:

- a) La red considerada está aislada geográficamente del resto del País.
- b) Cada carretera considerada se describe como un arco en una red.
- c) Cada alternativa de inversión se considera como un arco cerrado que puede ser abierto entre dos períodos adyacentes. El tráfico durante cada período tiene que operar en la red abierta dada.

- d) Un nodo en la red es el lugar donde se unen dos o más arcos.
- e) Una cadena o camino es una secuencia de arcos consecutivos; sólo se consideran los caminos o cadenas que son económicamente factibles de usar.
- f) La demanda de tráfico se puede definir como una relación entre dos nodos arbitrarios durante cualquier período.
- g) El flujo de un arco es el número promedio de vehículos que pasan por el arco durante un período.

El costo social de operación de cada tramo se dividió en cuatro partes principales: mantenimiento, operación de los vehículos, tiempo de recorrido y accidentes. El costo de mantenimiento es el ocasionado con este fin en cada tramo, el costo de operación de los vehículos es el ocasionado por el desgaste sufrido por el vehículo por transitar más el gasto efectuado en combustible. Se hizo una traducción del tiempo de recorrido de un automóvil por un arco a unidades monetarias, así como del costo que ocasionan los accidentes tanto a los propios accidentados como al sistema carretero.

El costo de operación de un tramo, L en un período, t, depende del flujo que circule por él; si se representa a este flujo como  $X_L^t$ , el costo social de operación puede ser expresado como una función  $C_L^t(X_L^t)$ ; ahora este costo generalmente crecerá cuando el flujo del tramo se incrementa, ya que se aumenta, lógicamente, debido a congestionamientos, la probabilidad de sufrir accidentes, etc., lo que conduce a una función monótona creciente del tipo mostrado en la figura 1.

Para hacer accesibles los costos sociales de cada arco al modelo de programación lineal, es necesario aproximar la curva por medio de rectas; para el análisis sólo se consideraron dos segmentos de recta como se muestra en la figura 2.

Esta aproximación trae como consecuencia la descomposición del flujo de vehículos que circulan por el tramo; así se tiene que  $X_{L1}^t$  es el flujo de vehículos sin saturación del arco L y estará asociado con el costo  $C_{L1}^t$ , mientras que  $X_{L2}^t$  representará el flujo de vehículos con el arco saturado y estará asociado con el costo  $C_{L2}^t$ . Con esto, el costo social de operación, aproximado, del tramo en un período es dado por la expresión.

$$C_{L1}^t X_{L1}^t + C_{L2}^t X_{L2}^t$$

Como dada una red carretera en un período el objetivo es minimizar el costo social de operación total, da lugar a la siguiente expresión.

$$\text{Min } Z^t = \sum_L (C_{L1}^t X_{L1}^t + C_{L2}^t X_{L2}^t)$$

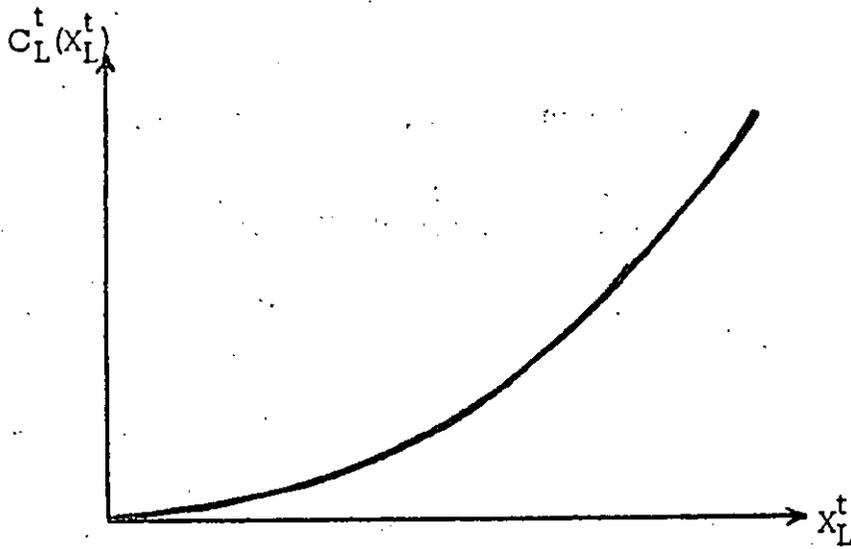


FIG. 1.

Relación entre el flujo por arco y el costo social de operación durante el período.

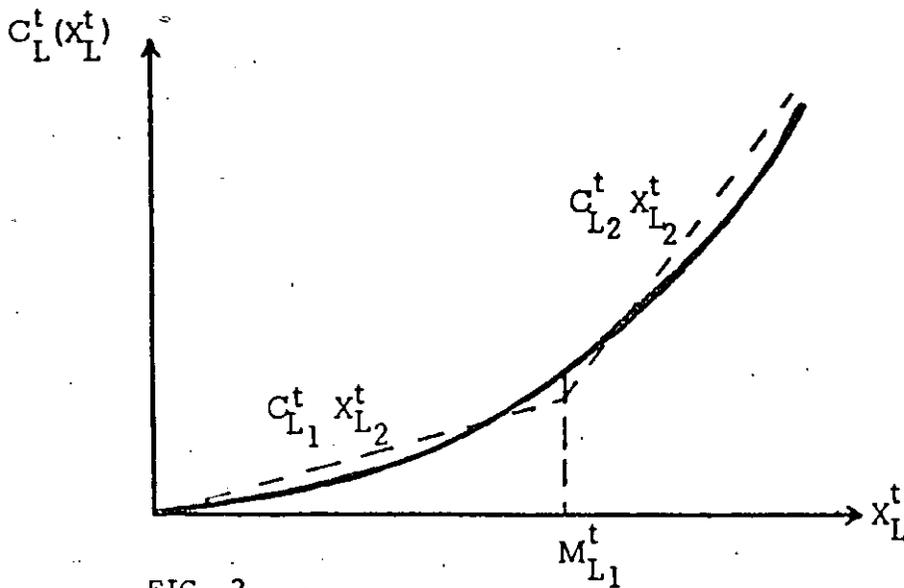


FIG. 2

Aproximación lineal del costo social de operación por arco.

esta minimización esta sujeta a ciertas limitaciones y condiciones. La primera esta relacionada con la descomposición del costo social de operación; para cada arco L el flujo sin saturación no podrá ser mayor de su capacidad,  $M_{L1}^t$ ,

la expresión para esta restricción es

$$X_{L1}^t \leq M_{L1}^t \quad \forall L$$

La segunda restricción es para obligar a que el número de vehículos que circulen, entre dos nodos, por todos los caminos posibles entre éstos, sea igual a la demanda de tráfico. Expresado matemáticamente se tiene

$$\sum_k Y_{ijk}^t = d_{ij}^t \quad \forall i, j$$

donde  $d_{ij}^t$  es la demanda de tráfico entre los nodos i y j en el período t, y  $Y_{ijk}^t$  es una variable que define el número de vehículos que circulan en el período t entre los nodos i y j por el camino k. Una condición necesaria es que exista por lo menos una cadena entre cada par de nodos con cierta demanda de tráfico definida.

Finalmente, una condición que permite computar el flujo total en cada tramo es que, éste deberá ser igual a la suma de vehículos que circulen por las distintas cadenas que contengan a dicho tramo. Esto puede ser formulado como

$$X_{L1}^t + X_{L2}^t = \sum_i \sum_j \sum_k \mu_{ijk}^t Y_{ijk}^t \quad \forall L$$

donde la suma  $X_{L1}^t + X_{L2}^t$  expresa el flujo total en el tramo L y  $\mu_{ijk}^t$  representa un número de incidencia y es determinado como sigue:

$$\mu_{ijk}^t = \begin{cases} 1 & \text{si la cadena k entre los nodos i y j} \\ & \text{pasa por el tramo L} \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

Resumiendo el modelo se tiene:

$$\text{Min } Z^t = \sum_L (C_{L1}^t X_{L1}^t + C_{L2}^t X_{L2}^t)$$

sujeto a

$$\begin{aligned} X_{L1}^t &\leq M_{L1}^t && \forall L \\ \sum_k Y_{ijk}^t &= d_{ij}^t && \forall i, j \end{aligned}$$

$$X_{L1}^t + X_{L2}^t = \sum_i \sum_j \sum_k \mu_{ijk}^t Y_{ijk}^t \quad \forall L$$

La solución de este modelo da como resultado el estado óptimo de la red carretera considerada, es decir, el flujo en cada cadena y el flujo en cada tramo para los cuales se tiene el mínimo costo social de operación.

Se presenta en la figura 3 la red carretera a la que se aplicó el modelo y en el cuadro 1 se consignan algunos de los resultados obtenidos de esta fase para el año 1988. En este cuadro se pueden observar los siguientes conceptos:

- Nombre del tramo Saturado. Se describen únicamente los nombres de origen y destino de los arcos saturados obtenidos por el modelo para el año en cuestión.
- Arco. Se muestran las etiquetas asignadas al origen y al destino del arco saturado.
- Ahorro Unitario y Total. Para cada arco consignado en cada cuadro, el ahorro unitario representa el ahorro aproximado por vehículo que se tendría si fuese ampliado el arco a la capacidad propuesta en el año indicado. Por otra parte el ahorro total es el resultado de multiplicar el ahorro unitario por el flujo esperado en exceso de la capacidad actual.
- Capacidad Propuesta. Corresponde al flujo total de vehículos que circula por el arco saturado en cuestión.

En el procesamiento de los datos se pronosticó la demanda de tráfico para los años de 1983, 1988, 1993, 1998 y 2003. La utilidad proporcionada por los resultados obtenidos es el conocimiento de los posibles arcos con y sin saturación de la red considerada para cada proyección.

### MODELO DE PROGRAMACION DINAMICA

La segunda parte del modelo de planeación de inversiones consiste en la determinación de un programa óptimo de inversiones.

Para tal efecto se introduce el concepto de "estado" de la red carretera. Por un estado ( $s^t$ ) en un período ( $t$ ) se entenderá el conjunto de arcos en la red carretera que estén abiertos durante ese período. Si consideramos una inversión como la acción que transforma o abre arcos en la red, entonces un programa de inversiones se puede formular como la secuencia de acciones que determinan una secuencia de estados.



## Ahorro Potencial en caso de Ampliar los Arcos a la Capacidad Propuesta

Continúa . . .

Nombre del Tramo Saturado	Arco	A H O R R O		Capacidad Propuesta
		Unitario pesos/Veh.	Total (pesos)	
Querétaro-San Juan del Río	1-2	8.1	218579	45585
San Juan del Río-Palmillas	2-3	1.8	51550	47239
Palmillas-Atzacomulco de Fabela	3-4	93.1	291775	4134
Palmillas Tasquillo	3-41	2.3	1649	1717
Palmillas-Tepeji del Río	3-50	20.1	459953	41434
Atzacomulco de Fabela-Toluca	4-5	9.0	18432	5548
Toluca-Desierto de los Leones	5-6	3.6	62798	32144
Toluca-Tenango de Arista	5-8	11.6	5633	5486
Toluca-Distrito Federal	5-49	23.5	212505	12447
Desierto de los Leones-Atzacomulco de Zaragoza	6-7	12.0	36976	8248
Desierto de los Leones-Distrito Federal	6-49	10.3	432231	61969
Atzacomulco de Zaragoza-Tenango de Arista	7-8	7.5	14033	2371
Tenango de Arista-Cacahuamilpa	8-9	44.7	133034	3388
Cacahuamilpa-Arixintla	9-11	2.8	18682	7672
Cacahuamilpa-Apuyeca	9-15	2.0	6274	4147
Taxco-Arixintla	10-11	2.4	8563	5068
Arixintla-Amacuzac	11-13	2.2	3532	3151
Iguala-Amacuzac	12-13	17.1	118845	9950
Amacuzac-Cuernavaca	13-16	19.5	4875	5250
Jajutla-Apuyeca	14-15	.5	5723	13145
Jajutla-Zacatepec	14-19	.5	2543	7236
Jajutla-Cinutla	14-20	3.1	16555	3844
Apuyeca-Cuernavaca	15-16	4.1	40570	12375
Cuernavaca-Entronque 3	16-51	4.5	112320	33071
Tepeztlán-Entronque 3	18-51	.7	4528	8468
Cuatla-Izucar de Matamoros	20-23	23.7	373962	18779
Cuatla-Cocoyac	20-52	4.2	82207	22573
Izucar de Matamoros-Atlixco	23-24	5.6	2033	3372
Atlixco-Puebla	24-25	10.0	23950	7395
Puebla-San Martín Texmelucan	25-26	17.8	682683	42353
Puebla-Huamantla	25-34	6.8	10839	3074
San Martín Texmelucan-Ayotla	25-27	24.1	1173911	53710
San Martín Texmelucan-Tlaxcala	25-32	3.8	86196	12795
San Martín Texmelucan-Entronque 4	26-55	.3	343	3160
Ayotla-Chalco de Díaz Covarrubias	27-28	6.5	57733	11882
Ayotla-Los Reyes La Paz	27-27	14.2	916482	71541
Los Reyes La Paz-Texcoco	27-30	2.8	11180	13993
Los Reyes La Paz-Distrito Federal	27-49	6.1	435070	107323

Para poder determinar una política de inversión óptima debe conocerse el costo de inversión  $C(s^t, s^{t+1})$  para cada transición permisible  $(s^t, s^{t+1})$  entre estados, estos costos deben cubrir los gastos de construcción, el derecho de vía y algunos costos fijos de mantenimiento.

En esta parte se hace uso de los resultados obtenidos en la primera; estos resultados son el costo social de operación anual mínimo para cada período y cada red carretera resultante al hacer una inversión. Esto es lo mismo que formular el óptimo como una función  $Z^t(s^t)$  del estado  $(s^t)$ .

Calculados los costos estáticos de operación para cada estado en cada período considerado, la política óptima de inversión puede determinarse por medio de la siguiente ecuación recursiva.

$$Q^{t+1}(s^{t+1}) = \text{Min}[R^1 Z^{t+1}(s^{t+1}) + C(s^t, s^{t+1}) + R Q^t(s^t)] \quad (a)$$

donde

$$(s^t, s^{t+1}) \in P \quad (b)$$

$$Q^0(s^0) = 0$$

y además

$$t = 0, 1, 2, \dots$$

$P$  = Programas permisibles

$Z^t(s^t)$  = Mínimo costo social de operación para el estado  $s^t$

$C(s^t, s^{t+1})$  = Costo de inversión para pasar del estado  $s^t$  al  $s^{t+1}$

$s^t$  = Estado de la red en el período  $t$ .

$R, R^1$  = Son factores de descuento dados por

$$R = (1+r)^{-\tau} \quad R^1 = (1+r)^{-2\tau}$$

$\tau$  = Longitud del período en años

$r$  = Tasa anual de descuento.

En el análisis se para el proceso (a) después de una fecha especificada, llamada el horizonte de planeación ( $T$ ). Para detener el proceso (a) se introduce un valor residual  $V(s^T)$  para cada estado  $s^T$ ; este valor se determina calculando los costos de operación con la hipótesis de que el sistema continúa funcionando indefinidamente y la demanda se mantiene estacionaria; estos costos se descuentan al final del horizonte  $T$ . De esta manera resulta.

$$V(s^T) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{Z^T(s^T)}{(1+r)^n} = \frac{1+r}{r} Z^T(s^T) \quad (c)$$

Consecuentemente, (a) se aplicará solamente para  $t = 0, 1, \dots, T-1$  y deberá agregarse la siguiente fórmula de recurrencia.

$$Q^{T+1}(s^{T+1}) = \text{Min} [R Q^T(s^T) - V(s^T)] \quad (d)$$

De esta manera el programa óptimo de inversiones será la secuencia de esta dos determinada al través de las fórmulas de recurrencia (a) y (d) sujetas a la condición (b).

Se elaboró un programa de computadora, "MODIN", con el cual se puede resolver convenientemente este modelo. El programa encuentra la trayectoria de mayor o menor costo, según se desee, de un grafo.

### APLICACION

Para propósitos ilustrativos en la figura 4 se muestra una red simplificada; en dicha red se muestran 6 arcos y 6 nodos, a los cuales se les da un nombre para diferenciarlos entre sí. Se supone que cada arco es una carretera de 2 carriles.

NODO	NOMBRE ASIGNADO
1	PAL - PALMILLAS
2	TPR - TEPEJI DEL RIO
3	CDM - DISTRITO FEDERAL
4	DLL - DESIERTO DE LOS LEONES
5	TOL - TOLUCA
6	ATL - ATLACOMULCO

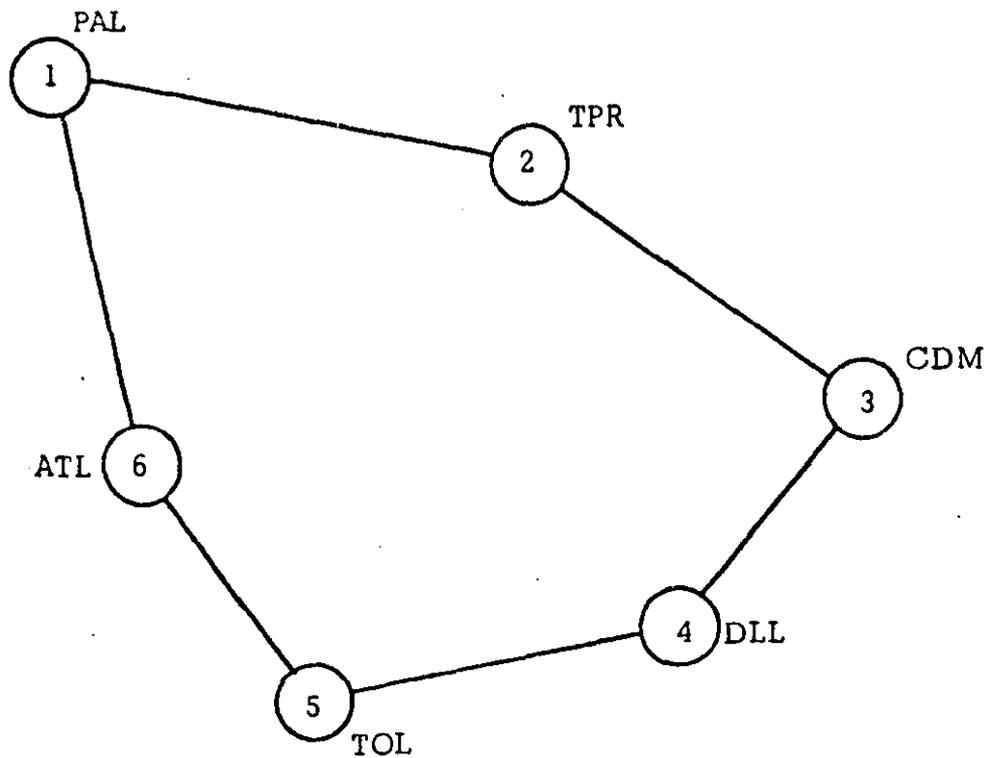


FIGURA 4. RED ORIGINAL

CUADRO 2

(COSTOS SOCIALES Y CAPACIDAD POR ORIGEN)

ORIGEN - DESTINO	ARCO	COSTOS SOCIALES DE OPERACION *		FRONTERA * $M_L$
		$C_{L_2}$	$C_{L_1}$	
PALMILLAS-TEPEJI DEL RIO	1-2	158.0	138.0	18 600
PALMILLAS-ATLACOMULCO	1-6	186.0	93.0	1 000
TEPEJI DEL RIO-D.F.	2-3	152.0	136	18 600
D.F. -DESIERTO DE LOS L.	3-4	49.0	39.0	20 000
DESIERTO DE LOS L.-TOLUCA	4-5	38.0	35.0	14 700
TOLUCA-ATLACOMULCO	5-6	82.0	73.0	3 500

\* Valores Diarios

El cuadro 2 contiene los valores para cada arco de los costos sociales de operación, dichos costos están divididos en costos sin saturación ( $CL_1$ ) y costos con saturación de vehículos ( $CL_2$ ), además contiene la frontera del flujo sin saturación por arco ( $M_L$ ). En el cuadro 3 se presentan los diferentes orígenes y destinos seleccionados, la demanda para cada origen-destino y los diferentes caminos (cadenas) que se pueden tomar para llegar de un origen a un destino.

En la red, como se describirá posteriormente, existían 3 arcos saturados y conforme transcurre el tiempo, se saturarán los arcos restantes, trayendo por consecuencia altos costos de operación, por lo cual se consideraron 7 políticas de inversión para poder solucionar el problema existente. Dichas políticas de inversión son:

- 1) Ampliar el arco PAL-TPR de 2 a 4 carriles
- 2) Ampliar el arco TPR-CDM de 2 a 4 carriles
- 3) Ampliar los arcos PAL-TPR y TPR-CDM de 2 a 4 carriles
- 4) Construcción del arco PAL-DLL de 2 carriles
- 5) Construcción del arco PAL-DLL de 4 carriles
- 6) Construcción del arco TOL-CDM de 2 carriles
- 7) Construcción del arco TOL-CDM de 4 carriles

En el cuadro 4 se muestra el valor de la inversión para las alternativas en los diferentes períodos considerados.

Los resultados extraídos del modelo lineal para la red original y para los diferentes períodos considerados son resumidos en el cuadro 5 en el que se presentan los diferentes valores que toma la función objetivo y los arcos saturados en cada período.

Ahora se tienen que calcular los costos de operación de las redes que surjan al efectuarse las diversas inversiones; estos cálculos deben de hacerse para los diversos períodos de inversión. En el cuadro 6 se da un resumen de estos valores.

Debido a que los resultados obtenidos en el modelo lineal fueron extraídos de datos diarios se hizo la conversión a datos anuales para estar de acuerdo con los datos de los costos de inversión.

La gráfica 1 muestra la construcción de los diferentes datos considerados en el modelo dinámico; los nodos contienen los valores de los costos sociales de operación por cada alternativa considerada en cada período de inversión y en los arcos los valores descontados de los costos de las inversiones.

CUADRO : 4

COSTO DE LA INVERSION EN LOS DIFERENTES PERIODOS

ALTERNATIVA	1978	1983	1988	1993	1998	2003
1	282,000,000	496,968,600	875,835,600	1,543,555,200	2,720,256,600	4,794,028,200
2	222,000,000	391,230,600	189,487,600	1,215,139,200	2,141,478,600	3,774,022,200
3	504,000,000	888,199,200	1,565,323,200	2,758,694,400	4,861,735,200	8,568,050,400
4	500,000,000	881,150,000	1,552,900,000	2,736,800,000	4,823,150,000	8,500,050,000
5	1,000,000,000	1,762,300,000	3,105,800,000	5,473,600,000	9,646,300,000	17,000,100,000
6	330,000,000	581,449,000	1,024,914,000	1,806,288,000	3,183,279,000	5,610,033,000
7	660,000,000	1,163,118,000	2,049,828,000	3,612,576,000	6,366,558,000	11,220,066,000

Valor de la tasa de descuento = 12%

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DEL MODELO LINEAL PARA LA RED ORIGINAL

AÑO	COSTO DE OPERACION DE LA RED	ARCOS SATURADOS
1978	5,562,149.99	CDM-DLL; TOL-ATL; PAL-ATL
1983	9,213,418.59	CDM-DLL; TOL-ATL; PAL-ATL; TPR-CDM; DLL-TOL
1988	15,388,564.39	CDM-DLL; TOL-ATL; PAL-ATL; TPR-CDM; DLL-TOL; PAL-TPR
1993	25,413,070.19	CDM-DLL; TOL-ATL; PAL-ATL; TPR-CDM; DLL-TOL; PAL-TPR
1998	41,561,200.19	CDM-DLL; TOL-ATL; PAL-ATL; TPR-CDM; DLL-TOL; PAL-TPR
2003	67,575,520.99	CDM-DLL; TOL-ATL; PAL-ATL; TPR-CDM; DLL-TOL; PAL-TPR

CUADRO 5

## RESUMEN DE LOS COSTOS SOCIALES POR ALTERNATIVA

ALTERNATIVA	COSTOS SOCIALES DE OPERACION EN LOS DIFERENTES PERIODOS DE INVERSION				
	1983	1988	1993	1998	2003
Ampliar el tramo (1-2) a 4 carriles	8,637,230.34	14,291,298.89	23,491,010.19	38,670,140.19	63,123,420.99
Ampliar el tramo (2-3) a 4 carriles	8,205,544.74	13,437,316.49	22,287,899.44	36,664,416.94	58,824,704.74
Ampliar los tramos (1-2) y (2-3) a 4 carriles	7,584,182.049	12,436,810.69	20,780,761.54	34,691,394.04	57,101,150.24
Construir el tramo (1-4) a 2 carriles	7,927,683.34	13,909,949.29	23,909,261.29	40,042,856.29	66,033,761.49
Construir el tramo (1-4) a 4 carriles	6,845,181.09	11,399,351.30	21,278,310.64	37,362,856.29	63,353,761.49
Construir el tramo (5-3) a 2 carriles	8,091,605.64	13,320,777.09	21,997,230.54	36,155,213.04	58,989,230.99
Construir el tramo (5-3) a 4 carriles	7,554,975.89	12,335,705.59	20,411,014.79	33,600,634.79	54,874,639.74



La solución extraída del modelo dinámico para este ejemplo simplificado es la de construir el arco (5-3) de 4 carriles en el período de 1978 a 1983.

## CONCLUSIONES

En la ponencia se presentó la aplicación del enfoque de sistemas para determinar las políticas óptimas de inversión en la red carretera de la zona conurbada centro.

Con este enfoque se consideraron dos modelos combinados de programación matemática, uno lineal y el otro dinámico; con el modelo lineal se determinaron las operaciones óptimas de todas las configuraciones carreteras permisibles, extrayendo el mínimo costo social de operación para cada configuración y con el modelo dinámico, alimentado con los costos sociales de operación y los de construcción, se determinó la estrategia óptima de inversión en el tiempo y espacio.

Esta metodología permite hacer la planeación de la red carretera como un sistema, tomando en cuenta todos los factores relevantes, y sus interrelaciones ayudando así a una mejor toma de decisiones.

## BIBLIOGRAFIA

1. Datos Viales, Dirección General de Servicios Técnicos, SAHOP, México, 1974-1978.
2. Datos Viales para la Planeación, Dirección General de Planeación y Programa, SOP, México 1968.
3. Dodson E. N.: Cost-effectiveness in Urban Transportation; Operations Research, 17, 1969.
4. F. A. Tillman, D. K. Pai, M. L. Funk y R. R. Snell: An iterative Approach to Traffic Assignment; Transportation Research, Vol. 2, Num. 1, Marzo 1968.
5. Goran Bergendahl: A combined linear and dynamic programming model for interdependent road investment planning; Transportation Research, Vol. 3, Num. 2, Julio 1969.
6. Keith V. Smith, Charles T. Phillips and Ralph J. Lewis: Network Evaluation of complex systems; Transportation Research, Vol. 6, Num 1, Marzo 1972.
7. Kenzo Kobayashi, Yoichi Aoki and Akira Tani: A method for evaluating urban transportation planning in terms of user benefit; Transportation Research, Vol. 9, Num 1, Febrero 1975.
8. Larry J. Le Blanc, Edward K. Morlok y William P. Pierskalla: An efficient Approach to solving the road network equilibrium assignment problem; Transportation Research, Vol. 9, Num. 5, Octubre 1975.



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

FUNDAMENTOS, APLICACIONES Y TALLERES DE LA ING. DE SISTEMAS

INTRODUCCION A LA INGENIERIA DE SISTEMAS

DR. JOSE DE JESUS ACOSTA FLORES

NOVIEMBRE, 1985

## INTRODUCCION A LA INGENIERIA DE SISTEMAS

En esta introducción se pretende describir qué es la ingeniería de sistemas y en qué nos puede servir para mejorar nuestro proceso de toma de decisiones. Para lograr este fin definiremos primero lo que entendemos por un sistema, describiremos las características de los sistemas grandes y la metodología para poder mejorar su funcionamiento.

### 1.1 QUE ES UN SISTEMA ?

Definiremos un sistema como un conjunto de partes interrelacionadas que actúan para lograr un conjunto de metas. Por ejemplo, un sistema productivo está formado por un conjunto de fábricas, distribuidores, mayoristas, detallistas, clientes finales, proveedores de materias primas, maquinaria y recursos financieros, trabajadores y personal directivo que interactúan para lograr sus objetivos.

Con la definición anterior tanto una fábrica como el cuerpo humano también son sistemas.

### 1.2 CUALES SON LAS CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS GRANDES ?

Los sistemas grandes (1) tienen las características siguientes:

- i. Las causas y sus efectos no necesariamente estan cerca en el tiempo y/o en el espacio
- ii. Son notablemente insensibles a cambios
- iii. Contienen puntos neuralgicos
- iv. Frecuentemente reaccionan a largo plazo de manera opuesta a como lo hacen a corto plazo
- v. Tienden a un funcionamiento insatisfactorio

A continuacion se examinara cada una de las caracteristicas

### 1.2.1 Causas y efectos no necesariamente cercanos

En los sistemas simples las causas y sus efectos estan muy proximos, por ejemplo si sostengo una pluma y la suelto (la causa) se caera (el efecto), pero cuando se consideran los sistemas grandes, en general, ya no es asi; sin embargo, continuamos pensando que la causa debe estar muy cerca del efecto y lo que aparenta serlo se identifica como tal y actuamos sobre esa causa aparente, ocasionando que esas acciones no sean efectivas.

Supongamos que las ventas estan por debajo de la meta y que conjeturamos, erroneamente, que la causa esta en un presupuesto bajo para ventas. Supongamos tambien que la causa real se encuentra en un inventario reducido. Como nosotros pensamos que la causa del problema esta en el presupuesto asignado para ventas, lo incrementamos, con lo que se reducen los recursos financieros disponibles para otros aspectos, lo cual disminuye el inventario. Como consecuencia de esta disminucion del inventario, aumenta todavia

mas la demora por surtir. Si nuestros competidores surten el producto en un mes y nosotros lo hacemos en cinco meses, dejaran de comprarnos a nosotros, luego disminuiran nuestros ingresos por ventas, teniendo como resultado exactamente lo opuesto de lo que deseabamos.

### 1.2.2 Notablemente insensibles a cambios

Los sistemas grandes son insensibles a la mayoria de los cambios. Recordemos que aproximadamente el noventa por ciento de los resultados provienen del diez por ciento de los eventos (ley de Pareto). El noventa por ciento de nuestros pedidos proceden del diez por ciento de nuestros clientes (los clientes importantes). Casi la totalidad de las ventas son generadas por nuestros vendedores estrella que son unos pocos. La mayoria de los problemas laborales (ausentismo, conflictos, etc) son producidos casi siempre por el mismo grupo pequeno de empleados. Las innovaciones importantes surgen, desafortunadamente, del mismo grupo reducido del total de investigadores.

De manera que si actuamos sobre los eventos que no tienen incidencia en los resultados economicos, el sistema sera insensible a dichas acciones. Tambien, los sistemas grandes suelen neutralizar acciones correctivas efectuadas desde el exterior, ya que en este caso se cumple que a toda accion externa corresponde una reaccion interna que trata de neutralizar los efectos de la primera. Si los programas correctivos externos son costosos, estos efectos compensatorios pueden ser desastrosos, pues el financiamiento requerido es a veces imposible de sostener. Resulta preferible cambiar los incentivos y los procedimientos internos a fin de mejorar el sistema.

### 1.2.3 Puntos neuralgicos

No obstante que en los sistemas grandes existen muchos puntos donde las acciones no tienen efecto estan otros, (ese diez por ciento que mencionabamos en el inciso anterior) los neuralgicos, en los que un ligero roce hace que el sistema se comporte totalmente

diferente. Estos pocos puntos son los que se deben tener perfectamente localizados para actuar sobre ellos o bien cuidar que ni siquiera se les vaya a tocar ligeramente.

#### 1.2.4 Corto plazo vs largo plazo

Normalmente, los cambios en un sistema grande causan que los resultados a corto plazo sean en la direccion opuesta del efecto a largo plazo. Esta situacion es molesta para quien sera juzgado por los resultados que obtenga en el corto plazo, ya que lo natural sera que anteponga esto a sus posibles consecuencias en el futuro, sacrificando las politicas a largo plazo en aras de obtener resultados positivos en el corto plazo.

#### 1.2.5 Tendencia a un sistema insatisfactorio

Las causas y sus efectos no necesariamente proximos en el tiempo y/o en el espacio, la insensibilidad a los cambios y lo antagonico de las respuestas en el corto y largo plazo hacen que los sistemas grandes tiendan a un funcionamiento insatisfactorio. Por ejemplo, un cambio en una politica puede mejorar la situacion durante un ano o dos, pero a costa de mayores dificultades para el futuro. Sin embargo, la interpretacion natural es que se obtuvieron buenos resultados y cuando la situacion empeora se duplican los esfuerzos originales y tal vez aumentando la dosis. Esta accion intensificada producira una mejoria a corto plazo y dificultades todavia mas profundas a largo plazo.

Ante estas caracteristicas es necesario contar con una metodologia que permita ver con mucha anticipacion las consecuencias de las acciones actuales, involucre la decision de controlar lo que es controlable y tenga la voluntad de sacrificar las ganancias a corto plazo. Esta metodologia es la Ingenieria de Sistemas.

### 1.3 QUE ES LA INGENIERIA DE SISTEMAS ?

La Ingenieria de Sistemas es la aplicacion del metodo de los sistemas a los problemas importantes de la ingenieria. Se presenta a continuacion uno de estos metodos(2), el que consideramos mas adecuado a las condiciones de nuestro Pais.

Para estudiar un sistema que ya existe es necesario:

- i. Analizar el sistema
- ii. Evaluarlo
- iii. Elaborar su diagnostico
- iv. Generar opciones de solucion
- v. Evaluarlas
- vi. Seleccionar la mejor
- vii. Implantarla y efectuar su seguimiento

#### 1 3 1 Analisis del sistema

En esta etapa se determinan las partes que componen el sistema, sus relaciones, sus objetivos, sus entradas y sus salidas

#### 1 3 2 Evaluacion

Se compara el comportamiento deseado con el observado y se detectan las discrepancias significativas. Estas discrepancias constituyen los sintomas de los problemas

#### 1 3 3 Diagnostico

El objetivo del diagnostico es detectar las causas reales de los problemas (los puntos neuralgicos). A partir de la definicion de un problema (identificacion del contexto en que se encuentra, especificacion de los sintomas, y comportamiento historico de las variables principales) se conceptualiza el sistema que lo

produce. Esta conceptualización consiste en definir la frontera (que variables considerar y cuales, aunque sean muy importantes, no vale la pena incluir porque no son relevantes para el problema ) el propósito del estudio (como un ejercicio académico o se utilizara para tomar decisiones, etc ) y como los flujos de dinero, personas, materiales e información están interrelacionados. Teniendo conceptualizado el sistema se formula un modelo. Esta formulación consiste en la traducción a ecuaciones matemáticas. A continuación, a partir de valores iniciales, se procesa el modelo comparando sus resultados con los datos históricos. Si esta comparación no es satisfactoria, se modifica el modelo hasta que lo sea. A partir de este momento contamos con un modelo en el que tenemos confianza y que nos servirá para detectar los puntos neurálgicos.

#### 1.3.4 Opciones de solución

Conocidos los puntos neurálgicos se pueden generar políticas que contemplen acciones que incidan sobre ellos. Esta es una de las etapas más creativas. No se deberá, en este momento, desechar ninguna solución por ridícula que parezca.

#### 1.3.5 Evaluación de las opciones

En esta fase se evalúan las opciones obtenidas en la fase anterior

#### 1.3.6 Selección

Si una de las opciones fuera la mejor en todos los aspectos no habría problema para elegir, pero normalmente no es así, existen algunas que son mejores que otras en ciertos aspectos pero que son dominadas por otras en otros aspectos. Por lo que en esta fase se utilizan técnicas que nos permitan determinar cual es la mejor decisión cuando existen objetivos en conflicto.

#### 1.3.7 Implantación y seguimiento

En esta etapa se contemplan todas las actividades requeridas para llevar a cabo la solución elegida, sus duraciones, sus responsables, sus costos y sus relaciones de precedencia. Utilizando métodos de ruta crítica es posible fijar fechas programadas de inicio y holguras balanceando los recursos que se tendrán disponibles. Se establece un sistema de información que ayude a los responsables de las diferentes actividades a terminarlas a tiempo y si hay necesidad

reprogramarlas.

Si el sistema aun no existe, se analizara su entorno, se disenaran sistemas alternativos, se evaluaran, se seleccionara uno, se implantara y se efectuara su seguimiento.

#### 1 4 CONCLUSIONES

- i. La Ingenieria de Sistemas es la aplicacion del metodo de los sistemas a los problemas de Ingenieria
- ii. Con el metodo de los sistemas es posible obtener buenos resultados al concentrar los recursos en las oportunidades (los puntos neuralgicos)
- iii. Nuestras acciones de hoy determinan nuestro futuro, por lo que estas deberan considerar el balance entre los resultados del corto, mediano y largo plazo.

#### 1 5 REFERENCIAS

1. Forrester Jay, W " Urban Dynamics" The MIT Press, Mass (1969)
2. Ochoa Rosso Felipe "El metodo de los Sistemas" Div de Posgrado de la Fac de Ingenieria (1983)

## SIMULACION DE UN SISTEMA PRODUCTIVO

Este sistema productivo esta formado por el fabricante, el distribuidor, el mayorista, el detallista y el cliente. Todos hacen sus pedidos por correo; el cliente le compra al detallista, este al mayorista, el al distribuidor y finalmente el distribuidor a la fabrica

En la figura 1 se presenta graficamente la sucesion de pasos en un componente de este sistema productivo y en la figura 2 la fabrica.

### 1.1 INSTRUCCIONES

- 1 Surtir del inventario el pedido que nos hacen, colocando el numero total de unidades requeridas en la mitad derecha de la demora del transporte en el sector a su izquierda. Si se envian cero unidades, escribalo y coloquelo como si fueran unidades a transportar. Si la orden quedo satisfecha, destruyala . Si quedaron articulos pendientes por surtir, anote este numero en el papel y dejelo.
- 2 Anote su inventario efectivo en la hoja proporcionada. El inventario efectivo es igual al inventario actual menos la cantidad pendiente de surtir y puede ser positivo o negativo. ( Un inventario efectivo negativo indica que no tenemos articulos en el almacen).
3. Avance las unidades de la mitad izquierda de la demora del transporte a su inventario

4. Avance las unidades de la mitad derecha de la demora de transporte a la izquierda. ( En la fabrica avanzan tambien los articulos que estan en la caja bienes en proceso. )
5. Decida cuantas unidades desea ordenar y coloque su pedido a su proveedor en la mitad izquierda de la demora del correo en el sector a su derecha.
6. Registre el numero de unidades que ordeno
7. Llega el correo. ( En la fabrica transforman las ordenes de fabricacion en articulos )
8. Avance el papel donde estan anotados los pedidos de la mitad izquierda de la demora del correo a la mitad derecha. Se ha terminado la simulacion de las actividades de una semana, y la secuencia comienza de nuevo en el paso 1.

SEMANA	INVENTARIO	PEDIDOS
	EFFECTIVO	
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		

SEMANA	INVENTARIO	PEDIDOS
	EFFECTIVO	
26		
27		
28		
29		
30		
31		
32		
33		
34		
35		
36		
37		
38		
39		
40		
41		
42		
43		
44		
45		
46		
47		
48		
49		
50		

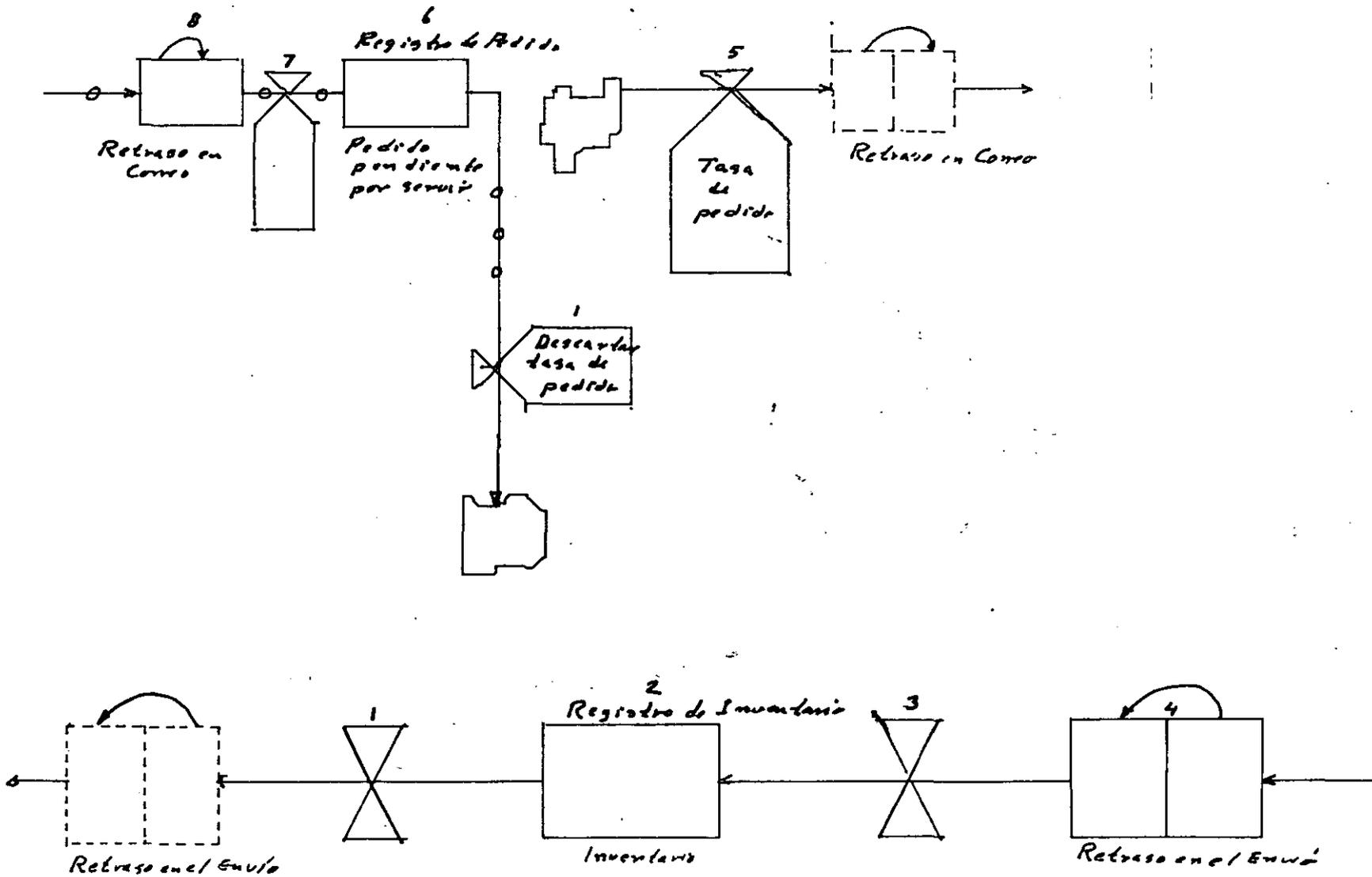


FIG 1

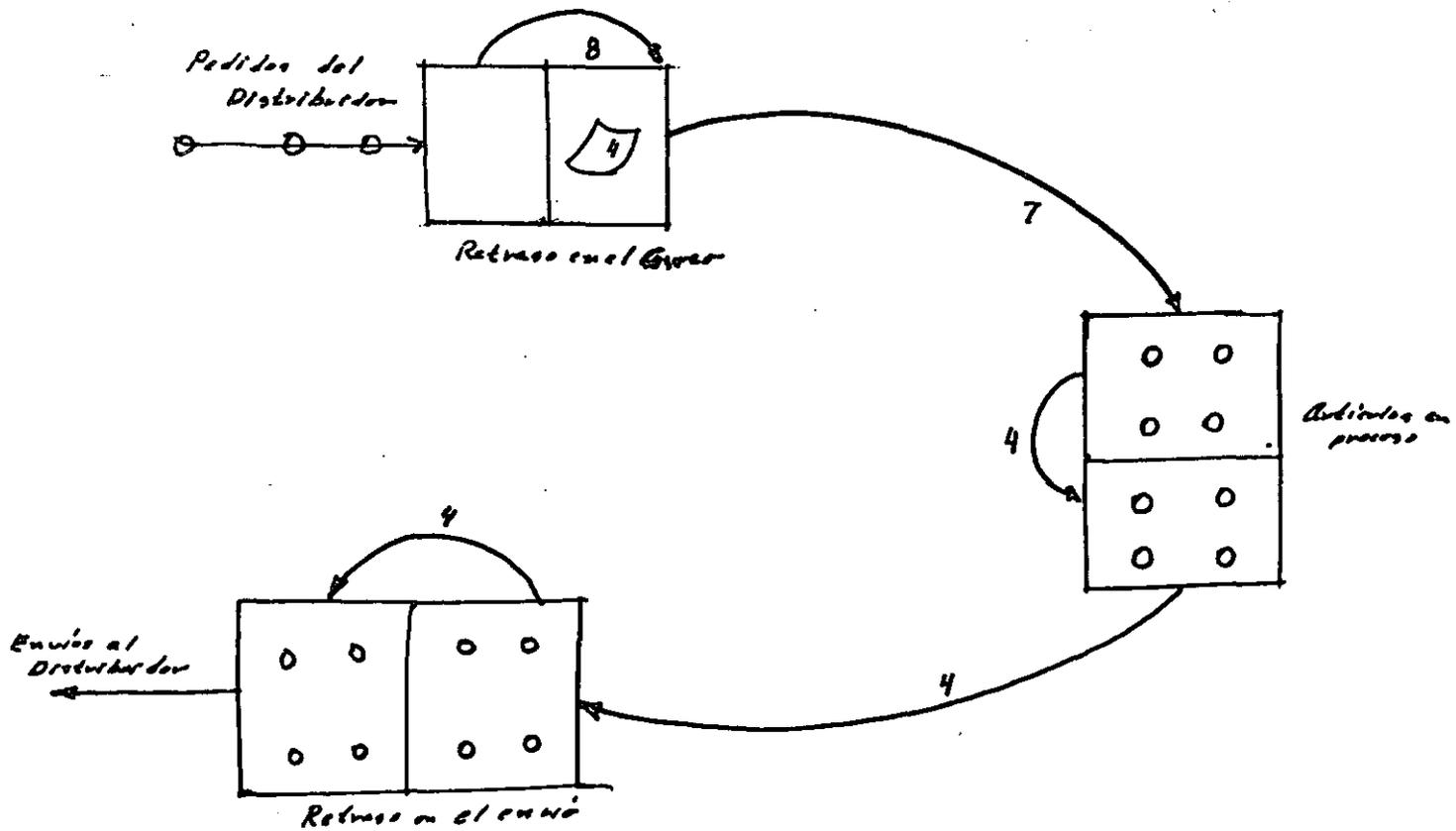


FIG 2.



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

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE LA TEORIA DE LA OPTIMIZACION

M. EN I. JOSE VILLANUEVA LEDESMA.

NOVIEMBRE, 1985.

## CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE LA TEORIA DE LA OPTIMIZACION.

## I.1. INTRODUCCION.

La finalidad de este capítulo es formalizar los conceptos más importantes en la descripción de la naturaleza y alcance de la TEORIA DE LA OPTIMIZACION. Se principia con la definición del problema de optimización, se estudia la complejidad de su naturaleza y se identifican los pasos fundamentales en el proceso de su solución, conforme a la sucesión siguiente:

1. Definición del problema.
2. Formulación de un modelo de optimización.
3. Elección de un método de solución.
4. Aplicación del método de solución.

Se estudiará en detalle cada uno de estos pasos del proceso de solución, sus implicaciones en varias aplicaciones y finalmente se presenta una clasificación de modelos de optimización con sus respectivos métodos de solución que vaciamos en gráficas como resumen aclaratorio. El material que constituye este capítulo así como un esquema del desarrollo histórico de la teoría de la optimización (Apéndice B) pretende ser una descripción general de la estructura de la teoría, que más tarde se aplicará a tipos específicos de problemas de optimizar, en lo que constituye la parte fundamental del libro. Finalmente estudiarán varios aspectos de la optimización, de mucha importancia en el campo del análisis y diseño de sistemas de ingeniería.

## I.2. EL PROBLEMA DE OPTIMIZAR.

Cuando un ingeniero o una persona que toma decisiones, a la que se da el nombre de "elector", se avoca al problema de

elegir un curso de acción, elemento de un conjunto de alternativas, se ve impulsado a escoger una de estas alternativas propuestas: la mejor, en relación a cierta finalidad predeterminada o un conjunto de objetivos en íntima relación con la naturaleza del problema.

Presupónese que se puede evaluar valiéndose de un método cuantitativo, el grado en el cual se alcanzan las finalidades u objetivos del problema, para cada curso de acción en alternativa, en otras palabras, es posible obtener una medición de la utilidad de cada uno de los cursos de acción permitidos al elector y éste apoyándose en esta información seleccione la alternativa que produzca la mejor utilidad.

El grado en el cual se obtiene la realización de una meta le damos el nombre de coeficiente de mérito para una selección particular.

## DEFINICION.

A partir de un conjunto de alternativas, posiblemente infinito, asociado a cierto problema se da el nombre de problema de optimización, al de elegir una alternativa particular, para la cual el coeficiente de mérito es óptimo, esto es, la elección de la alternativa con la cual se maximiza o minimiza el coeficiente de mérito.

### 1.3. TEORIA DE LA OPTIMIZACION.

#### NATURALEZA DEL PROBLEMA DE OPTIMIZACION.

La naturaleza de un problema de optimización en la mayoría de los casos es muy compleja y en los problemas prácticos, se halla una gran variedad de casos que presentan características diferentes. Para visualizar la complejidad que puede presen

tarse en la naturaleza del problema, se consideran los casos siguientes:

- i) Cuando un elector se enfrenta al problema de optimizar un objetivo bien definido, puede darse el caso que dicha optimización esta sujeta a un conjunto de restricciones, o bien que la solución del problema puede hacerse sin considerar restricción alguna. Esta persona puede también considerar la solución del problema bajo la hipótesis de comportamiento determinista, o bien, de comportamiento estocástico.
- ii) El tomador de decisiones puede estar en comunicación con otras personas, bajo acciones recíprocas y competir con algunas. Cada competidor obviamente pretenderá hacer decisiones que optimicen sus propios coeficientes de mérito.
- iii) Un problema de múltiples estados, puede implicar el tomar acerca él, varias decisiones, donde la finalidad buscada es una optimización de largo alcance en oposición a la suboptimización de un estado particular del problema.

Esta no es sólo una naturaleza compleja, sino que sus modelos son de características estructurales diferentes, lo que claramente indica la necesidad de una variedad de técnicas con que hacerles frente a las soluciones de los problemas de optimización.

El conjunto de todas estas técnicas, especialmente las incluidas bajo los nombres específicos de programación matemática de decisiones, programación dinámica, teoría del control, cálculo de variaciones, etc., constituyen con sus fundamentos matemáticos, la teoría general de la optimización.

4

La teoría de la optimización, en su más amplio sentido, es la rama unificada del análisis matemático que suministra un enfoque formal a las soluciones de los problemas de optimización.

#### I.4. CONCEPTOS DE LA TEORIA DE LA OPTIMIZACION. PROCESOS DE LA SOLUCION.

Los procesos de solución en los problemas de optimización, no pueden ser idénticos en todos los casos, generalmente difieren de acuerdo con la naturaleza especial del problema; no obstante, siempre es posible distinguir los pasos básicos de dicho proceso, que se presentan en la fig. 1-1. Los diferentes circuitos indican una posible revisión previa a la decisión.

#### I.5. DEFINICION DEL PROBLEMA.

En el proceso de la definición del problema, se deben identificar las variables de decisión o de control y especificar la forma de sus relaciones recíprocas, así como su rango de variación, implícita o explícitamente. Además, se debe definir un coeficiente de mérito, en función de las variables de control convenientes y establecer finalmente las restricciones que deben cumplir dichas variables.

#### I.6. FORMULACION DEL MODELO MATEMATICO.

Una vez que el problema ha sido definido convenientemente, el paso siguiente es formular un modelo abstracto, usualmente matemático, que presenta fielmente la estructura esencial del problema y del que fácilmente se pueda lograr la solución, por medio de la aplicación de un procesamiento bien conocido.

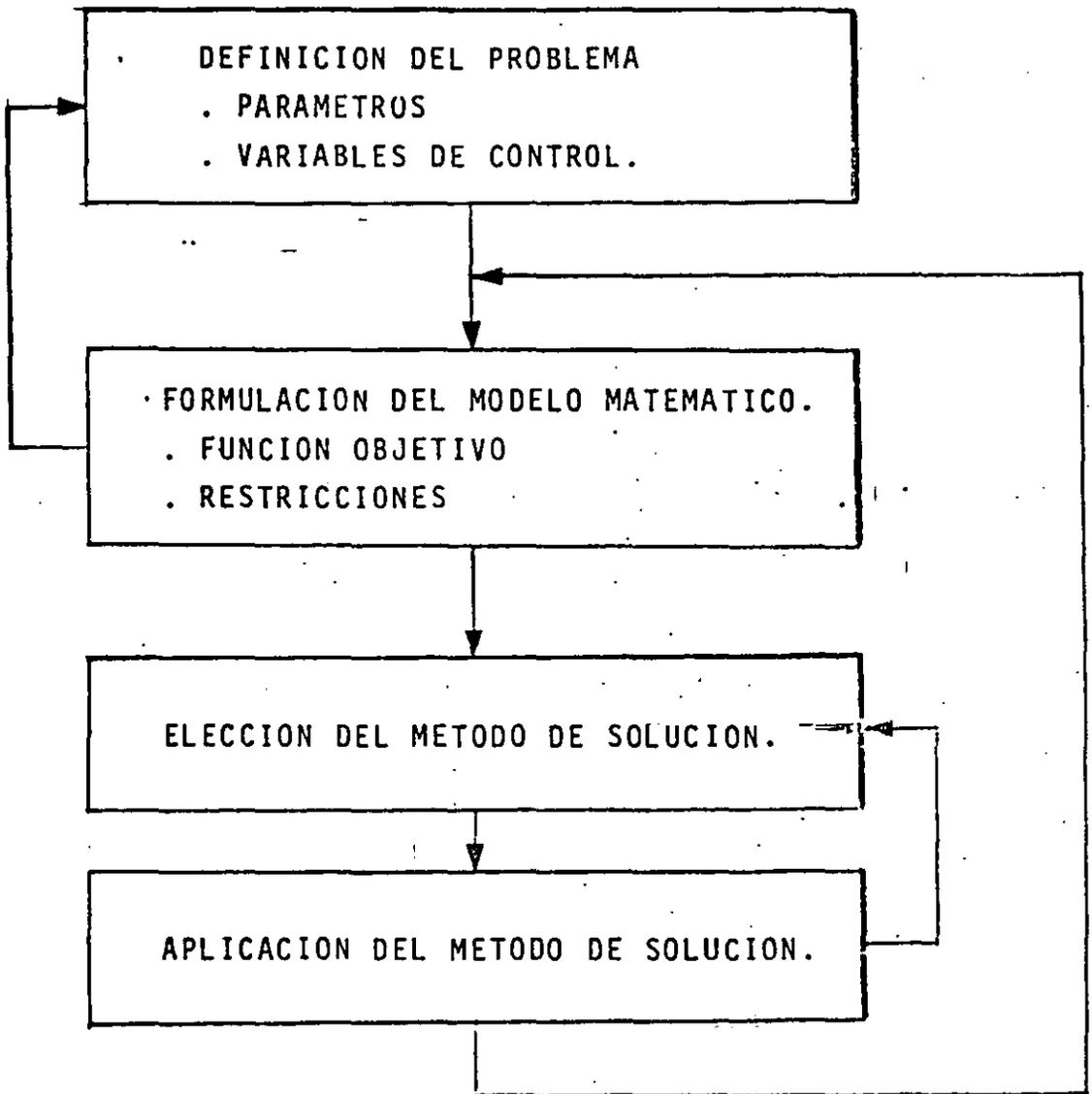


Fig. 1-1 PROCESO DE SOLUCION DE UN PROBLEMA DE OPTIMIZACION.

Siempre que se haga referencia a modelos, se debe sobreentender que se acepta la definición propuesta por Karlin\*: "Un modelo es una abstracción adecuada de la realidad, que preserve la estructura esencial del problema, de esta forma, su análisis proporcionará cierta información, no sólo del problema original, planteo de una situación concreta, sino de otros que presenten la misma estructura formal".

Es claro que la solución del modelo producirá resultados exactos, en el mismo grado de concordancia en el cual el modelo es representativo del problema original, porque si este no ha sido modelado convenientemente, la solución puede conducir a resultados dudosos o completamente erróneos, ejemplo de esta situación es el caso de un modelo de programación lineal del que se obtenga una solución no acotada como consecuencia de no haber incluido en el modelo cierta restricción del problema.

A continuación se analizan algunas características privativas, de los modelos de optimización, con la finalidad de proponer una clasificación adecuada, obviamente útil para una identificación posterior de los modelos que se estudian en los capítulos siguientes.

En los modelos de optimización, se distinguen tres componentes principales, a saber:

- (1) El conjunto de variables del problema.
- (2) La optimización del coeficiente de mérito.
- (3) El dominio de definición de las variables del problema, determinado por las restricciones impuestas a los valores que pueden tomar las citadas variables.

\*Karlin, S., Mathematical Methods and Theory in Games, Programming, and Economics, Vol. I, Addison-Wesley, p.1.

! La solución óptima en ciertas clases de problemas de optimización, son valores numéricos asignados a las variables del problema, que satisfacen a las restricciones y simultáneamente optimizan el coeficiente de mérito.

En otras clases de problemas de optimización-los -- variacionales-se procura determinar una curva o función, que satisfaga un conjunto de restricciones y optimice a cierta expresión funcional del conjunto de curvas solución, factibles.

En ciertos problemas, el objetivo se maneja sucintamente en forma matemática como una función de las variables de control; en otros, resulta imposible obtener esta representación sucinta y el coeficiente de mérito, para un conjunto dado de valores de las variables de control, solamente se conoce después de dar fin a un proceso complicado: un proceso de simulación, un análisis de ingeniería, la solución de un programa de computación muy elaborado, o una tabla de estimaciones.

Además los problemas pueden ser restringidos o irrestringidos. En los problemas restringidos de fácil formulación en forma matemática sucinta, la naturaleza de las expresiones restrictoras, pueden adoptar muy diversas formas, por ejemplo, pueden ser expresiones algebraicas o trascendentes, igualdades o desigualdades, funciones lineales o no lineales, el dominio de las variables pueden estar dado por un conjunto discreto o continuo. En algunos casos las restricciones también pueden ser diferenciales o integrales definidas.

A la luz del estudio anterior, es posible construir dos árboles que estructuran la clasificación de los modelos de optimización, ilustrados en las fig.1.2. Obviamente se puede desarrollar el árbol en las direcciones vertical y horizontal para lograr la construcción tan completa como sea necesario o como se quiera.

De este modo es posible distinguir ciertas ramas del árbol, como representantes de ciertas clases específicas de problemas cuyo procedimiento de solución es un desarrollo matemático bien conocido, por ejemplo los modelos pertenecientes a la rama de optimización restringida, para los cuales tanto las restricciones como el objetivo se pueden representar brevemente en conformación algebraica, constituyen la parte de la teoría de la optimización conocida generalmente como Programación Matemática.

Un segundo ejemplo se refiere a la clase de problemas, donde su función objetivo explícita, se expresa con una integral definida: caso de un objetivo funcional con otras condiciones adicionales o sin ellas. La solución de dichos modelos cae en el dominio del Cálculo de Variaciones clásico.

Otro ejemplo a examinar son los modelos restringidos, en los cuales es imposible expresar las funciones restrictivas así como las funciones objetivo, concisamente valiéndose de funciones matemáticas la optimización de tales modelos, solamente se puede alcanzar mediante cualquier recurso "sin llegar hasta la fuerza bruta". Las técnicas usualmente aplicadas pertenecen al dominio de los generalmente llamados Métodos de Investigación directa. En esta clase de modelos se hallan ciertos procesos estocásticos, por ejemplo una línea de espera, un proceso dado de prórroga, etc., analizables mediante una costosa simulación en la computadora, donde se pueden variar los parámetros de entrada y efectuar la simulación con cada uno de los conjuntos de valores y en esta forma estimar con cada juego de parámetros de entrada, una MEDICION DE LA EFECTIVIDAD (M,E) asociada con la salida de cada corrida. Si el problema es la elección de un juego de parámetros de entrada que optimice el ME entonces en este caso se requiere una técnica de investigación directa capaz de hallar el óptimo que colateralmente minimice el número de ensayos de simulación.

Fig. 1.2 Clasificación de los modelos de optimización.

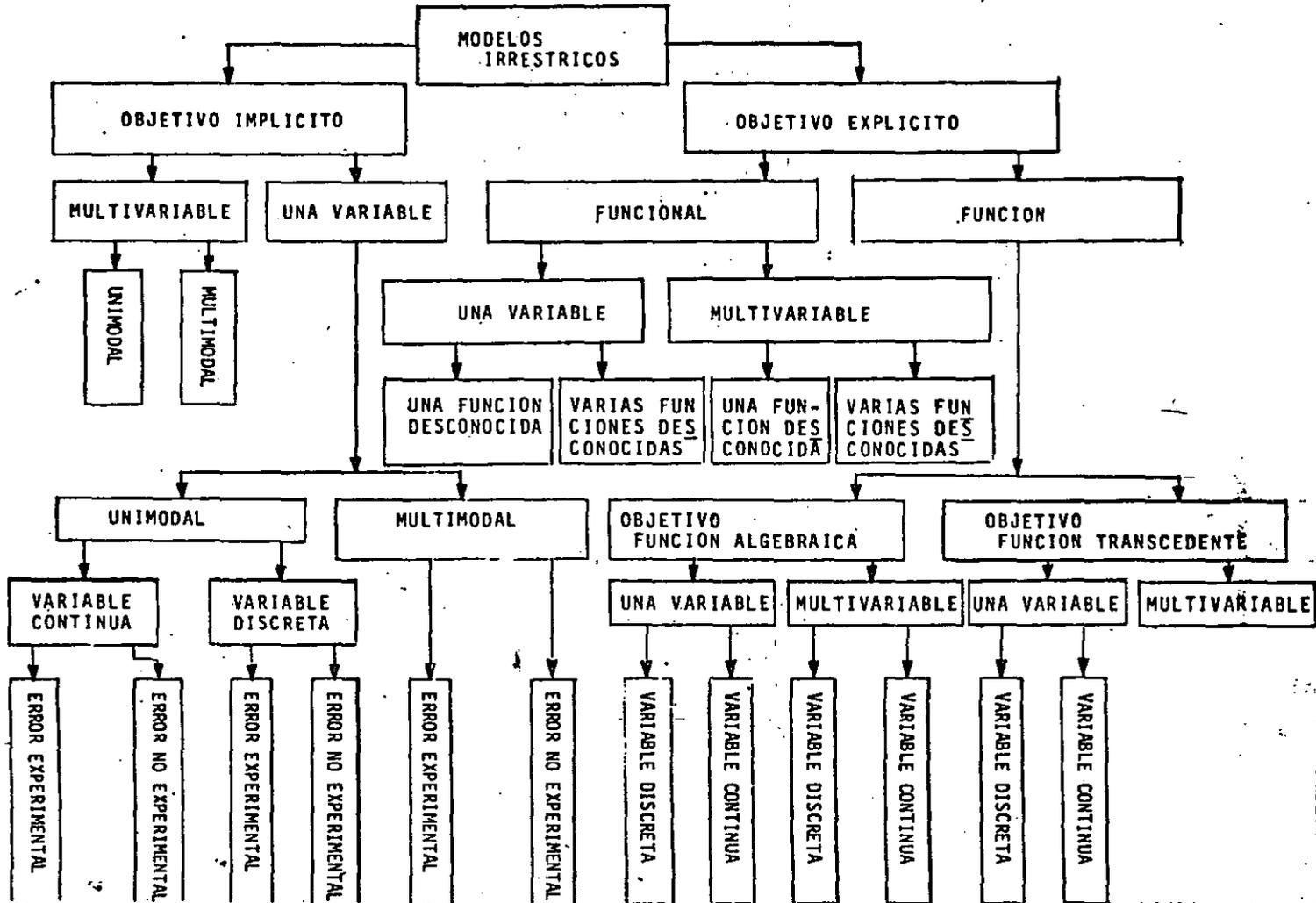
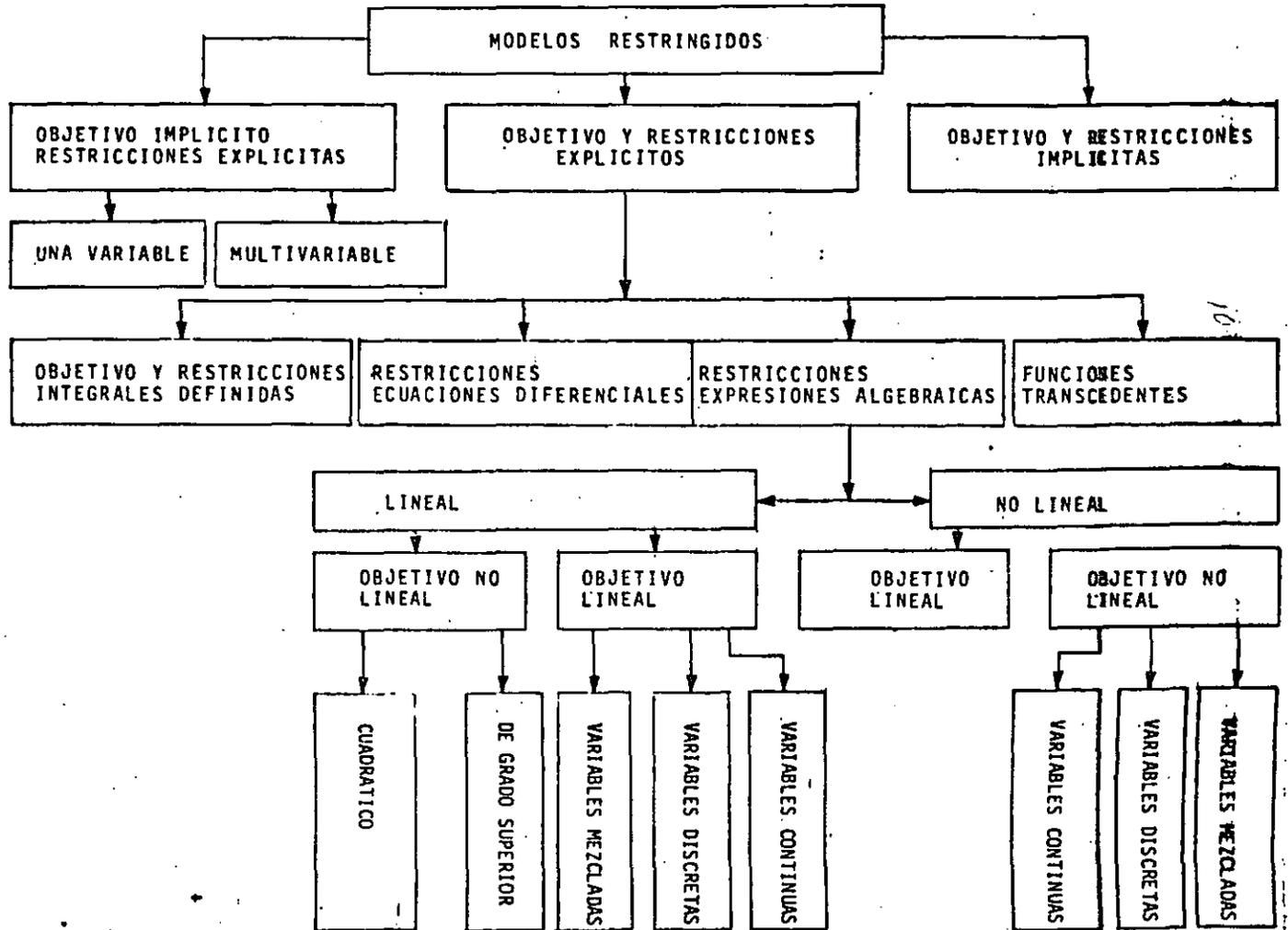


Fig. 1.2 Clasificación de los modelos de optimización.



## 1.7. TECNICAS DE SOLUCION.

Se da el nombre de técnicas de solución a los procedimientos y algoritmos diseñados para lograr la solución de los problemas de optimización.

La solución verdadera usualmente implica determinar matemáticamente los valores numéricos de las variables de control y el valor óptimo del coeficiente de mérito.

Generalmente, por necesidades didácticas, los métodos de optimización, se dividen en dos categorías mayores: los métodos directos y los indirectos.

### TECNICAS DIRECTAS:

En los métodos directos, la solución óptima se obtiene con el cálculo directo de los valores de la función objetivo en diferentes puntos del dominio de factibilidad; los valores obtenidos se comparan, luego utilizando un criterio auxiliar, se analiza un nuevo punto con la esperanza de mejorar el valor de la función objetivo.

Por otra parte, en los métodos indirectos, se busca un conjunto de valores de las variables de control que satisfagan a las necesarias y suficientes condiciones de optimidad conocidas. Los Métodos Clásicos del Cálculo Diferencial, son un ejemplo del tipo indirecto: ciertamente, primero se calculan los valores de las variables que anulan a las primeras derivadas parciales de la función objetivo, siempre y cuando la continuidad de la función y la existencia de las derivadas se halle garantizada en el dominio de interés; en esta forma, el problema de optimizar se transforma en otro de calcular las raíces de una ecuación.

El algoritmo Simplex, de programación lineal, utiliza tanto el método directo como el indirecto, en efecto, realiza una investigación directa en el conjunto de los puntos extremos del dominio de factibilidad y únicamente en ellos porque son los que satisfacen las condiciones necesarias para la optimalidad, en esta forma la función objetivo puede ser por lo menos tan buena como en el paso anterior. Finalmente, se detecta el óptimo entre el conjunto de puntos extremos, cuando se satisface el criterio indirecto de factibilidad de la solución complementaria, asociada al problema dual.

En algunos modelos matemáticos de optimización, en uno de los métodos de solución se transforma la estructura matemática del modelo original, en otra equivalente pero cuya solución se alcanza más fácilmente que en el modelo original. (veanse los capítulos III y IV).

Considerese la metodología de la PROGRAMACION GEOMETRICA\*; en este caso se formula el posinomio que se quiere optimizar en función del problema dual y es este modelo el que se resuelve. Otro ejemplo es la transformación de un problema de programación separable no lineal en otro de programación lineal.

#### CLASIFICACION DE LAS TECNICAS DIRECTAS.

Las técnicas directas se subdividen en dos grandes grupos:

- 1) Métodos simultáneos.
- 2) Métodos sucesivos.

\* Duffin, R.J., E.L. Peterson and C.M. Zener, Geometric Programming John Wiley, 1967.

En las técnicas de investigación simultánea se calculan los valores de la función objetivo o puntos de la superficie de respuestas, en un conjunto de puntos del dominio, determinados a priori, con arreglo a una cierta estrategia de investigación.

En los métodos de investigación sucesiva, se examinan uno después de otro varios ensayos de solución, determinando la ubicación de los ensayos subsiguientes de acuerdo con la información obtenida de los resultados de los ensayos anteriores.

Se presenta en la fig. 1.3 un subconjunto de las técnicas representativas de solución para cada una de las clases de métodos que se estudian en esta sección.

#### SELECCION DE UN METODO.

La elección de un método ventajoso de solución, en cierta clase de problemas depende de tipo de modelo empleando en su planteo, de las técnicas existentes para dar solución a ese modelo en particular y de las facilidades computacionales con las que cuenta el ingeniero-analista.

En el proceso de selección se pueden considerar factores tales como las linealidades del modelo, el número de variables, el número de restricciones, de estructuras especiales, de las separabilidad o acoplamiento débil de las variables en las restricciones, en la función objetivo o en ambas, o bien, superficies de restricción de fácil interpretación de carácter geométrico, etc.

La elección final de un método, ad hoc, para un problema particular, depende entonces de las propiedades detalladas del modelo, tanto como de las técnicas de solución que forma parte del paquete de progranológica (software) utilizable, en el centro de computación donde se procesa la solución.

121  
Con esto, se ha presentado una breve descripción de algunas clases de problemas de optimización, de modelos matemáticos aplicables a estos problemas y de los métodos utilizables en su solución. Para colocar el desarrollo de la teoría de la optimización en una justa perspectiva, debe el lector acudir al Apéndice B, donde se expone el camino seguido por varios matemáticos con las más significativas de sus contribuciones a través del paso -- de los años.

En las secciones que siguen se presentan los conceptos que estructuran la optimización de los sistemas de ingeniería, como columna vertebral los problemas que se estudiarán en la parte principal del texto.

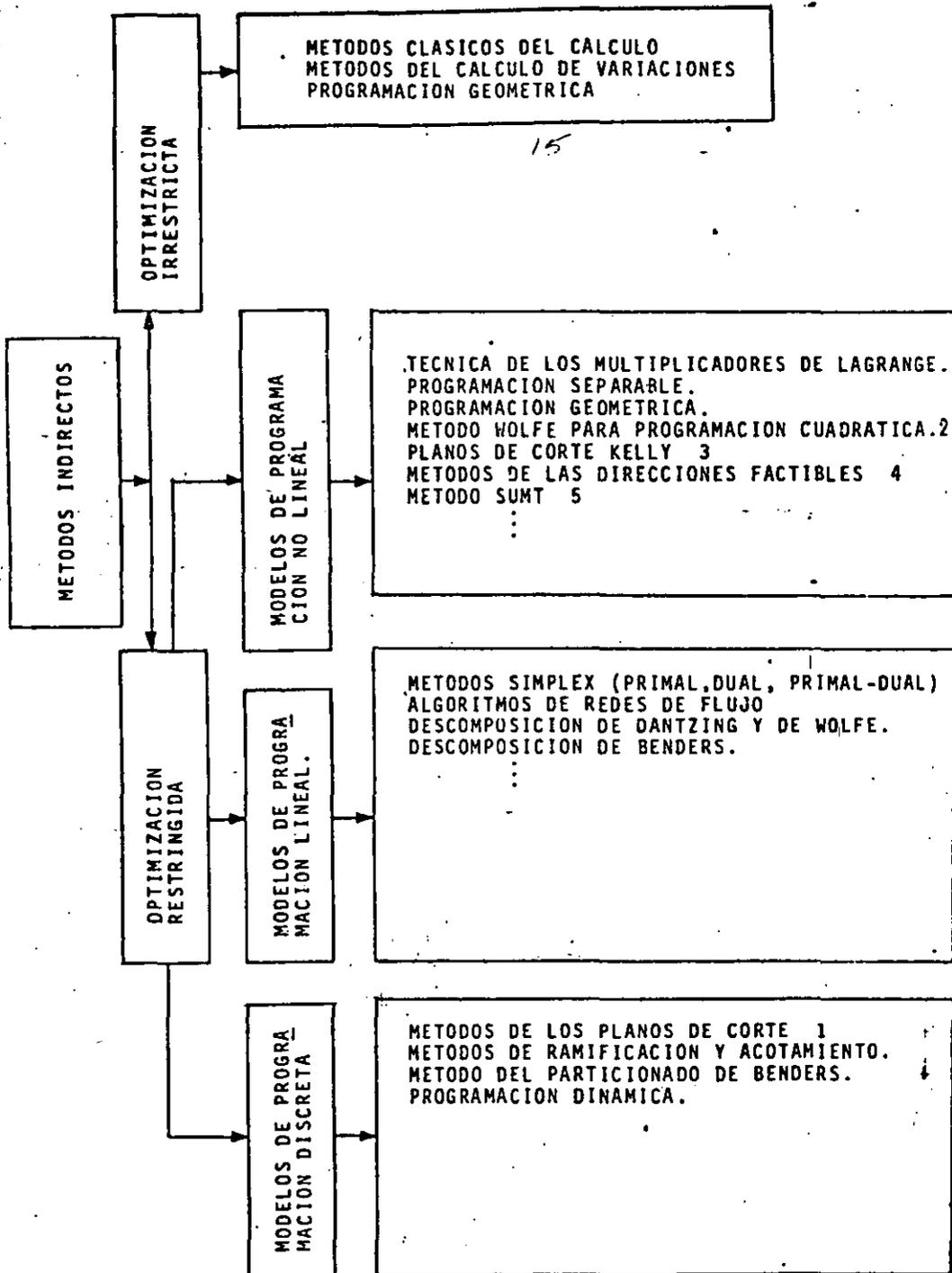
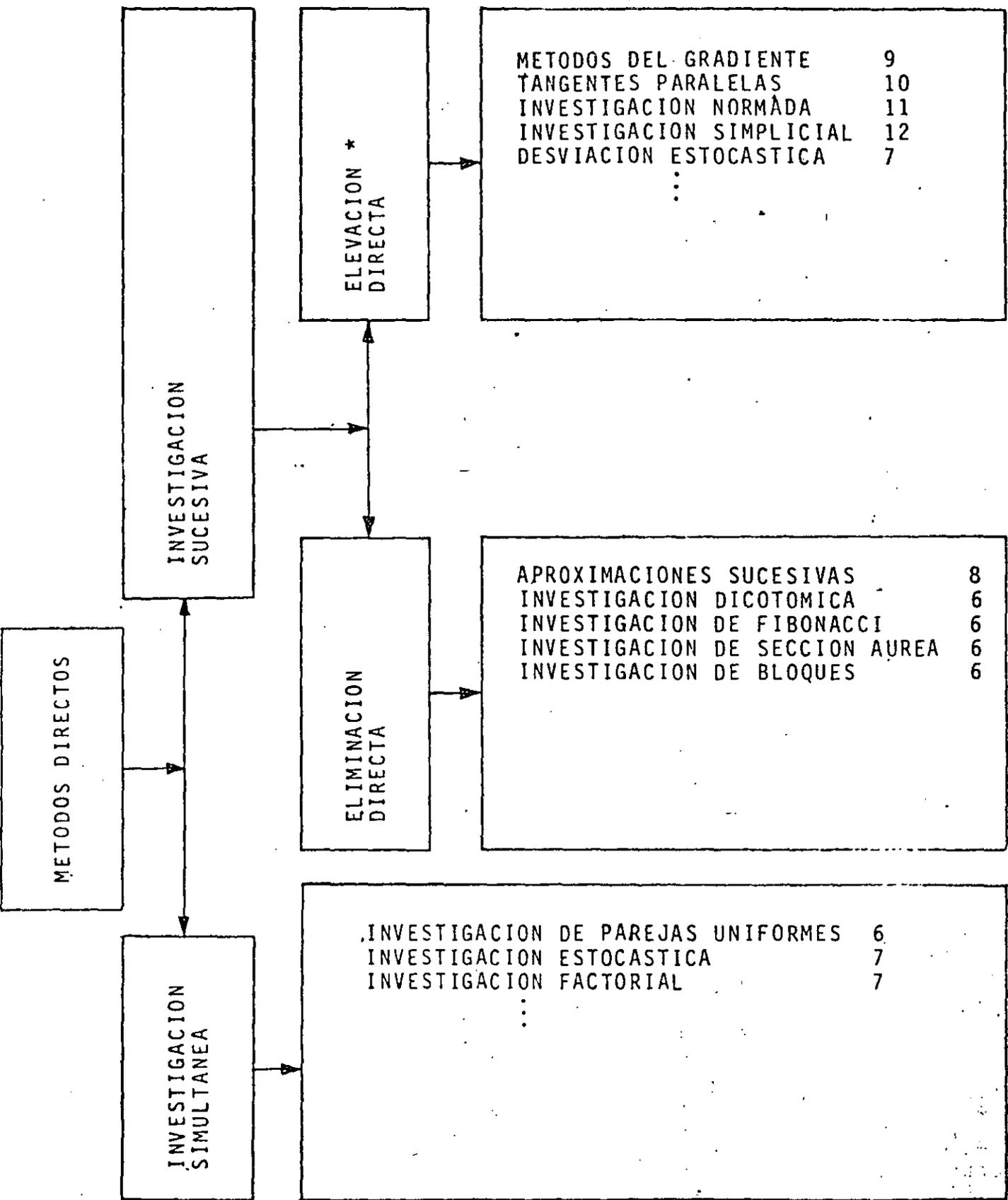


Fig. 1.3 Clasificación de los Métodos de Solución.



NOTA: Los números entre llaves corresponden a las referencias bibliográficas de la sección 8-10

\* Para un estudio de la eliminación comparada con la elevación consúltese 6

Fig. 1.3 Clasificación de los métodos de solución.

## OPTIMIZACION DE LOS SISTEMAS DE INGENIERIA.

El ingeniero utiliza los métodos experimentales y lógicos-matemático para analizar e interpretar el comportamiento del mundo físico; pero el nivel que la problemática exige es el estar en condiciones de lograr decisiones convenientes en relación a la inversión de recursos escasos cuya finalidad es promover el funcionamiento rentable de instalaciones de utilidad económica, sin desatender a las urgencias sociales.

En general, en un diseño, el ingeniero busca que la instalación cumpla con cierto comportamiento específico en forma económica; el significado del concepto "ECONOMICO", da lugar a varias interpretaciones; puede significar un costo mínimo del diseño incluyendo tanto los costos de la construcción como los de funcionamiento. Por otra parte, se puede buscar un diseño que produzca la más alta tasa de recuperación y funcionamiento. Obviamente también se pueden mezclar ponderadamente estos dos conceptos extremos.

De lo expuesto se infiere que el ingeniero en su labor de estructurar e implantar las mejores soluciones a los problemas que se le plantean en los términos que se manifestaron, afronta problemas de optimización con el significado que se desarrolló en las secciones anteriores.

Desde el punto de vista práctico de la cuantificación, en la gran mayoría de los sistemas de ingeniería, los problemas que surgen durante el proceso del diseño son tan complejos que resulta imposible construir un modelo capaz de solucionar la totalidad del problema utilizando solamente una de las técnicas citadas.

No obstante, en cualquier sistema de ingeniería, el problema del diseño se define en función del conjunto de fronteras que delimitan el rango de los sistemas de interés. Las fronteras representan una separación razonable, aunque un tanto arbitraria, del sistema en estudio en relación a otros en los cuales se halla incluido o comprendido; consecuentemente existe la posibilidad de ver un problema de diseño como una suboptimización de un conjunto de subsistemas, cuya unión constituye el sistema que mueve nuestro interés. Por consiguiente dentro de un sistema de ingeniería es práctica común descomponer un problema de diseño en componentes suficientemente definidas capaces de admitir la aplicación de las técnicas de optimización.

Evidentemente, el conjunto de soluciones óptimas de las componentes no constituyen en general un óptimo del sistema original, es solamente una solución subóptima.

Los procedimientos tradicionales para resolver problemas de diseño en ingeniería usualmente recurrían al método de aproximaciones sucesivas (trial and error procedure), pero en los nuevos enfoques recomiendan que en aquellos casos de sistemas donde los problemas de diseño pueden someterse con éxito a las técnicas de optimización matemática, el ingeniero-analista puede establecer las fronteras de acuerdo con las componentes en las que fragmentó el problema de diseño, en forma tal, que sea posible una representación matemática compacta del sistema. Lograda la representación en esta forma el diseñador se halla en condiciones de calcular la solución óptima del problema de diseño.

Cuando es posible aislar un fragmento del sistema de extensividad física significativa y se obtiene su diseño óptimo determinado por medio de un procedimiento de convergencia, se dice que existe un algoritmo de síntesis para el diseño del sistema. Si no es posible aislar parte del problema de diseño, cuya optimi-

zación se logre siguiendo un procedimiento de síntesis el diseñador debe resignarse a establecer partes del problema de diseño cuyas soluciones resulten optimizaciones a pequeña escala. La solución de estas optimizaciones a pequeña escala, se pueden considerar como partes del sistema total; son de interés especial en un proceso incremental de desarrollo de un algoritmo total de síntesis.

En este trabajo se dedican varias páginas a la exploración de partes de problemas de diseño en ingeniería cuya solución se puede alcanzar por medio de técnicas de optimización conocida. La primera parte del material cubre la asignación de recursos de capital a un conjunto finito de instalaciones. Los problemas que implican la síntesis de redes de transportación se exponen en las partes restantes del libro.

## 1.10 NOTAS AL CAPITULO I

20

- [1] Balinski, M. L., "Integer Programming: Method, Uses, Computation", *Management Science*, Vol. 12, No. 3, November 1965, pp. 255-264.
- [2] Wolfe, P., "The Simplex Method for Quadratic Programming", *Econometrica*, Vol. 27, 1959, pp. 382-398.
- [3] Kelley, J. E., Jr., "The Cutting Plane Method for Solving Convex Programs", *J. SIAM*, Vol. 8, December 1960, pp. 703-712.
- [4] Zoutendijk, G., *Methods of Feasible Directions*, Elsevier Publishing Co., Amsterdam, 1960.
- [5] Fiacco, A. V., and G. P. McCormick, "Computational Algorithm for the Sequential Unconstrained Minimization Technique for Nonlinear Programming", *Management Science*, Vol. 10, 1964, pp. 601-617.
- [6] Wilde, D. J. and C. S. Beightler, *Foundations of Optimization*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1957.
- [7] Brooks, S. H., "A Discussion of random Methods for Seeking Maxima", *Operations Research*, Vol. 6, 1958, pp. 244-251.
- [8] Berman, G., "Minimization by Successive Approximation", *J. SIAM Num. Anal.*, Vol. 3, 1966, pp. 123-133.
- [9] Hadley, G., *Non Linear and Dynamic Programming*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., Reading, Massachusetts, 1964, Ch. 9.
- [10] Shah, B. V., R. J. Buehler, and O. Kempthorne, "Some Algorithms for Minimizing a Function of Several Variables", *J. SIAM*, Vol. 12, March 1964, pp. 74-92.
- [11] Hooke, R. and T. A. Jeeves, "'Direct Search' Solution of Numerical and Statistical Problems", *J. Assn. Comp. Mach.*, Vol. 8, April 1961, pp. 212-229.
- [12] Spendley, N., G. R. Hext, and F. R. Himsforth, "Sequential Application of Simplex Design in Optimization and Evolutionary Operations", *Technometrics*, Vol. 4, November, 1962, pp. 441-459.



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

FUNDAMENTOS, TALLER Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

ANALISIS SECUENCIA Y CIRCULOS DE CALIDAD

M. EN I. RUBEN TELLEZ SANCHEZ

NOVIEMBRE, 1985.

## PROLOGO.

El análisis secuencial es un método de inferencia estadística, cuya característica fundamental, radica en el hecho de que el número de observaciones no se determina antes de iniciar el experimento. La decisión para terminar el experimento, depende de los resultados de las observaciones hechas previamente. El mérito del método secuencial como aplicación a las pruebas de hipótesis estadísticas, es que la realización de dichos procedimientos de prueba, requieren en promedio, un número sustancialmente menor de observaciones que el mejor procedimiento usual que utilice un número de observaciones fijo, además de poder controlar los errores tipo I y II.

En este trabajo se presenta la teoría de un método particular de análisis secuencial, la llamada prueba secuencial de razón de probabilidad. Este método se estudió por vez primera el año de 1943. El uso de la prueba secuencial de razón de probabilidad trae consigo por lo general, un ahorro de cerca del 50% en el número de observaciones, respecto al procedimiento de prueba más eficiente, basado en un número fijo de observaciones. Dicho método consiste en tomar una muestra del lote, y la decisión entre tomar o no una segunda muestra, depende en forma exclusiva del resultado de dicha muestra: la decisión de tomar una tercer muestra, se hará

sobre los resultados obtenidos de las dos muestras anteriores, y a sí sucesivamente.

El primer estudio acerca de un procedimiento de prueba--secuencial se les atribuye a H. F. Dodge y H. G. Romig que construyeron un plan de muestreo doble. De acuerdo a este esquema, la decisión entre tomar o no una segunda muestra, depende solo de los resultados obtenidos de la primer muestra. Mientras este método solo permite dos muestras, Walter Bartky, diseñó un esquema de muestreo múltiple para el caso particular de la prueba de la media de una distribución binomial. El incentivo que alentó a estas personas al estudio de dicho método, es el ahorro promedio en el número de observaciones que les proporcionaba, respecto a cualquier otro método que utiliza un número fijo de observaciones.

El problema de análisis secuencial fué estudiado por el Departamento de Estadística de la Universidad de Columbia. Milton-Friedman y W. Allen Wallis apreciaron su gran potencialidad, así como las consecuencias de importancia que aportaría al desarrollo de la estadística su estudio.

Un avance importante en el estudio del procedimiento de prueba secuencial se realizó en 1944, año en el que Milton Friedman y George W. Brown (trabajando en forma independiente), así como C. M. Stockman, en Inglaterra, encontraron la curva de operación característica de la prueba secuencial de razón de probabilidad para

el caso de una distribución binomial. Tiempo después, de desarrollo una teoría general de sumas acumuladas, la cual no sólo proporcionaba la curva CO, de cualquier prueba secuencial, sino que también la función característica del número de observaciones requerido por la prueba.

Por último, diremos que la importancia del procedimiento de prueba secuencial radica en poder controlar el tamaño de los errores tipo I y II, así como poder minimizar el número de observaciones.

# I-CONCEPTOS BASICOS.

En el contexto estadístico, una hipótesis se puede definir como una proposición, o afirmación acerca de una o más variables aleatorias. Si la hipótesis estadística especifica completamente la distribución, se le llama hipótesis estadística simple; si no es así, se le llama hipótesis estadística compuesta. A manera de ilustración, analicemos el siguiente caso. Consideremos que existen dos parámetros desconocidos  $\theta_1$  y  $\theta_2$  involucrados en la distribución de una variable aleatoria  $X$ . La hipótesis,  $\theta_1=3$  y  $\theta_2=5$ , es una hipótesis simple, ya que especifica en forma completa los valores de los parámetros desconocidos. De otra manera, si la hipótesis es  $\theta_1 \leq \theta_2$ , se trata de una hipótesis compuesta.

El problema de pruebas de hipótesis, consiste en verificar la validez o falsedad de la hipótesis mediante el uso de métodos estadísticos.

Cabe hacer notar, que del mismo concepto de pruebas de hipótesis, se desprende la existencia para cada prueba, de una regla de decisión que permite, en presencia de información, emitir un juicio acerca de la veracidad de la proposición. Esto es, dada una hipótesis, se ha de definir una regla de decisión, de tal forma que caracterice la información realacionada como evidencia a fa

vor de la hipótesis, o evidencia en contra de la hipótesis; si dicha información la obtenemos a través de muestras, la caracterización debe hacerse para cada una de las muestras posibles.

La decisión de aceptar o rechazar una hipótesis, se toma siempre en base a un número finito de observaciones de la o las variables aleatorias que se involucran en la prueba; al número finito de observaciones, se le denomina muestra. Al número de observaciones contenido en la muestra, se le llama tamaño de la muestra.

Denótese por  $n$ , el número de observaciones en base a los cuales la aceptación o rechazo de la hipótesis en cuestión se va a decidir. Cualquier posible resultado de  $n$  observaciones sucesivas es una muestra de tamaño  $n$ . Un procedimiento de prueba, es una regla específica, para cada posible muestra que nos conduce a la aceptación o rechazo de la hipótesis, en base a esa muestra. En otras palabras, un procedimiento de prueba es una partición del espacio muestral en dos subconjuntos mutuamente exclusivos. Un subconjunto 1, y un subconjunto 2, sobre los cuales se aplica la regla de decisión de que la hipótesis sea rechazada si la muestra observada se encuentra en el subconjunto 1, y la hipótesis es aceptada, si la muestra está contenida en el subconjunto 2. A estos subconjuntos 1 y 2, se les denomina región crítica, y región de aceptación, respectivamente; con lo que la región crítica queda definida como aquella región que contiene los valores para los cuales se

rechaza la hipótesis bajo consideración, y la región de aceptación es aquella región que contiene los valores para los cuales no se rechaza la hipótesis en cuestión.

Frecuentemente, a la hipótesis a probar, se le denomina hipótesis nula ( $H_0$ ), y a la hipótesis en contraste con ésta, hipótesis alternativa ( $H_1$ ).

En la verificación de una prueba de hipótesis estadística  $H_0$ , v.s.  $H_1$ , se define el concepto de función potencia, como una función que da la probabilidad de rechazar la hipótesis bajo consideración. El valor de la función potencia para un valor dado del parámetro involucrado, se le llama la potencia de la prueba en ese punto.

El nivel de significancia de la prueba, también denominado tamaño de la región crítica, es el valor máximo de la función potencia de la prueba cuando  $H_0$  es cierta.

Ahora bien, haciendo una analogía al desarrollo de Jerzy Neyman y Egon S. Pearson, en la verificación de pruebas de hipótesis, podemos pensar en lo que ellos llamaron probabilidades de error tipo I y tipo II, que son respectivamente: la probabilidad de rechazar  $H_0$ , (aceptar  $H_1$ ) cuando  $H_0$  es cierta (y por lo tanto  $H_1$  es falsa) y la probabilidad de aceptar  $H_0$ , (rechazar  $H_1$ ) cuando  $H_0$  es falsa (y por lo tanto  $H_1$  es cierta). A la probabilidad de cometer un error tipo I se le designa por  $\alpha$ , y a la probabilidad de co

meter un error tipo II, se le designa por  $\beta$ .

Se define como espacio paramétrico, el conjunto de valores ( $\Omega$ ), que puede tomar el parámetro  $\theta$ , en función del cual se define la función de densidad de probabilidad (f.d.p.) de una variable aleatoria  $X$ .

Una vez definido lo que era región crítica, veamos lo que se entiende por mejor región crítica. Denotemos por  $C$ , un subconjunto del espacio muestral, por lo que  $C$  es llamada mejor región crítica de tamaño  $\alpha$ , para la prueba de las hipótesis simples  $H_0: \theta = \theta_0$  contra la alternativa  $H_1: \theta = \theta_1$ , si para todos los subconjuntos  $A$  del espacio muestral para los cuales  $\Pr((X_1, \dots, X_n) \in A / H_0) = \alpha$ :

$$a) \Pr((X_1, X_2, \dots, X_n) \in C / H_0) = \alpha$$

$$b) \Pr((X_1, X_2, \dots, X_n) \in C / H_1) \geq \Pr((X_1, X_2, \dots, X_n) \in A / H_1)$$

De lo anterior, se establece lo siguiente: Primero, supone cierta  $H_0$ . Segundo, existirá una multiplicidad de subconjuntos  $A$ , del espacio muestral, tales que  $\Pr((X_1, \dots, X_n) \in A) = \alpha$ . Supongase que hay uno de estos subconjuntos, digamos  $C$ , tal que cuando  $H_1$  es cierta, la potencia de la prueba asociada con  $C$ , es al menos tan grande como la potencia de la prueba asociada con  $A$ .

Neyman y Pearson formularon ciertos principios para la selección adecuada de una región crítica para el caso de verificación de pruebas de hipótesis simples, principios que pueden resu-

mirse en el lema de Neyman-Pearson:

Sea  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , donde  $n$ , es un entero positivo fijo, --- denota una muestra aleatoria de una distribución cuya f.d.p. es ----  $f(x; \theta)$ . Entonces la f.d.p. conjunta de  $X_1, X_2, \dots, X_n$  es:

$$L(\theta; x_1, x_2, \dots, x_n) = f(x_1; \theta) f(x_2; \theta) \dots f(x_n; \theta)$$

Sean  $\theta_1$  y  $\theta_2$ , dos valores fijo y distinto de  $\theta$ , tales ---- que:  $\Omega = (\theta / \theta = \theta_0, \theta_1)$  y sea  $k$ , un número positivo. Sea  $C$ , un subcon -- junto del espacio muestral tal que:

a)  $\frac{L(\theta_0; x_1, x_2, \dots, x_n)}{L(\theta_1; x_1, x_2, \dots, x_n)} \leq k$  para cada punto  $(x_1, x_2, \dots, x_n) \in C$

b)  $\frac{L(\theta_0; x_1, x_2, \dots, x_n)}{L(\theta_1; x_1, x_2, \dots, x_n)} \geq k$  para cada punto  $(x_1, x_2, \dots, x_n) \notin C$

c)  $\alpha = \Pr((X_1, X_2, \dots, X_n) \in C / H_0)$

Entonces  $C$ , es la mejor región crítica de tamaño , para -- probar las hipótesis simples  $H_0: \theta = \theta_0$  v.s.  $H_1: \theta = \theta_1$ .

A continuación, se demuestra el lema, cuando se trata de variables aleatorias continuas, para el caso de variables aleato -- rias discretas, la demostración es la misma, reemplazando el signo de integración por el de sumatoria. Si  $C$ , es la única región críti -- ca de tamaño  $\alpha$ , el lema queda demostrado. Si existe otra región --- crítica de tamaño  $\alpha$ , la cual denotaremos por  $A$ , lo que deseamos de -- mostrar es que:

$$\int_C L(\theta_1) - \int_A L(\theta_1) \geq 0$$

en la que, por simplicidad en el manejo denotaremos por  $\int_R L(\theta)$  a  $\int \dots L(\theta; x_1, \dots, x_n) dx_1, \dots, dx_n$ .

Dado que C, es la unión de los conjuntos disjuntos  $C_{NA}$  y  $C_{NA}^*$ , y A, es la unión de los conjuntos disjuntos  $A_{NC}$  y  $A_{NC}^*$ , tenemos:

$$\begin{aligned}
 (1) \quad \int_C L(\theta_1) - \int_A L(\theta_1) &= \\
 &= \int_{C_{NA}} L(\theta_1) + \int_{C_{NA}^*} L(\theta_1) - \int_{A_{NC}} L(\theta_1) - \int_{A_{NC}^*} L(\theta_1) \\
 &= \int_{C_{NA}^*} L(\theta_1) - \int_{A_{NC}^*} L(\theta_1)
 \end{aligned}$$

Sin embargo, por hipótesis del teorema,  $L(\theta_1) \geq (1/k)L(\theta_0)$  para cada punto de C, y como consecuencia, para cada punto de  $C_{NA}^*$ ; Así:

$$\int_{C_{NA}^*} L(\theta_1) \geq 1/k \int_{C_{NA}^*} L(\theta_0)$$

Pero  $L(\theta_1) \leq (1/k)L(\theta_0)$  para cada punto de  $C^*$ , y en consecuencia, para cada punto de  $A_{NC}^*$ . Con lo que:

$$\int_{A_{NC}^*} L(\theta_1) = 1/k \int_{A_{NC}^*} L(\theta_0)$$

Estas desigualdades implican que:

$$\int_{C_{NA}^*} L(\theta_1) - \int_{A_{NC}^*} L(\theta_1) \geq 1/k \int_{C_{NA}^*} L(\theta_0) - 1/k \int_{A_{NC}^*} L(\theta_0)$$

Y de (1) obtenemos:

$$(2) \quad \int_C L(\theta_1) - \int_A L(\theta_1) = 1/k \left\{ \int_{C_{NA}^*} L(\theta_0) - \int_{A_{NC}^*} L(\theta_0) \right\}$$

Sin embargo:

$$\begin{aligned}
 \int_{C_{NA}^*} L(\theta_0) - \int_{A_{NC}^*} L(\theta_0) &= \\
 &= \int_{C_{NA}^*} L(\theta_0) + \int_{C_{NA}} L(\theta_0) - \int_{A_{NC}} L(\theta_0) - \int_{A_{NC}^*} L(\theta_0) \\
 &= \int_C L(\theta_0) - \int_A L(\theta_0)
 \end{aligned}$$

$$= \alpha - \lambda = 0$$

Si este resultado lo sustituimos en (2), obtenemos el resultado deseado:

$$\int_C L(\theta_1) - \int_A L(\theta_1) = 0$$

Con lo que queda demostrado el Lema de Neyman-Pearson.

IV-APLICACION DE LA TEORIA GENERAL A CASOS  
ESPECIALES. PRUEBA DE LA MEDIA DE UNA--  
DISTRIBUCION BINOMIAL.

IV-1-FORMULACION DEL PROBLEMA.

El problema que trataremos en esta sección, es el referente a una variable aleatoria  $X$ , la cual solo puede tomar los valores 0 y 1. Uno de los casos más importantes en donde se nos presenta este problema, es el muestreo de aceptación de productos manufacturados. Es tal vez por eso, que al desarrollar el procedimiento de prueba, se hace uso de la terminología del muestreo de aceptación. Asignaremos el valor 1, a cualquier unidad defectuosa, y el valor cero, a una no defectuosa, con lo que el resultado (variable aleatoria  $X$ ) de extraer e inspeccionar una unidad del lote, puede tomar solo los valores 0 y 1, con probabilidades  $1-p$  y  $p$ , respectivamente. En general, será posible especificar un valor  $p'$ , tal que optemos por la aceptación del lote cuando  $p \leq p'$ , y por el rechazo del lote cuando  $p > p'$ .

IV-2-RIESGOS TOLERADOS DE TOMAR DECISIONES  
INCORRECTAS.

Cualquier plan de muestreo, que no provea información completa acerca del lote en cuestión, puede conducirnos a una decisión equivocada. i.e. podemos rechazar un lote cuando  $p \leq p'$ , o aceptarlo cuando  $p > p'$ . Dado que la inspección total del lote no es

posible, o es muy costosa, debemos tolerar ciertos riesgos de tomar decisiones equivocadas. Con el propósito de establecer un plan de muestreo, es necesario especificar los máximos riesgos de tomar decisiones equivocadas.

Cuando se nos presente el caso  $p=p'$ , la calidad del lote, se encuentra justamente en el margen, y somos indiferentes acerca de cual decisión tomar. Si  $p > p'$ , preferimos rechazar el lote, y dicha preferencia se incrementará al incrementarse el valor de  $p$ . Para  $p < p'$ , preferimos aceptar el lote, y dicha preferencia se incrementará al disminuir el valor de  $p$ . Si  $p$  se encuentra solo ligeramente por encima de  $p'$ , la preferencia para rechazo es solamente ligera, y la aceptación del lote no puede ser considerada como un error de consideración. Similarmente, si  $p$  se encuentra solo ligeramente por debajo de  $p'$ , el rechazo del lote no se considera un error de consecuencia; por lo que será posible especificar dos valores  $p_0$ , y  $p_1$ ,  $p_0$  menor que  $p'$  y  $p_1$  mayor que  $p'$ , tal que la aceptación del lote se considere como un error de importancia, si y solo si,  $p \geq p_1$ , y el rechazo del lote se considere un error de consecuencias prácticas, si y solo si  $p \leq p_0$ . Si  $p$ , se encuentra entre  $p_0$  y  $p_1$ , no estamos en condiciones de tomar una decisión final.

Una vez que los valores  $p_0$  y  $p_1$ , han sido seleccionados los riesgos de tomar decisiones equivocadas, las podemos estable-

cer como sigue: La probabilidad de rechazar el lote, no debe exceder un valor dado  $\alpha$ , cuando  $p \leq p_0$ , y la probabilidad de aceptar el lote no debe exceder un valor  $\beta$ , cuando  $p \geq p_1$ .

Así, los riesgos antes mencionados son caracterizados por cuatro números:  $p_0$ ,  $p_1$ ,  $\alpha$ , y  $\beta$ . La selección de estas cuatro cantidades debe hacerse en base a ciertas consideraciones prácticas de cada caso en particular.

#### IV-3-PRUEBA SECUENCIAL DE RAZON DE PROBABILIDAD CORRESPONDIENTE A LAS CANTIDADES $p_0$ , $p_1$ , $\alpha$ Y $\beta$ .

Un plan de muestreo que satisface las condiciones de que la probabilidad de rechazo del lote no exceda un valor  $\alpha$  cuando  $p \leq p_0$ , y la probabilidad de aceptación del lote no exceda un valor  $\beta$  cuando  $p \geq p_1$ , está dado por la prueba secuencial de razón de probabilidad de vigor  $(\alpha, \beta)$ , para la prueba de la hipótesis  $p = p_0$  v.s. la hipótesis  $p = p_1$ . Dicha prueba, se expresa de la manera siguiente: Sea  $x_i$ , el resultado de la inspección de la  $i$ th unidad; i.e.  $x_i = 1$  si la  $i$ th unidad inspeccionada es defectuosa, y  $x_i = 0$  de otra manera. Si  $p$  denota la proporción de defectuosos en el lote, la probabilidad de obtener una muestra igual a la observada,  $(x_1, \dots, x_m)$  está dada por:

$$(1) \quad p_m = p^{d_m} (1 - p)^{m - d_m}$$

Donde  $d_m$  representa el número de defectuosos en las primeras  $m$  unidades inspeccionadas. (Se supone que el lote es lo suficientemente grande, como para considerar como independientes las observaciones sucesivas  $x_1, x_2, \dots$ ). Bajo la hipótesis que  $p=p_0$ , (1) resulta:

$$(2) \quad p_{0m} = p_0^{d_m} (1 - p_0)^{m - d_m}$$

Y bajo la hipótesis que  $p=p_1$ , (1) es igual a:

$$(3) \quad p_{1m} = p_1^{d_m} (1 - p_1)^{m - d_m}$$

La prueba se verifica como sigue: En cada estado de la inspección, a la inspección de la  $m$ th unidad para cada valor entero positivo  $m$ , evaluamos el logaritmo de la razón de probabilidad

$p_{1m}/p_{0m}$ .

$$(4) \quad \log \frac{p_{1m}}{p_{0m}} = d_m \log \frac{p_1}{p_0} + (m - d_m) \log \frac{1-p_1}{1-p_0}$$

La inspección continúa en tanto:

$$(5) \quad \log \frac{\beta}{1-\alpha} < \log \frac{p_{1m}}{p_{0m}} < \log \frac{1-\beta}{\alpha}$$

Aceptamos el lote si, en el estado final tenemos:

$$(6) \quad \log \frac{p_{1m}}{p_{0m}} \leq \log \frac{\beta}{1-\alpha}$$

Rechazamos el lote si:

$$(7) \quad \log \frac{p_{1m}}{p_{0m}} \geq \log \frac{1-\beta}{\alpha}$$

Las desigualdades (5), (6) y (7) las podemos expresar mediante ciertas sustituciones, de la manera siguiente.

Sustituyendo (4) en (5).

$$(8) \quad \frac{\log \frac{\beta}{1-\lambda}}{\log \frac{p_1}{p_0} - \log \frac{1-p_1}{1-p_0}} + m \frac{\log \frac{1-p_0}{1-p_1}}{\log \frac{p_1}{p_0} - \log \frac{1-p_1}{1-p_0}} < d_m < \frac{\log \frac{1-\beta}{\lambda}}{\log \frac{p_1}{p_0} - \log \frac{1-p_1}{1-p_0}} + m \frac{\log \frac{1-p_0}{1-p_1}}{\log \frac{p_1}{p_0} - \log \frac{1-p_1}{1-p_0}}$$

Sustituyendo (4) en (6).

$$(9) \quad d_m \geq \frac{\log \frac{1-\beta}{\lambda}}{\log \frac{p_1}{p_0} - \log \frac{1-p_1}{1-p_0}} + m \frac{\log \frac{1-p_0}{1-p_1}}{\log \frac{p_1}{p_0} - \log \frac{1-p_1}{1-p_0}}$$

Sustituyendo (4) en (7).

$$(10) \quad d_m \leq \frac{\log \frac{\beta}{1-\lambda}}{\log \frac{p_1}{p_0} - \log \frac{1-p_1}{1-p_0}} + m \frac{\log \frac{1-p_0}{1-p_1}}{\log \frac{p_1}{p_0} - \log \frac{1-p_1}{1-p_0}}$$

Para cada valor de  $m$ , denotaremos el miembro derecho de (10) por  $a_m$ , y lo llamaremos número de aceptación. En la misma manera, el miembro derecho de (9), lo denotaremos por  $r_m$  y lo llamaremos número de rechazo. Por facilidad en los cálculos, haremos uso de (8), (9) y (10) en lugar de (5), (6) y (7), al llevar a cabo

la prueba. En cada estado de la inspección evaluamos los números de aceptación  $a_m$ , y de rechazo  $r_m$ . Continuamos con la inspección en tanto  $a_m < d_m < r_m$ . La primera vez que  $d_m$  no se encuentre entre los números de aceptación y de rechazo, la inspección termina. Si  $d_m \geq r_m$ , el lote se rechaza, y si  $d_m \leq a_m$ , el lote se acepta.

#### IV-3.1-PORMA TABULAR DE REALIZAR LA PRUEBA.

El número de aceptación

$$(11) \quad a_m = \frac{\log \frac{\beta}{1-\alpha}}{\log \frac{p_1}{p_0} - \log \frac{1-p_1}{1-p_0}} + m \frac{\log \frac{1-p_0}{1-p_1}}{\log \frac{p_1}{p_0} - \log \frac{1-p_1}{1-p_0}}$$

y el número de rechazo:

$$(12) \quad r_m = \frac{\log \frac{1-\beta}{\alpha}}{\log \frac{p_1}{p_0} - \log \frac{1-p_1}{1-p_0}} + m \frac{\log \frac{1-p_0}{1-p_1}}{\log \frac{p_1}{p_0} - \log \frac{1-p_1}{1-p_0}}$$

depende sólo de los valores de  $p_0$ ,  $p_1$ ,  $\alpha$  y  $\beta$ .

Así, pueden ser evaluados y tabulados, antes de empezar la inspección. Si  $a_m$  no es un valor entero, lo reemplazamos por el mayor entero menor que  $a_m$ . De igual manera, si  $r_m$  no es un valor entero, podemos reemplazarlo por el menor entero mayor que  $r_m$ .

Como ilustración, consideremos el siguiente ejemplo.

Sean  $p_0=0.05$ ,  $p_1=0.20$ ,  $\alpha=0.05$  y  $\beta=0.10$ ; los números de aceptación-

y de rechazo, se calculan para cada estado de las ecuaciones (11)-  
y (12); los resultados del experimento, están representados en la-  
siguiente tabla:

NUMERO DE UNIDADES INSPECCIONADAS	NUMERO DE ACEPTACION	NUMERO DE DEFECTUOSOS	NUMERO DE RECHAZO
1	-	0	-
2	-	0	-
3	-	0	3
4	-	0	3
5	-	0	3
6	-	0	3
7	-	0	3
8	-	1	3
9	-	1	3
10	-	1	3
11	-	1	4
12	-	1	4
13	-	1	4
14	0	1	4
15	0	1	4
16	0	1	4
17	0	2	4
18	0	2	4
19	0	3	4
20	0	3	5
21	0	3	5
22	0	4	5
23	1	5	5
24	1		5
25	1		5

Los valores de la segunda y cuarta columna se encontra-  
ron mediante las ecuaciones para los números de aceptación y de re-  
chazo que se determinaron, sustituyendo los valores de  $p_0$ ,  $p_1$ ,  $\alpha$ ,

y  $\beta$ , en (11) y (12). Dichas ecuaciones, después de la sustitución, quedan de la siguiente manera:

$$a_m = -1.46 + 0.11 m \quad \text{y} \quad r_m = 1.86 + 0.11 m$$

Dado que la primera vez en que  $d_m$  no se encuentra entre  $a_m$  y  $r_m$ , es cuando  $m=23$ , y como  $d_m=r_m$ , la inspección termina con el rechazo del lote.

#### IV-3.2-PROCEDIMIENTO GRAFICO.

La prueba se puede realizar también en forma gráfica. El número de observaciones  $m$ , se mide sobre el eje horizontal, y el número de defectuosos  $d_m$ , sobre el eje vertical. Los puntos  $(m, a_m)$  se encuentran sobre una línea recta  $L_0$ , dado que  $a_m$  es una función lineal de  $m$ . De igual manera, los puntos  $(m, r_m)$  se encuentran sobre una línea recta  $L_1$ . La intersección de  $L_0$ , está dada por:

$$(13) \quad h_0 = \frac{\log \frac{\beta}{1-\alpha}}{\log \frac{p_1}{p_0} - \log \frac{1-p_1}{1-p_0}}$$

Y la intersección de  $L_1$ , está dada por:

$$(14) \quad h_1 = \frac{\log \frac{1-\beta}{\alpha}}{\log \frac{p_1}{p_0} - \log \frac{1-p_1}{1-p_0}}$$

Las líneas  $L_0$  y  $L_1$  son paralelas, y la pendiente común es igual a:

$$(15) \quad s = \frac{\log \frac{1-p_0}{1-p_1}}{\log \frac{p_1}{p_0} - \log \frac{1-p_1}{1-p_0}}$$

Las dos líneas rectas  $L_0$  y  $L_1$  se grafican antes de iniciar la inspección. Los puntos  $(m, d_m)$  se grafican al ir efectuando la inspección. Continuamos tomando observaciones adicionales, en tanto los puntos  $(m, d_m)$  se encuentren entre las líneas  $L_0$  y  $L_1$ . Si  $(m, d_m)$  se encuentra sobre  $L_0$  o abajo de ella, el lote se acepta. Si  $(m, d_m)$  se encuentra sobre  $L_1$  o arriba de ella, el lote se rechaza.

La figura 1, muestra el procedimiento gráfico del ejemplo de la sección anterior.

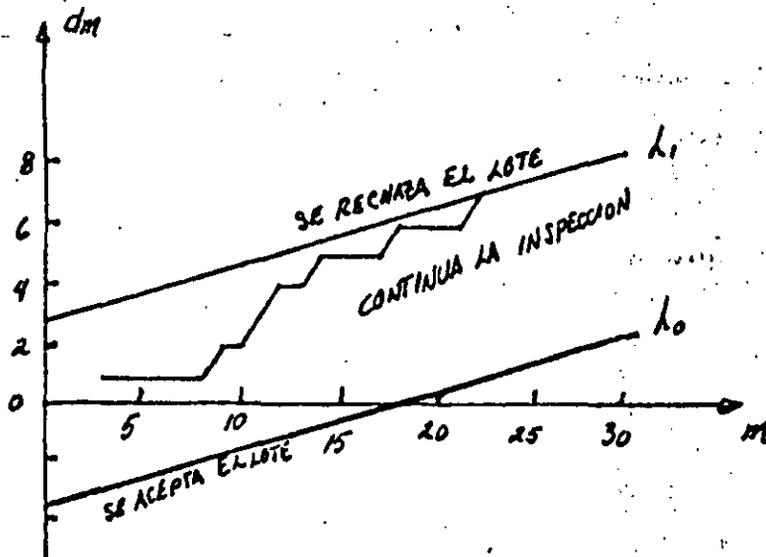


Figura 1.

IV-4-FUNCION CARACTERISTICA DE OPERACION  
 $L(p)$  DE LA PRUEBA.  
 DETERMINACION DE  $L(p)$  PARA ALGUNOS-  
 VALORES ESPECIALES DE  $p$ .

De acuerdo a la definición de función característica de operación, para el caso de una distribución binomial, tenemos:

$L(p) = (1-p)^{n_0}$  ya que  $L(p)$  para cada valor de  $p$ , es igual a la probabilidad de que el lote sea aceptado cuando  $p$ , es la proporción de defectuosos en el lote.

Se puede verificar que:

$$(16) \quad L(0) = 1 \quad \text{y} \quad L(1) = 0$$

Dado que la probabilidad de aceptar el lote cuando  $p=p_0$  es igual a  $1-\alpha$ , y la probabilidad de que el lote sea aceptado cuando  $p=p_1$  es igual a  $\beta$ , tenemos:

$$(17) \quad L(p_0) = 1 - \alpha \quad \text{y} \quad L(p_1) = \beta$$

Cuando:

$$p = s = \frac{\log \frac{1-p_0}{1-p_1}}{\log \frac{p_1}{p_0} - \log \frac{1-p_1}{1-p_0}}$$

tenemos que el valor de  $h$  es cero en la ecuación

$$L(\theta) \sim \frac{A^{h(\theta)} - 1}{A^{h(\theta)} - B^{h(\theta)}}$$

El límite de la ecuación anterior, cuando  $h \rightarrow 0$ , es igual-

a:

$$\frac{\log A}{\log A + |\log B|}$$

la cual, sustituyendo  $A=(1-\beta)/\alpha$  y  $B=\beta/(1-\alpha)$  por  $A$  y  $B$  respectivamente, nos da la ecuación siguiente:

$$L(s) = \frac{\log \frac{1-\beta}{\alpha}}{\log \frac{1-\beta}{\alpha} + \left| \log \frac{\beta}{1-\alpha} \right|} = \frac{h_1}{h_1 + |h_0|}$$

Donde  $h_0$  y  $h_1$  son las intersecciones de las líneas  $L_0$  y  $L_1$ . Así, cinco puntos en la curva  $CO$ , correspondientes a  $p=0,1,p_0, p_1$  y  $s$ , pueden ser determinados. Dado que  $L(p)$  es una función monótona decreciente, estos cinco puntos determinan de manera bastante aproximada la curva  $CO$ .

#### IV-4.1-DETERMINACION DE $L(p)$ SOBRE TODO EL RANGO DE $p$ .

Del capítulo II, ecuaciones (39) y (40), para el caso de una distribución binomial, tenemos:

$$(19) L(p) = \frac{\left[ \frac{1-\beta}{\alpha} \right]^h - 1}{\left[ \frac{1-\beta}{\alpha} \right]^h - \left[ \frac{\beta}{1-\alpha} \right]^h}$$

donde  $h$  se determina mediante la ecuación:

$$(20) p = \frac{1 - \left[ \frac{1-p_1}{1-p_0} \right]^h}{\left[ \frac{p_1}{p_0} \right]^h - \left[ \frac{1-p_1}{1-p_0} \right]^h}$$

Para evaluar la curva  $CO$ , no es necesario resolver la ecuación (20) para  $h$ . Para cualquier valor  $h$ , seleccionado arbitrariamente, los valores de  $p$  y  $L(p)$  pueden determinarse de (19) y (20). El punto  $(p, L(p))$  calculado de esta manera, será un punto sobre la curva  $CO$ . La curva  $CO$ , puede graficarse al tenerse un número

VI-PRUEBA DE QUE LA MEDIA DE UNA DISTRIBUCION NORMAL CON DESVIACION ESTANDAR CONOCIDA, SE ENCUENTRA ABAJO DE UN VALOR DADO.

VI-1-FORMULACION DEL PROBLEMA.

Sea  $X$ , una variable aleatoria normalmente distribuida, con media desconocida  $\theta$ , y desviación estándar conocida  $\sigma$ . En esta sección, discutiremos el problema de probar la siguiente hipótesis:  $\theta$  es menor o igual a algún valor específico  $\theta_0$ .

Tal problema se tiene por ejemplo, en control de calidad y muestreo de aceptación. Supóngase, que un lote consistente de un número grande de unidades de un producto manufacturado se somete a inspección de aceptación. El número de unidades en el lote se supone lo suficientemente grande, de manera que se pueda considerar que el lote contiene un número infinito de unidades. Supóngase además, que el resultado de una observación es una medida  $X$ , de alguna característica de la unidad, tal como el peso, dureza, o resistencia a la tensión. El valor de  $X$ , variará de unidad a unidad. Se supone que  $X$  es normalmente distribuida, con desviación estándar conocida  $\sigma$ , pero media desconocida  $\theta$ . Además, para el producto es más deseable el valor más pequeño de  $\theta$ . Entonces, será posible designar un valor particular  $\theta_0'$  tal, que se prefiera aceptar el lote si  $\theta < \theta_0'$  y se prefiera rechazar el lote si  $\theta > \theta_0'$ . En tal situación estamos enteresados en determinar un plan de muestreo para probar

## VI-2-RIESGOS TOLERADOS DE TOMAR DECISIONES EQUIVOCADAS.

Si  $\theta = \theta'$ , somos indiferentes entre aceptar o rechazar el lote. La preferencia para aceptación se incrementa con la disminución del valor de  $\theta$  en el dominio  $\theta < \theta'$ , y la preferencia para rechazo se incrementa con el incremento del valor de  $\theta$  en el dominio  $\theta > \theta'$ . De esta manera, será posible encontrar dos valores  $\theta_0$  y  $\theta_1$  ( $\theta_0 < \theta'$  y  $\theta_1 > \theta'$ ) tales que el rechazo del lote sea considerado un error de consecuencias prácticas si  $\theta \geq \theta_1$ ; para valores de  $\theta$  entre  $\theta_0$  y  $\theta_1$ , no nos encontramos en condiciones de tomar una decisión final. La zona de preferencia para aceptación consiste de todos los valores  $\theta$  para los cuales  $\theta \leq \theta_0$ , la zona de preferencia para rechazo es el conjunto de valores  $\theta$ , para los cuales  $\theta \geq \theta_1$ , y la zona de indiferencia consiste de todos los valores  $\theta$  que se encuentran entre  $\theta_0$  y  $\theta_1$ . Después de seleccionar los valores  $\theta_0$  y  $\theta_1$ , los riesgos que pueden ser tolerados, se expresan como sigue: La probabilidad de rechazar el lote no debe exceder un valor  $\alpha$  cuando  $\theta \leq \theta_0$ , y la probabilidad de aceptar el lote no debe exceder un valor preasignado  $\beta$  cuando  $\theta \geq \theta_1$ . Así, dichos riesgos quedan caracterizados mediante los números  $\theta_0$ ,  $\theta_1$ ,  $\alpha$  y  $\beta$ .

VI-3-PRUEBA SECUENCIAL DE RAZON DE PROBABILIDAD  
 COPRESPONDIENTE A LAS CANTIDADES  $\theta_0, \theta_1$ ,  
 $\alpha$  y  $\beta$ .

Los requisitos considerados en los riesgos tolerables, son satisfechos por la prueba secuencial de razón de probabilidad de vigor  $(\alpha, \beta)$  para probar la hipótesis  $\theta = \theta_0$  vs. La alternativa  $\theta = \theta_1$ . Esta prueba secuencial es como sigue: sea  $X_1, X_2, \dots$  etc. observaciones sucesivas sobre  $X$ . La densidad de probabilidad de la muestra  $(X_1, \dots, X_m)$  esta dada por:

$$(1) \quad p_{0m} = \frac{1}{(2\pi)^{m/2} \sigma^m} e^{-\frac{1}{2\sigma^2} (x_m - \theta_0)^2}$$

Si  $\theta = \theta_0$ , y por:

$$(2) \quad p_{1m} = \frac{1}{(2\pi)^{m/2} \sigma^m} e^{-\frac{1}{2\sigma^2} (x_m - \theta_1)^2}$$

Si  $\theta = \theta_1$ . La razón de probabilidad se calcula en cada estado de la inspección. Tomamos observaciones adicionales, en tanto:

$$(3) \quad B < \frac{p_{1m}}{p_{0m}} = \frac{e^{-\frac{1}{2\sigma^2} (x_m - \theta_1)^2}}{e^{-\frac{1}{2\sigma^2} (x_m - \theta_0)^2}} < A$$

La inspección termina con la aceptación del lote si:

$$(4) \frac{e^{-\frac{1}{2\sigma^2} (x_{\alpha} - \theta_1)^2}}{e^{-\frac{1}{2\sigma^2} (x_{\alpha} - \theta_0)^2}} \leq B$$

La inspección del lote termina con el rechazo del lote si

$$(5) \frac{e^{-\frac{1}{2\sigma^2} (x_{\alpha} - \theta_1)^2}}{e^{-\frac{1}{2\sigma^2} (x_{\alpha} - \theta_0)^2}} \geq A$$

Los valores aproximados de A y B están dados por  $(1-\beta)/\alpha$  y  $\beta/(1-\alpha)$  respectivamente.

Tomando logaritmos de (3), (4) y (5), y simplificando tenemos:

$$(6) \log \frac{\beta}{1-\alpha} < \frac{\theta_1 - \theta_0}{\sigma^2} \sum_{\alpha=1}^m x_{\alpha} + \frac{m}{2\sigma^2} (\theta_0^2 - \theta_1^2) < \log \frac{1-\beta}{\alpha}$$

$$(7) \frac{\theta_1 - \theta_0}{\sigma^2} \sum_{\alpha=1}^m x_{\alpha} + \frac{m}{2\sigma^2} (\theta_0^2 - \theta_1^2) \leq \log \frac{\beta}{1-\alpha} \quad \text{y:}$$

$$(8) \frac{\theta_1 - \theta_0}{\sigma^2} \sum_{\alpha=1}^m x_{\alpha} + \frac{m}{2\sigma^2} (\theta_0^2 - \theta_1^2) \geq \log \frac{1-\beta}{\alpha}$$

Otras simplificaciones se pueden hacer sumando  $(-m/2\sigma^2)(\theta_0^2 - \theta_1^2)$  a ambos lados de las desigualdades (6), (7) y (8) y la división de éstas por  $(\theta_1 - \theta_0)/\sigma^2$ . Estas operaciones transforman dichas ecuaciones en

$$(9) \frac{\sigma^2}{\theta_1 - \theta_0} \log \frac{\beta}{1-\alpha} + m \frac{\theta_0 + \theta_1}{2} < \sum_{\alpha=1}^m x_{\alpha} <$$

$$\leq \frac{\sqrt{2}}{\theta_1 - \theta_0} \log \frac{1-\beta}{\alpha} + m \frac{\theta_0 + \theta_1}{2}$$

$$(10) \sum_{i=1}^m x_i \leq \frac{\sqrt{2}}{\theta_1 - \theta_0} \log \frac{\beta}{1-\alpha} + m \frac{\theta_0 + \theta_1}{2} \quad \text{y:}$$

$$(11) \sum_{i=1}^m x_i \geq \frac{\sqrt{2}}{\theta_1 - \theta_0} \log \frac{1-\beta}{\alpha} + m \frac{\theta_0 + \theta_1}{2}$$

respectivamente.

Mediante el uso de las desigualdades (9), (10) y (11),---

el proceso se realiza de la siguiente manera. Para cada  $m$ , calculamos el número de aceptación

$$(12) a_m = \frac{\sqrt{2}}{\theta_1 - \theta_0} \log \frac{\beta}{1-\alpha} + m \frac{\theta_0 + \theta_1}{2}$$

y el número de rechazo

$$(13) r_m = \frac{\sqrt{2}}{\theta_1 - \theta_0} \log \frac{1-\beta}{\alpha} + m \frac{\theta_0 + \theta_1}{2}$$

Dichos números se calculan antes de empezar la inspección.

Dicha inspección continúa en tanto a  $\sum_m x_i \leq r_m$ . La primer ocasión--- que  $\sum x_i$  no se encuentre entre  $a_m$  y  $r_m$ , la inspección termina. El lote se acepta si  $\sum x_i \leq a_m$ , y el lote se rechaza si  $\sum x_i = r_m$ .

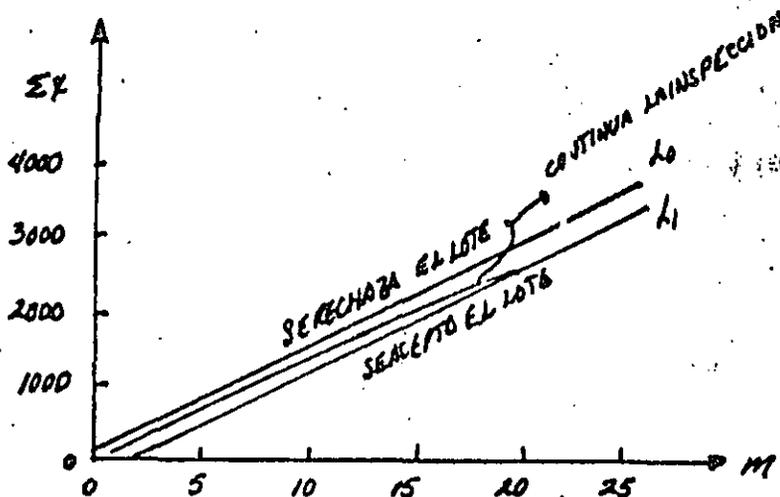
Como ilustración consideremos el siguiente ejemplo. Sea-

$\theta_0=135$ ,  $\theta_1=150$ ,  $\alpha=0.01$  y  $\beta=0.03$ , además  $\sqrt{2}=25$ . Las observaciones y los números de aceptación y de rechazo se encuentran tabulados en-

la siguiente tabla, la cual demuestra que la inspección termina en  $m=20$  con la aceptación del lote.

$m$	$a_m$	$x$	$\Sigma x$	$r_m$
Número de observaciones	Número de aceptación	Valor observado	Suma acumulada de valores observados	Número de rechazo
1	----	151	151	334
2	139	144	295	476
3	281	121	416	619
4	424	137	553	761
5	566	138	691	904
6	709	136	827	1046
7	851	155	982	1189
8	994	160	1142	1331
9	1136	144	1286	1474
10	1279	145	1431	1616
11	1421	130	1561	1759
12	1564	120	1681	1901
13	1706	104	1785	2044
14	1849	140	1925	2186
15	1991	125	2050	2329
16	2134	106	2156	2471
17	2276	145	2301	2614
18	2419	123	2424	2756
19	2561	138	2562	2899
20	2704	108	2670	3041
21	2846	---	-----	3184
22	2989	---	-----	3326
23	3131	---	-----	3469
24	3274	---	-----	3611
25	3416	---	-----	3754

El procedimiento se puede llevar a cabo también en forma gráfica, como se muestra en la siguiente figura.



El número de observaciones  $m$ , se mide sobre el eje horizontal. Los puntos  $(m, a_m)$  se encuentran sobre una línea recta  $L_0$  y los puntos  $(m, r_m)$  sobre una línea paralela  $L_1$ . Dibujamos las líneas  $L_0$  y  $L_1$ , antes de iniciar la inspección. Los puntos  $(m, \sum_{k=1}^m x_k)$  se grafican conforme se va realizando la inspección. Dicha inspección--- continúa en tanto los puntos  $(m, \sum_{k=1}^m x_k)$  se encuentren entre las líneas  $L_0$  y  $L_1$ . La inspección termina la primer vez que el punto  $(m, \sum_{k=1}^m x_k)$  no se encuentre entre  $L_0$  y  $L_1$ . Si se encuentra sobre  $L_0$  o por--- abajo de ella, el lote se acepta, y si se encuentra sobre  $L_1$ , o--- por encima de ella, el lote se rechaza.

La pendiente común de las líneas  $L_0$  y  $L_1$  está dada por---

$$(14) \quad s = \frac{\theta_0 + \theta_1}{2}$$

La intersección de  $L_0$  es igual a

$$(15) \quad h_0 = \frac{V^2}{\theta_1 - \theta_0} \log \frac{\beta}{1 - \alpha}$$

y la intersección de  $L_1$  está dada por

$$(16) \quad h_1 = \frac{\sqrt{2}}{\theta_1 - \theta_0} \log \frac{1-\beta}{\alpha}$$

VI-4-CURVA CARACTERISTICA DE OPERACION DE LA PRUEBA.

Sea  $L(\theta)$ , la probabilidad que la prueba secuencial nos conduzca a la aceptación del lote cuando  $\theta$  es el verdadero valor de la media. La función  $L(\theta)$  es llamada función característica de operación de la prueba. En la sección II-4 se derivaron ciertas fórmulas para el cálculo de la función CO, y los resultados generales se aplican a la prueba de la media de una población normal.

Se demostró que:

$$(17) \quad L(\theta) = \frac{\left[\frac{1-\beta}{\alpha}\right]^h - 1}{\left[\frac{1-\beta}{\alpha}\right]^h - \left[\frac{\beta}{1-\alpha}\right]^h} \quad \text{donde}$$

$$(18) \quad h = \frac{\theta_1 + \theta_0 - 2\theta}{\theta_1 - \theta_0}$$

Se observa de (17) y (18) que  $L(\theta)$  es una función creciente de  $h$ , y  $h$  es una función decreciente de  $\theta$ .

Para  $\theta = -\infty$ ,  $\theta_0$ ,  $(\theta_0 + \theta_1)/2$ ,  $\theta_1$ ,  $+\infty$ , los valores de  $L(\theta)$  se obtienen de (17).

$$(19) \quad \begin{array}{ll} L(-\infty) = 1 & L(\theta_0) = 1 - \alpha \\ L(\theta_1) = \beta & L(+\infty) = 0 \end{array}$$

## BIBLIOGRAFIA.

- 1- INTRODUCTION TO MATHEMATICAL STATISTICS.  
ROBERT V. HOGG AND ALLEN T. CRAIG.
  
- 2- INTRODUCTION TO MATHEMATICAL STATISTICS.  
PAUL G. HOEL.
  
- 3- INTRODUCCION A LA TEORIA DE LA ESTADISTICA.  
ALEXANDER M. MOOD Y FRANKLIN A. GRAYBILL.
  
- 4- SEQUENTIAL ANALYSIS.  
ABRAHAM WALD.
  
- 5- ESTADISTICA MATEMATICA.  
ERWIN KREYSZIG.

LA TEORIA "X" TIENE COMO PREMISAS: 31

1. El ser humano medio siente una aversión inherente por el trabajo y lo evita si puede.
2. Por esta característica humana de aversión al trabajo, la mayoría de las personas han de ser obligadas, controladas, dirigidas y amenazadas con castigos para que desarrollen el esfuerzo conveniente a la consecución de los objetivos de la organización.
3. El ser humano medio prefiere ser dirigido, desca esquivar la responsabilidad, tiene relativamente poca ambición, quiere seguridad por encima de todo.

LA TEORIA "Y" TIENE POR PREMISAS:

1. El desarrollar esfuerzo físico y mental en el trabajo es tan natural como jugar o descansar.
2. El control externo y la amenaza de castigo no son los únicos medios para obtener esfuerzo hacia los objetivos de la organización. El hombre ejerce autodirección y autocontrol en el servicio de los objetivos en los que se comprometa.
3. Comprometerse en objetivos en función de las recompensas asociadas a su consecución.
4. El ser humano medio aprende, en buenas condiciones, no sólo a aceptar sino a buscar responsabilidad.
5. La capacidad de ejercer un grado relativamente elevado de imaginación, ingenio y creatividad en la solución de problemas de las organizaciones está ampliamente, y no estrechamente, distribuida entre los humanos.
6. En las condiciones de la moderna vida industrial, el potencial intelectual del ser humano medio se usa sólo parcialmente.

NECESIDADES HUMANAS

1. Necesidades fisiológicas.- de alimento, vestidos, refugio, aire y agua
2. Necesidades de seguridad.- de vivir, trabajar y esparcirse en un ambiente relativamente seguro, libres de inminente peligro de muerte o de daños graves,.
3. Necesidades sociales.- de asociarse con otros seres humanos para estímulo, apoyo mutuo y emulación intelectual
4. Necesidad del ego.- de respetarse a sí mismos y saber que los demás también le respetan.
5. Necesidad del auto desarrollo.- de auto mejoría, aumento de la capacidad física o mental, desarrollo de capacidades nuevas o mayores y adquisición de nuevos conocimientos

La teoría "1" de la organización sostiene que, eventualmente, los efectos de los cambios organizacionales y la más efectiva forma de organización para una situación dada pueden ser predeterminados. Es un enfoque que ve los problemas de organización como mera cuestión de organizar un sistema.

Un sistema cibernético es un tipo de proceso recirculatorio y que es capaz de cierto grado de acción correctiva, ya sea como resultado de cambios internos dentro del sistema o respondiendo a cambios ambientales externos. Un sistema se compone usualmente de uno o varios subsistemas y las capacidades del sistema total dependen de las capacidades de cada subsistema; a su vez, todo cambio en la función o capacidad del sistema total requiere cambios correspondientes en los subsistemas. La introducción de factores en el sistema total puede originarse desde fuera del sistema o desde los subsistemas componentes y lo mismo puede decirse de los factores producidos por el sistema- éstos pueden ser colocados fuera del sistema o llevados a afectar cualquiera de los subsistemas.

La teoría "2" o el enfoque contingente de las organizaciones traduce el concepto de sistemas, a un lenguaje sencillo, reconociendo que la estructura y el funcionamiento de una organización son contingentes a muchos factores situacionales, tanto internos como externos a ella. No es un mero enfoque simplista de la organización que afirma que hay una forma de organización exitosa bajo cualquier situación o circunstancia, ni es tampoco la consideración abstracta presentada en la teoría general de sistemas. Es un enfoque intermedio adaptable a las organizaciones.

Uno de los principales problemas en el desarrollo de un enfoque contingente de la teoría de la organización es la determinación de los parámetros de la organización; ¿cuáles son los factores del diseño organizativo, la estructura y la función a ser considerados en tal enfoque? Los autores March y Simon, en su libro "Organizations", consideran 206 variables como parámetros de organización<sup>1</sup>.

1. James G. March and Herbert A. Simon, "Organizations" (New York: John Wiley & Sons, Inc. 1958), p. 214. Otro ejemplo de un enfoque de sistemas al estudio de la organización es el de Peter A. Baskerville, esta contenida en el Artículo 10, p. 249-250, de "The Journal of Applied Behavior Analysis" (1968) que trata sobre el diseño de un sistema de enseñanza.

Muchas de las variables que ellos presentan son nuevas y no han sido aún probadas por la investigación; además, es casi imposible abarcar las 206 variables y todas las posibles interrelaciones que puedan surgir.

El trabajo de los mencionados autores acentúa la creencia de que la efectividad organizacional depende del reconocimiento de la adaptación a muchos factores situacionales variables e interdependientes, y de lo que es considerado organización efectiva para una situación puede ser lamentablemente inadecuado para otra.

A su vez, en el otro extremo del espectro, las Teorías X e Y utilizan sólo dos factores - el trabajo y la naturaleza de las personas- como parámetros de la organización. Una base intermedia sugiere las siguientes seis variables situacionales interactuantes como factores que determinan la apropiación de cualquier estructura o proceso organizacional dado: (1) tamaño de la organización, (2) grado de interacción, (3) personalidad de los miembros, (4) congruencia de los objetivos, (5) nivel de la toma de decisiones, y (6) estado del sistema:

**Tamaño de la organización.** A medida que el tamaño (definido como número de personas) aumenta la estructura de la organización se hace más formal y compleja, con el resultado de <sup>que</sup> los procesos apropiados de motivación de los empleados hacia el logro de las metas organizacionales se hacen más formales y dirigidos- más bien que informales y participativos- por naturaleza.

**Grado de interacción.** Al par que la necesidad de interacción entre los miembros de una organización aumenta a fin de cumplir la tarea prescrita, su estructura debiera permitir una libre afluencia de información e intercambio de ideas y los procesos de motivación que la acompañan debieran tornarse más participativos e informales por naturaleza.

**Personalidad de los miembros de la organización.** Una estructura organizacional y los respectivos procesos se conforman a la personalidad y expectativas de los miembros de la organización. Los miembros que no participan y que dependen de otros en cuanto a motivación, reac-

cionan mejor a patrones de estructura y motivación formales, mientras que aquellos que esperan participación y son ampliamente automotivados reaccionan mejor a procesos participativos y a una estructura organizacional informal.

**Congruencia de Metas.** Cuando las metas de la organización y las de sus miembros son congruentes, los procesos participativos y una estructura menos formal resultan ser apropiados; pero cuando aquéllas son divergentes, debe darse mayor apoyo y énfasis a los controles externos y a la estructura formal, para lograr una fiscalización adecuada.

**Nivel de Toma de Decisiones.** El nivel jerárquico de la toma de decisiones es primordialmente una función de la tecnología de la organización. Cuando la tecnología lo permite y las funciones decisionales son retenidas dentro del grupo de trabajo primario de una organización, los procesos participativos y la estructura informal resultan efectivos; en tanto que a medida que las prerrogativas decisionales se mueven hacia arriba en la línea jerárquica y se alejan del grupo de trabajo afectado por dichas decisiones, la estructura formal y los procesos directivos van haciéndose más apropiados.

**Estado del Sistema.** Cuando la ejecutoria de una organización es relativamente pobre respecto del logro de objetivos organizacionales (creando por lo tanto, una situación de desbalance del sistema), se hace necesaria la utilización de procesos directivos de motivación y de estructuras formales a los efectos de iniciar acción correctiva; sin embargo paralelamente a la realización de la metas establecidas, los procesos participativos y los patrones informales de organización se hacen más efectivos y son decidos por los miembros de la organización.

Los parámetros determinados, conforman el marco del enfoque continuamente al estudio de las organizaciones. Estas discusiones no son generalizaciones amplias sobre la naturaleza del trabajo y las características de los seres humanos, ni tampoco describen "el mejor camino". Así, los parámetros del enfoque continúan a ser discutidos y refinados.

En cada situación organizativa que se presenta, de manera que pueda diseñarse la estructura organizacional más apropiada y los procesos de trabajo satisfagan las necesidades de esa particular situación. Todo ello sin dejar de tener presente que los parámetros del enfoque continuamente funcionan como partes de un sistema, y un cambio en el valor de un factor modifica la significación y el funcionamiento de las demás variables.

Los pasos en la aplicación de la teoría "z" pueden ser:

1. Entender el tipo z de organización y su papel
2. Auscultar la filosofía de la empresa
3. Definir la filosofía deseada de la empresa
4. Implantar la filosofía creando tanto estructuras como incentivos
5. Desarrollar habilidades interpersonales
6. Probarse a sí mismo y al sistema
7. Involucrar a los sindicatos, uniones, etc.
8. Propiciar estabilidad en el empleo
9. Decidir sobre un sistema para evaluaciones y promociones
10. Ampliar y propiciar trayectorias de desarrollo personal y grupal
11. Preparar para la implantación a los niveles inferiores
12. Buscar las áreas para instrumentar la participación
13. Permitir el desarrollo de relaciones globales.

LOS CÍRCULOS DE CONTROL DE CALIDAD Q-C.

Una de las más interesantes lecciones del arte de la administración japonesa y una de las que es más cercana al espíritu de la teoría "Z", son los Círculos de Control de Calidad. La efectividad de estos círculos ha estimulado su aplicación y desarrollo en otros países.

La explicación de la popularidad de los Círculos radica en su función única. Lo que hacen es participar con la administración para localizar y resolver problemas de coordinación y productividad. Los Círculos, en otras palabras, identifican lo que está mal en la organización y dan la respuesta al problema. Por esta razón, los Círculos Q-C que fueron desarrollados en Japón son un método útil para alcanzar alta calidad, mejorar productividad y aumentar moralidad en los trabajadores a un costo relativamente bajo.

En Japón, los resultados son espectaculares. A diciembre de 1979, existían más de 100 000 Círculos Q-C, sin considerar los no registrados que se estiman en un millón. Los Círculos en Japón producen cada año de 50 a 60 sugerencias por trabajador que son instrumentadas. Estos mejoramientos, sin embargo, no son gratuitos; se ha reportado que el trabajador japonés, durante sus primeros 10 años de trabajo, recibe aproximadamente 500 días de entrenamiento, incluyendo instrucción en aulas, y entrenamiento práctico sobre su trabajo. ¿Cómo los Círculos trabajan tan bien? Los Círculos típicamente consisten de 2 a 10 trabajadores que generalmente son asignados a ese círculo. Todos los empleados son estimulados a participar. Cada Círculo de emplea

nos forma un grupo de trabajo natural que esté relacionado con los restantes de algún modo. Los trabajos de cada Círculo son coordinados por un líder para estudiar cualquier problema de producción o servicio que esté en el ámbito de su trabajo. En la mayoría de los casos, un Círculo desarrolla un proyecto que propone una respuesta a los problemas del sistema dentro de un período que va de 3 a 6 meses. Cada noviembre, se presentan los esfuerzos de cada círculo y se otorgan los reconocimientos correspondientes. Ordinariamente, cada Círculo se reúne de una hora a 2 cada semana. Un proyecto típico puede involucrar un problema que ha sido identificado por uno o más miembros del Círculo. Ellos sugieren la relevancia del problema y discuten con otros miembros del Círculo, incluido el coordinador. El grupo puede entonces estudiar de manera sistemática el problema recolectando estadísticas sobre su tipo y naturaleza. Al final del período de estudio de 6 semanas, los miembros se reúnen nuevamente para analizar los datos y determinar la fuente del problema. Una vez que el problema ha sido identificado se sugieren los pasos que deberían ser tomados para corregirlo. Si estos pasos pueden ser desarrollados totalmente por los miembros del Círculo, ellos instrumentan sus sugerencias. Si el problema es más general, entonces los miembros recurren a la formación de un Círculo más amplio que vea sobre la respuesta del problema, o bien, recomiendan a los niveles superiores de la administración la solución que debería de ser dada. Finalmente, la solución es identificada e implantada. Los resultados del estudio son publicados, se conoce el éxito de la implantación. Los líderes reportan a los trabajadores el impacto de las sugerencias implementadas de manera que cada uno considerará la relación entre el éxito de -

su trabajo y los beneficios de la empresa así como el incremento de sus bonificaciones.

Los Círculos Q-C comenzaron después de la Segunda Guerra Mundial, cuando se reconoció la necesidad de que las técnicas estadísticas clásicas del control de calidad fuesen dominadas por los responsables de la producción y en base a los resultados de estos análisis, estos mismos trabajadores propusiesen las respuestas a los problemas identificados de calidad y productividad.

Mientras que no existe nada mágico en las técnicas estadísticas por sí mismas, lo que es diferente es la determinación para invertir en las enseñanzas de estas técnicas para los trabajadores a nivel de producción y entonces para delegar a estos trabajadores el poder y la autoridad de influir en los cambios en la organización del trabajo de manera que se mejore la calidad y productividad.

La estadística no es el único elemento crucial en el éxito de los Círculos. La combinación de las técnicas de medición más la atención al aspecto humano de la organización ha producido los resultados conocidos de los Círculos Q-C. El éxito de los Círculos Q-C no solamente depende de la técnica sino de su exacto entendimiento en los aspectos humanos para mejorar su productividad. Los propósitos fundamentales de los Círculos Q-C son:

- Contribuir al mejoramiento y desarrollo de la empresa.

- ° Atender a los aspectos humanos y propiciar ambientes de trabajo a gradables que resulten significativos para el trabajador.
- ° Estimular y explayar las capacidades humanas totalmente en sus múltiples posibilidades.

Hay una distancia amplia entre la atención a las técnicas estadísticas por un lado y la gran visión involucrada en los propósitos generales por el otro. En la implantación exitosa de los Círculos Q-C es esencial que ambos aspectos sean totalmente instrumentados. Los Círculos Q-C también han extendido el ámbito de su uso a los departamentos de Ventas, Inventarios, etc. Existen Círculos Q-C que involucran tanto a compañías afines como a sus afiliados. Muchos de estos Círculos han mejorado sustancialmente sus operaciones así como su comunicación. En algunos casos, la cooperación se ha extendido entre los competidores; por otro lado, la enseñanza de los Círculos Q-C se ha estimulado a las escuelas secundarias del Japón.

Tal vez la mayor contribución de los Círculos Q-C en Japón se refiere al tratamiento del trabajador. No importa que tanto las empresas estén mecanizadas, lo importante es que el individuo sea tratado en sus manifestaciones humanas. La gente utiliza mucho tiempo de su vida en el lugar de su trabajo. Debe ser mucho más deseable trabajar en un ambiente agradable, donde el aspecto humanístico es considerado y donde las personas sientan que su trabajo es realmente significativo.

Esto es lo que los Círculos de Calidad buscan alcanzar.

La administración debe crear las condiciones posibles y entonces ser paciente para permitir que el esfuerzo y la moralidad se desarrollen naturalmente. Las actividades del Círculo deberían ser definidas para que la moralidad -- gradualmente sea elevada como una consecuencia natural de tomar participación en las actividades. Mientras es un objetivo crear relaciones armoniosas, la palabra crear no debería ser interpretada como hacer una cosa por la fuerza. Lo que constituye el aspecto humano es la habilidad para pensar. Un trabajador debería estar ubicado donde la gente pueda pensar y usar su sabiduría. Debe ser un objetivo de las actividades de los Círculos Q-C el desarrollar esto.

Los objetivos de los Círculos Q-C son permitir que cada trabajador sea un planificador y un ingeniero, así como también un trabajador.

Una empresa puede realizar la potencialidad de sus empleados únicamente si invierte tanto en su entrenamiento como en su participación en la toma de decisiones. Sin entrenamiento, la invitación a participar en decisiones conducirá únicamente a frustración y conflicto. Sin una participación en la toma de decisiones, un gasto en entrenamiento será tanto frustrante como inútil.

La implantación exitosa de los Círculos Q-C radicará en el entendimiento total y en el establecimiento de las condiciones necesarias para el desarrollo de los progra

¿QUE ES UN CIRCULO DE CALIDAD?

Un grupo de 2 a 10 personas

- Trabajando en un mismo departamento
- Reuniéndose con regularidad
- Seleccionando y resolviendo problemas de calidad

¿QUIEN PUEDE PARTICIPAR?

- Cualquier persona interesada en mejorar la calidad del trabajo

APRENDE Y USA

LLUVIAS DE IDEAS

PRESENTACIONES

GRAFICAS

HOJAS DE CONTROL

DIAGRAMAS DE PARETO

HISTOGRAMAS

DIAGRAMAS

¿ PARA QUE SIRVE ?

- Aprender cosas nuevas
- Resolver problemas del grupo de trabajo
- Obtener satisfacción en el trabajo
- Es divertido
- Reconocido

¿COMO TRABAJA UN CIRCULO DE CALIDAD ?

- Reuniones semanales
- Usa métodos para resolver problemas
- Resuelve problemas relacionados con el trabajo

## C I R C U L O S D E C A L I D A D

- \* GRUPOS VOLUNTARIOS DE TRABAJO FORMADOS ENTRE 3 Y 12 EMPLEADOS.
- \* GUIADOS POR UN SUPERVISOR.
- \* SE REUNEN REGULARMENTE ( UNA O DOS HORAS POR SEMANA )
- \* IDENTIFICAN, ANALIZAN Y RESUELVEN PROBLEMAS RELACIONADOS CON SU AREA DE TRABAJO.
- \* RECOMIENDAN SOLUCIONES A LOS NIVELES DIRECTIVOS.
- \* IMPLEMENTAN DICHAS SOLUCIONES.
- \* VIGILAN Y DAN SEGUIMIENTO A LAS CONSECUENCIAS.

FILOSOFIA BASICA DE LOS  
CIRCULOS DE CALIDAD

\* LA GENTE SE SIENTE MAS ORGULLOSA DE SU TRABAJO CUANDO  
SE LE PERMITE PARTICIPAR EN LA TOMA DE DECISIONES

\* LAS PERSONAS MAS CERCANAS A LOS PROBLEMAS SON LAS QUE  
ESTAN MEJOR CAPACITADAS PARA RESOLVERLOS

COORDINACION (JUGADORES) DE  
LOS CIRCULOS DE CALIDAD

- \* COORDINADOR
- \* COMITE DIRECTIVO
- \* MODERADOR
- \* LIDER DEL CIRCULO
- \* MIEMBROS DEL CIRCULO

- 
- \* NO MIEMBROS DEL CIRCULO
  - \* ESPECIALISTA

OBJETIVOS DE LOS CIRCULOS  
DE CALIDAD

- PROPORCIONAR CRECIMIENTO PERSONAL Y PROFESIONAL
- MEJORAR LA COMUNICACION
- REFORZAR HABILIDADES PARA RESOLVER PROBLEMAS Y TOMAR DECISIONES
- MEJORAR LA CALIDAD DE PRODUCTOS Y SERVICIOS
- INCREMENTAR LA PRODUCTIVIDAD

## LOS CIRCULOS DE CALIDAD ...

## PUEDEN DISCUTIR:

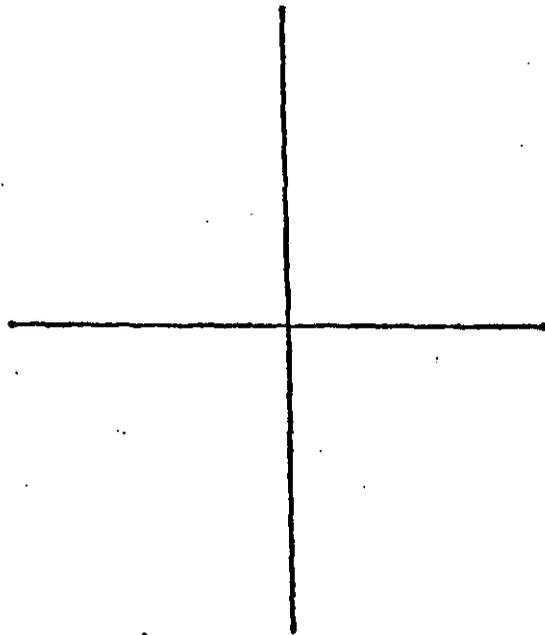
- \* CUALQUIER ASUNTO QUE AFECTE SU AREA DE TRABAJO

## NO DEBEN DISCUTIR:

- \* ASUNTOS FUERA DE SU RESPONSABILIDAD
- \* ASUNTOS DE OTROS DEPARTAMENTOS
- \* ASUNTOS DE OTROS EMPLEADOS
- \* POLITICAS CORPORATIVAS
- \* ASPECTOS SALARIALES

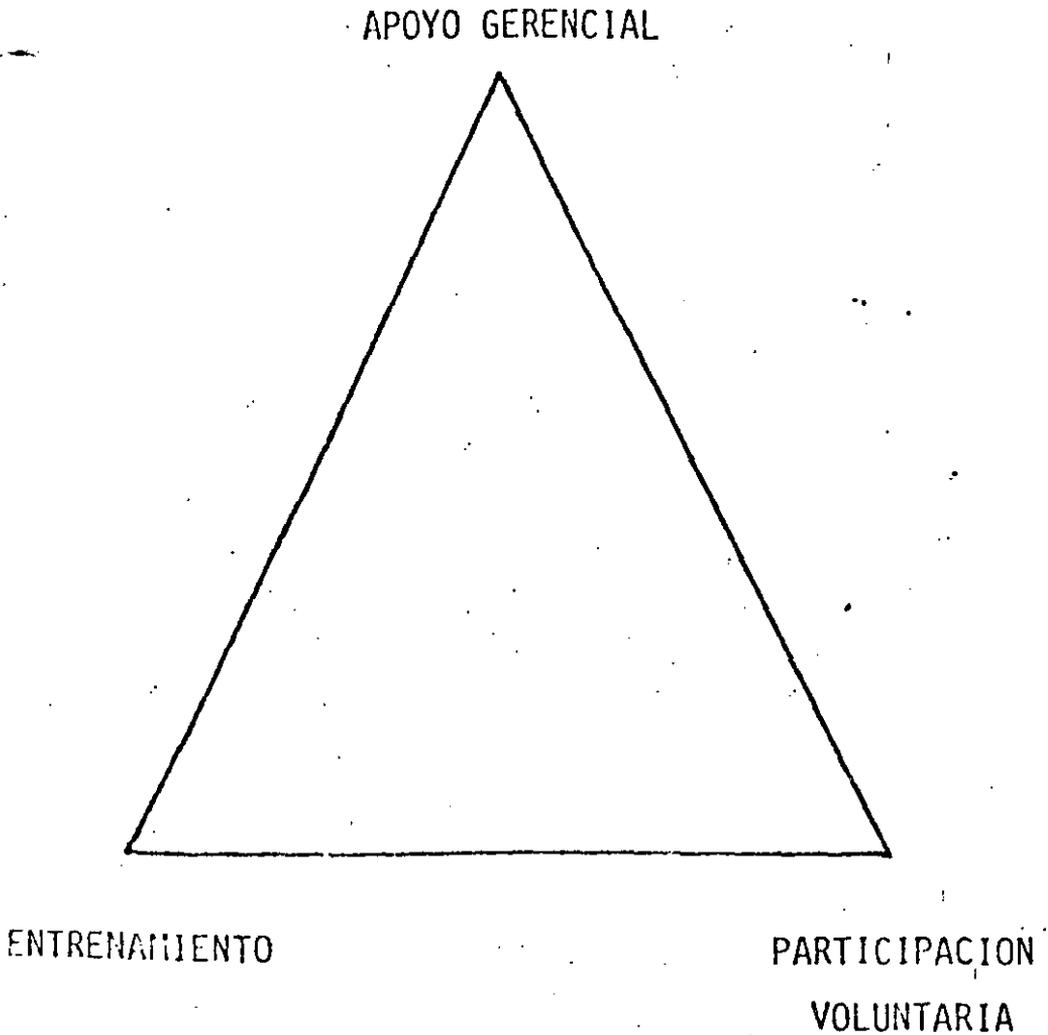
DIMENSION DUAL EN LA ACTIVIDAD  
DE LOS CIRCULOS DE CALIDAD

CONTENIDO ( QUE ES LA TAREA )



PROCESO ( COMO LLEVARLA A CABO )

ELEMENTOS CLAVE PARA EL EXITO  
DE LOS CIRCULOS DE CALIDAD



C A R A C T E R I S T I C A S D E G R U P O S  
E F E C T I V O S

- LOS INTEGRANTES ESCUCHAN EN FORMA ACTIVA
- EXISTE PARTICIPACION DE TODOS LOS INTEGRANTES
- COMUNMENTE EXISTE DESACUERDO
- SE EXPRESAN SENTIMIENTOS
- EL AMBIENTE ES RELAJADO
- LOS OBJETIVOS Y METAS SON CLAROS
- TODOS LOS MIEMBROS ESTAN MOTIVADOS

EL CUMPLIMIENTO DE LA TAREA  
REQUIERE:

- INICIATIVA
- BUSQUEDA DE INFORMACION
- COMPARTIR LA INFORMACION
- EXTERNAR OPINIONES
- ACLARAR, DEPURAR Y ELABORAR INFORMACION
- SINTETIZAR Y SUMARIZAR LA INFORMACION

PARA CONSERVAR EL GRUPO SE REQUIERE:

- \* MOTIVAR A LOS INTEGRANTES
- \* IMPULSAR Y ALENTAR LA LABOR DE LOS INTEGRANTES
- \* MANTENER ARMONIA EN LAS REUNIONES
- \* PROCURAR LA PARTICIPACION DE TODOS LOS MIEMBROS
- \* BUSCAR SIEMPRE EL CONSENSO

DE LOS MIEMBROS DEL EQUIPO SE

REQUIERE :

- \* SINCERIDAD
- \* ATENDER SIEMPRE A LAS REUNIONES
- \* PARTICIPAR ACTIVAMENTE
- \* ACEPTAR VOLUNTARIAMENTE LAS ASIGNACIONES
- \* TOMAR MINUTAS EN LAS REUNIONES
- \* COMUNICARSE CON LOS NO MIEMBROS DE SU DEPARTAMENTO
- \* PARTICIPAR EN LAS PRESENTACIONES A LA GERENCIA
- \* AYUDARSE MUTUAMENTE
- \* ENFOCAR SU TRABAJO HACIA EL ALCANCE DE LAS METAS
- \* COMPARTIR SUS SENTIMIENTOS ABIERTA Y HONESTAMENTE

## FORMAS EN QUE LOS GRUPOS TOMAN

## DECISIONES:

- POR FALTA DE RESPUESTA
- POR AUTORIDAD
- POR MAYORIA
- POR MINORIA
- POR CONSENSO
- POR CONSENSO UNANIME

## S I N E R G I A

- ES EL BENEFICIO ADICIONAL LOGRADO POR LA INTERACCION
- LOS RESULTADOS DERIVAVOS DE UN TRABAJO EN EQUIPO SON MAYORES QUE LA SUMA DE LOS RESULTADOS INDIVIDUALES
- SE LOGRA MEDIANTE LA TOMA DE DECISIONES POR CONSENSO, LA COLABORACION DE TODOS LOS INTEGRANTES Y LA COMPE\_\_\_\_  
TENCIA SANA ENTRE LOS MISMOS

# METODOLOGIA DE SOLUCION DE PROBLEMAS

## F A S E S

## P A S O S

I. BUSQUEDA DEL PROBLEMA

1. IDENTIFICACION

2. SELECCION

II. ANALISIS DEL PROBLEMA

3. ESPECIFICACION DEL PROB.

4. IDENTIFICACION DE CAUSAS

5. VERIFICACION DE CAUSAS

III. TOMA DE DECISIONES

6. DECISION DE OBJETIVOS

7. GENERACION DE SOLUCIONES

8. EVALUACION DE SOLUCIONES

9. DECISION

IV. IMPLEMENTACION

10. DESARROLLO DE UN PLAN

11. ANTICIPACION DE PROBLEMAS

12. PRESENTACION A GERENCIA

13. RETROALIMENTACION

14. VISION FUTURISTA

PROCESOS DE SOLUCION DE PROBLEMAS CREATIVAMENTE

10

PRESENTACION A LA  
ADMINISTRACION

DETERMINAR  
PROBLEMAS

1

9

INSTRUMENTACION  
DEL PLAN

DETERMINAR  
HECTOS

2

ANALISIS DEL CAMPO DE FUERZAS

ESPECIFICAR PROBLEMAS

3

7

ENCONTRAR LA  
SOLUCION/IDEA

IDENTIFICACION  
DE CAUSAS

4

6

ANALISIS DE  
PARETO

RECOLECCION  
DE DATOS

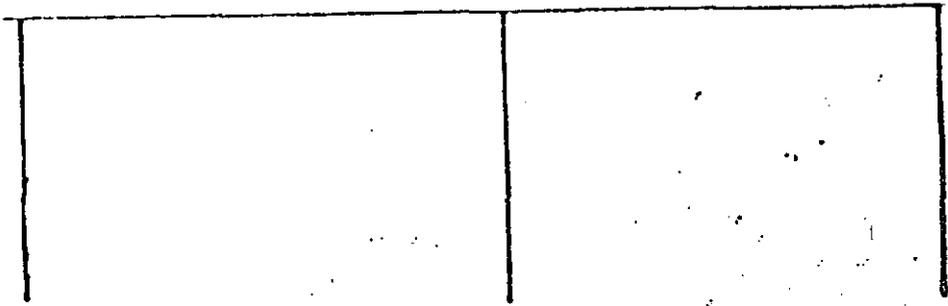
5

26

50



## ETAPAS DE LA METODOLOGIA



PRESENTE

PASADO

FUTURO

\* CAUSA DESCONOCIDA

\* CAUSA CONOCIDA

\* SOLUCION  
CONOCIDA

\* ENCONTRAR CAUSA

\* DECIDIR  
SOLUCION\* ASEGURAR  
EXITO

## MANUAL DE LAS REUNIONES

## ANTES :

- \* DETERMINAR LOS OBJETIVOS
- \* PREPARAR LA AGENDA

## DURANTE :

- \* INICIAR A TIEMPO
- \* SEGUIR LA AGENDA
- \* ESCRIBIR MINUTAS
- \* TERMINAR A TIEMPO

## DESPUES :

- \* EVALUAR LA REUNION
- \* DISTRIBUIR LAS MINUTAS
- \* HACER SEGUIMIENTO Y  
TOMAR ACCION

## LLUVIA DE IDEAS

## CARACTERISTICAS:

- \* PROPICIA LA GENERACION DE IDEAS
- \* IMPULSA LA CREATIVIDAD
- \* ESTIMULA LA PARTICIPACION
- \* CREA UN AMBIENTA DE ENTUSIASMO
- \* CONTRIBUYE A LA MORAL DEL GRUPO

## LLUVIA DE IDEAS

## USOS:

- ENCONTRAR PROBLEMAS POTENCIALES
- IDENTIFICAR SUS CAUSAS
- GENERAR ALTERNATIVAS DE SOLUCION
- PREVENIR Y ANTICIPARSE A FUTURAS CAUSAS

## LLUVIA DE IDEAS

## REGLAS:

- \* NO ENJUICIAR O EVALUAR LAS IDEAS
- \* DEJAR VOLAR LA IMAGINACION
- \* ENTRE MAS IDEAS SE GENEREN ES MEJOR
- \* CONTRIBUIR BASANDESE EN IDEAS DE OTROS

## SELECCION DEL PROBLEMA

PROPOSITO	REGLAS	PROCEDIMIENTO	EJEMPLOS
<p>Jerarquizar los problemas</p> <p>Eligir una área problema que concierna a la mayoría de los miembros</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Todos participan</li> <li>- Sin críticas</li> <li>- Sin comentarios</li> <li>- La gente puede pasar</li> <li>- La discusión se desarrolla</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El grupo jerarquiza problemas individualmente asignando una calificación a cada uno de acuerdo a cuanto desea trabajar sobre ese problema</li> <li>- El lider da a los miembros algunos minutos para que asignen su calificación a los problemas y después se registran sus resultados</li> <li>- Las calificaciones son sumadas y el grupo decide si se requiere un segundo ejercicio de jerarquización, o si el problema ha sido de terminado</li> <li>- Si se requiere un segundo ejercicio, se eliminan los que estan con calificación inferior y se da tiempo para la discusión de las áreas restantes</li> <li>- Se selecciona el área de problema que recibe la mayor calificación, con el proceso antes descrito</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Carencia de espacio de almacenamiento</li> <li>- Areas de limpieza</li> <li>- Continuos cambios de línea</li> <li>- Procedimientos</li> <li>- Carencia de área de refrigerio</li> <li>- Trabajo de papeleo redundante</li> <li>- Uso impropio del espacio</li> </ul>

33

63

## SELECCION DEL PROBLEMA

- \* LLUVIA DE IDEAS PARA IDENTIFICAR PROBLEMAS
- \* CLARIFICACION Y ELABORACION DE UNA LISTA
- \* VOTACION PARA REDUCIR LAS ALTERNATIVAS A UN NUMERO RAZONABLE
- \* DISCUSION DE PROS Y CONTRAS DE CADA ALTERNATIVA
- \* ASIGNACION DE PRIORIDADES
- \* ¿ ES EL PROBLEMA ADECUADO Y TIENE SOLUCION ?
- \* SELECCION DE UN PROBLEMA

# E S P E C I F I C A C I O N D E L P R O B L E M A

P R E G U N T A	E S	N O E S	D I F E R E N C I A S
¿ Q U E ? OBJETO ----- DEFECTO			
¿ D O N D E ?			
¿ C U A N D O ?			
¿ C U A N T O ?			
¿ T E N D E N C I A ?			

135

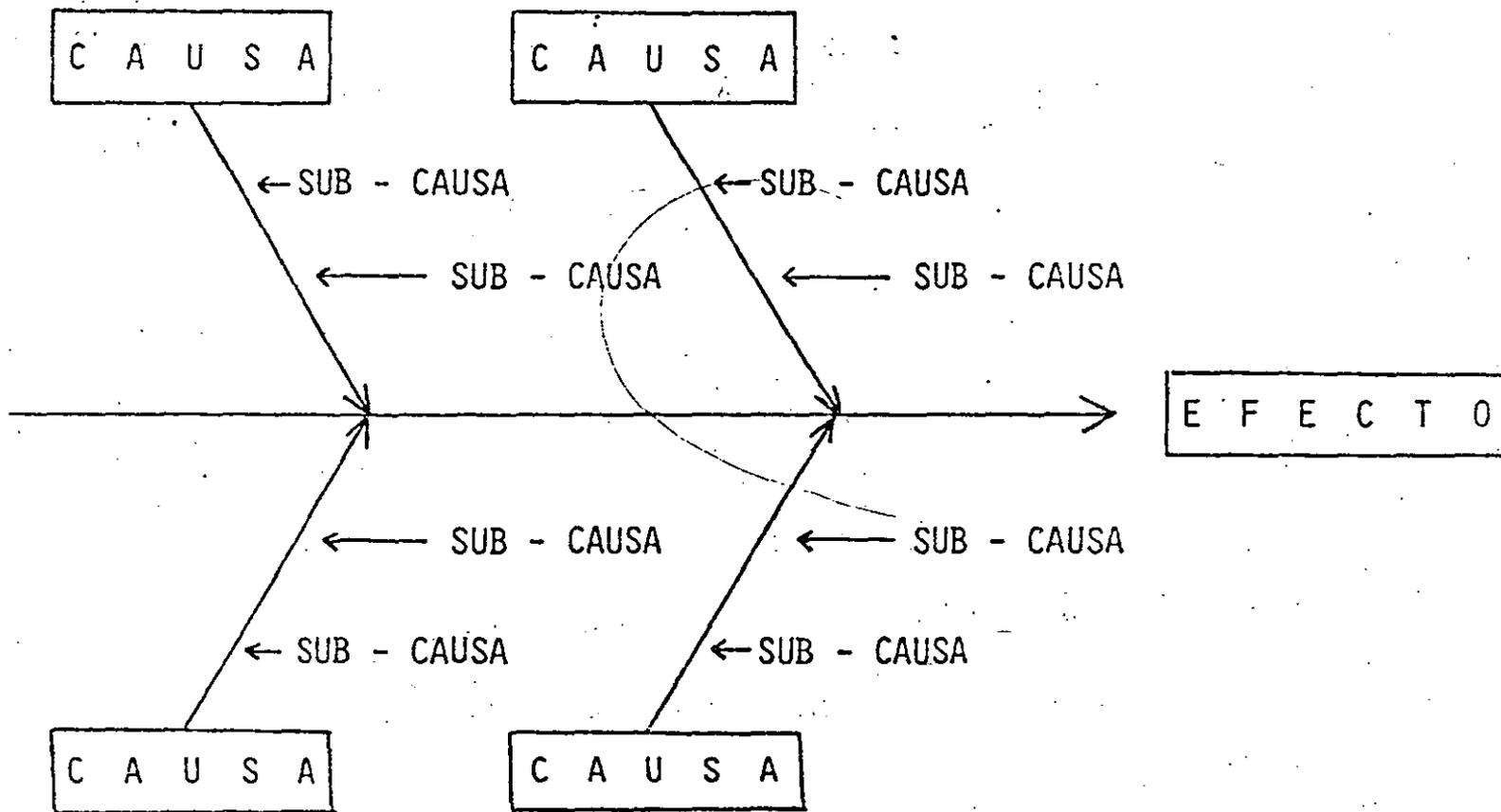
65

## ANALISIS CAUSA / EFECTO

## PASOS :

- \* ESPECIFICAR BIEN EL PROBLEMA
- \* DETERMINAR DIFERENTES CATEGORIAS DE CAUSAS
- \* LLUVIA DE IDEAS PARA POSIBLES CAUSAS
- \* SELECCIONAR Y COMPROBAR LAS CAUSAS MAS PROBABLES
- \* IDENTIFICAR LAS CAUSAS A CONSIDERAR
- \* VERIFICARLAS

A N A L I S I S C A U S A / E F E C T O



## DIAGRAMAS CAUSA - EFECTO

### PROPOSITO

- Representar graficamente causas probables en categorías específicas
- Ayudar al grupo a visualizar el problema
- Practicar el pensamiento divergente

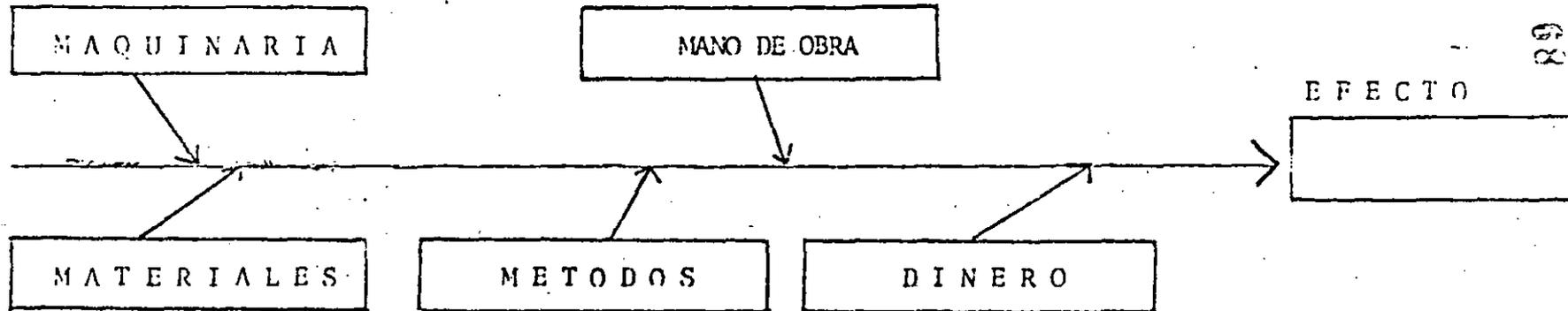
### REGLAS

- El problema que aparece en la caja de efecto, es un producto o proceso medible
- Cualquier cosa que pueda influir en el efecto es considerado como una causa probable

### PROCEDIMIENTO

- Cada miembro sugiere probables causas del problema, generando sus ideas a través de la lluvia de ideas e identificando hechos
- El lider registra causas sobre el diagrama o una carta por categorías.

36



37

## USOS Y APLICACION DE LOS DATOS

- \* PROPORCIONAR UNA IDEA CLARA E INSEGADA DE LOS PROBLEMAS
- \* SELECCIONAR ADECUADAMENTE LOS PROBLEMAS
- \* ESPECIFICAR CORRECTAMENTE LOS PROBLEMAS
- \* IDENTIFICAR SUS CAUSAS
- \* VERIFICARLAS
- \* EVALUAR LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS DE SOLUCION
- \* DETERMINAR LOS PLANES DE IMPLEMENTACION

## P R O C E S O D E D E C I S I O N

- \* ESTABLECER BIEN LOS OBJETIVOS CONSIDERANDO LOS FACTORES :
  - LO QUE T I E N E QUE LOGRARSE
  - LO QUE SE Q U I E R E LOGRAR
  
- \* GENERAR UN NUMERO DE ALTERNATIVAS DE SOLUCION RAZONABLE
  
- \* EVALUAR DICHAS ALTERNATIVAS
  
- \* TOMAR LA DECISION

## A S E G U R A R S E D E :

- ELEGIR LA ALTERNATIVA MEJOR BALANCEADA
- TRATAR DE MINIMIZAR LOS RIESGOS
- ASEGURARSE DE MAXIMIZAR EL EXITO
- PREGUNTARSE :
  - ¿ ES ESTA SOLUCION FACTIBLE ?
  - ¿ ES ESTA SOLUCION ADECUADA ?
  - ¿ ES ESTA SOLUCION DESEABLE ?

PENSAR MAS ALLA DE LA  
SOLUCION

\* ¿ QUE CONSECUENCIAS PODRAN SURGIR ?

\* ¿ NECESITAN OTROS DEPARTAMENTOS LA  
MISMA SOLUCION ?

\* ¿ COMO SE VERAN BENEFICIADOS OTROS  
DEPARTAMENTOS ?

PARA ASEGURAR EXITO :

- \* DESARROLLAR UN PLAN DE ACCION QUE CONTENGA :

Q U E

D O N D E

C O M O

C U A N D O

Q U I E N

E T C .

- \* ANTICIPARSE A AQUELLO QUE PUDIERA IR MAL

- \* TENER UN PLAN DE CONTINGENCIA



TECNICAS PARA UNA BUENA  
PRESENTACION

- \* SELECCIONAR UN LIDER PARA LA PRESENTACION
- \* PREPARAR UNA AGENDA
- \* ORGANIZAR EL MATERIAL
- \* UTILIZAR AYUDAS VISUALES
- \* TRATAR DE NO OCUPAR MAS DE 30 MINUTOS
- \* AL FINAL HACER UNA SINTESIS O RESUMEN

DIRECTORIO DE ALUMNOS DEL CURSO: FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS: IMPARTIDO EN ESTA DIVISION.

- 1.- ACUÑA RIVERA RAYMUNDO  
S. C. T.
  
- 2.- ANAYA GUERRERO JULIA GPE.  
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES  
INVESTIGADOR ASOCIADO B:  
PROGRESO No. 5  
DELEGACION COYOACAN  
42000 MEXICO, D.F.  
554-22-75 y 554-84-53  
AV. DE LOS ARCOS PTE No. 382  
JARDINES DEL SUR  
DELEGACION XOCHIMILCO  
26050 MEXICO, D. F.  
676-44-67
  
- 3.- ARENAS ANDRADE RICARDO  
SICARTSA  
SUBGERENCIA DESARROLLO TECNICO  
LAZARO CARDENAS MICH.  
2-03-33  
BOSQUES DE CHIHUAHUA no. 28  
STA. MONICA
  
- 4.- AOKI GONZALEZ HECTOR ARMANDO  
ICA INDUSTRIAL ING. S. A.  
JEFE DEPTO/ DE COMPUTACION  
VIADUCTO No. 81  
COL/ TACUBAYA  
22870 MEXICO, D.F.
  
- 5.- ARVIZU SOTO JAIME  
COORD. REG. DE INFRAESTRUC. HIDRAULICA  
S. A. R. H. PROYECTISTA  
AV/ CONSTITUYENTES No. 20  
2-55-28  
HERIBERTO JARA No. 26  
COL. VIVEROS DE QRO.  
QUERETARO, QRO.
  
- 6.- CASTILLA PARRAO JORGE  
S. A. R. H.  
JEFE DEPARTAMENTO  
INSURGENTES No. 30-40. PISO  
535-48-32  
C. DEL ROSARIO No. 27  
JARDINES DE STA. MONICA  
54050 TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO  
397-00-42
  
- 7.- CASTILLO OJEDA JOSE FRANCISCO  
ELECTROMETRO, S.A.  
JEFE DE FRENTE  
VIADUCTO No. 81  
COL/ TACUBAYA  
DELEGACION MIGUEL HIDALGO  
277-35-99 ext. 218  
ANTONIO EL CURA No. 95-4  
COL. MODERNA  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
03520 MEXICO, D.F.  
590-28-88

- 8.- CLEMENT ACOSTA CARLOS  
DEREC, GRAL, DE TELECOMUNICACIONES  
JEFE OFNA. ELABORACION PROYECTOS  
EJE LAZARO CARDENAS No. 567  
529-59-81
- 9.- CRUZ BERISTAIN GONZALO NORBERTO  
UNAM FAC. DE INGENIERIA  
PROFESOR  
CD. UNIVERSITARIA
- 10.- DIAZ ORTIZ FERNANDO  
DIREC. GRAL. OBRAS MARITIMAS  
ING. ESPECIALIZADO  
AV. INSURGENTES SUR No. 664-60. PISO  
COL. DEL VALLE  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
03200 MEXICO, D. F.  
687-53-27
- 11.- FERNANDEZ BONILLA OCTAVIO  
I. M. S. S.  
SUPERVISOR ADMINISTRATIVO  
AV. GUANAJUATO NO. 1  
DELEGACION BENITO JUAREZ
- 12.- GARCIA MONTILIA DELFINA  
CENTRO SC. T. MORELOS  
JEFE DEPTO. ING. SISTEMAS  
CARRET. CUERNAVACA TEPOZTLAN  
CHAMILPA
- 13.- GARCIA RODRIGUEZ SARA ESTELA  
INST. NAL. DE INVESTIGACIONES  
PRIMARIAS  
JEFE DEPTO. BIMETRIA Y ESTADISTICA  
KM. 15.5 CARRET. MEXICO TOLUCA  
COL. PALO ALTO  
DELEGACION CUAJIMALPA  
520-06-16
- 14.- HERNANDEZ RODRIGUEZ ANGEL  
D.E.P.F.I.  
AYUDANTE DE INVESTIGADOR  
CD. UNIVERSITARIA  
550-52-15 EXT. 4486
- 15.- LEON RAMIREZ SOCORRO
- AV. ALVARO OBREGON No. 24  
CONTRERAS  
20800 MEXICO, D. F.  
568-08-62
- ANDADOR 51 DE ACOXPA CASA No. 20  
VILLA COAPA  
DELEGACION TLALPAN  
24390 MEXICO, D.F.  
594-33-90
- CALLE 16 No. 4311  
COL. AGUILERA  
DELEGACION AZCAPOTZALCO  
02900 MEXICO, D. F.  
355-05-43
- FERROCARRIL NO. 191  
DELEGACION TLALPAN  
14050 MEXICO, D.F.  
573-05-07
- CALLE 10 DE ABRIL NO. 4  
COL. ANTONIO BARONA  
CUERNAVACA, MOR.
- 2A. OTE NO. 99  
COL. ISIDRO FABELA  
DELEGACION TLALPAN  
14030 MEXICO, D.F.  
579-51-64
- LAZARO CARDENAS NO. 27  
EL MIRADOR  
TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO  
54080 MEXICO, D.F.  
398-10-59
- NONOALCO 45-F-211  
UNIDAD TLATELOLCO  
06900 MEXICO, D.F.  
597-27-93

16.- MARTINEZ OSORIO GUSTAVO A.  
INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO  
PROFESIONISTA "B"  
PROLONG. EJE CENTRAL LAZARO CARDENAS 152  
COL. SAN BARTOLO ATEPEHUACAN  
DELEGACION AZCAPOTZALCO  
07730 MEXICO, D.F.  
567-66-00

SUR 99 A NO. 406E  
COL. HEROES DE CHURUBUSCO  
DELEGACION IZTAPALAPA  
09090 MEXICO, D.F.  
582-41-41

17.- MATEOS SANDOVAL LUIS  
INFONAVIT  
INVESTIGADOR DE SISTEMAS "A"  
BARRANCA DEL MUERTO NO. 280  
COL. GUADALUPE INN  
DELEGACION ALVARO OBREGON  
01029 MEXICO, D.F.  
651-94-00

CALLE 1-A NO. 22  
COL. SAN JOSE DE LA ESCALERA  
DELEGACION GUSTAVO A. MADERO  
07630 MEXICO, D.F.  
660-32-75

18.- MENDOZA ANDRADE JUANA MARIA  
UNAM  
PROFESOR  
CD. UNIVERSITARIA

RETORNO 47 NO. 35  
COL. AVANTE  
DELEGACION COYOACAN  
04460 MEXICO, D.F.  
677-62-54

19.- MILLONES OLANO JOSE ENRIQUE  
PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS  
PARA EL MEDIO AMBIENTE  
CONSULTOR  
PRESIDENTE MASARIK NO. 25  
COL. PROLANDO  
250-15-55 EXT. 224

SABINO NO. 136 DEPTO. 3  
SANTA MARIA LA RIBERA  
250-15-55 EXT. 224

20.- MOLINA VILCHIS MARIA MATILDE  
S. C. T.  
SUPERVISOR DE TELEINFORMATICA  
EJE CENTRAL LAZARO CARDENAS NO. 567  
COL. NARVARTE  
511-52-01

CALLE TEJANGO MZA. 1 LOTE 87 SEC. 1  
COL. STO. DOMINGO  
DELEGACION COYOACAN  
04360 MEXICO, D.F.

21.- MONTOYA SANCHEZ EDUARDO M.  
DIR. GRAL. DESARR. TEC. S. C. T.  
JEFE DE PROYECTO DE PLANEACION  
AV. SAN FCO. NO. 1626-70. PISO ALA SUR  
COL. DEL VALLE  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
03100 MEXICO, D.F.  
534-79-22.

IXTLEMELIXTLE NO. 43  
COACALCO EDO. DE MEXICO 55700  
874-82-09

22.- MORENO CABALLERO MA. LIBERTAD  
ELECTROMETRO, S.A. GRUPO I.C.A.  
ANALISTA EN SISTEMAS  
VIADUCTO NO. 81  
COL. TACUBAYA  
277-35-99 EXT. 152

PENNSYLVANIA NO. 280-52-A  
COL. NAROLES  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
03810 MEXICO, D.F.  
687-69-05

23.- PENA ALFARO G. FERNANDO  
S. C. T.

24.- RAMIREZ ALVAREZ JOEL CESAR  
S. A. R. H.  
JEFE DE SECCION DE ANALISTAS  
INSURGENTES SUR NO. 30-32  
COL. CENTRO  
DELEGACION CUAUHTEMOC

AGAVE NO. 1  
COL. INFONAVIT  
IZTACALCO  
650-54-09

25.- RAMIREZ JIMENEZ LUIS  
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD  
INGENIERO DE PROYECTO  
RIO MISSISSIPPI NO. 71  
COL. CUAUHTEMOC  
06700 MEXICO, D.F.  
553-71-33 EXT. 2722

RINCONADA POETAS ED. COROSTIZA  
COL. PEDREGAL DE CARRASCO  
04700 MEXICO, D.F.

26.- RANGEL ORDOEZ L. HUMBERTO  
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD  
RIO MISSISSIPPI NO. 71-110. PISO  
DELEGACION CUAUHTEMOC

ANTILLAS NO. 614-104  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
03300 MEXICO, D.F.  
674-35-98

27.- REYES MARTINEZ MIGUEL ANGEL  
TOPOGRAFIA DEL MAR  
JEFE DE SECCION DE INGENIERIA  
AV. REVOLUCION NO. 468  
COL. SAN PEDRO DE LOS PINOS  
DELEGACION MIGUEL HIDALGO  
271-30-45

IGNACIO M. ALTAMIRANO NO. 47  
COL. SANTA CRUZ MEYEHUALCO  
IZTAPALAPA  
09700 MEXICO, D.F.  
691-71-81

28.- RITTER ORTIZ WALTER  
UNAM  
INVESTIGADOR ASOCIADO "C"  
550-52-15 EXT. 4387

JOSE MORAN NO. 53-206  
DELEGACION MIGUEL HIDALGO  
11850 MEXICO, D.F.  
277-75-18

29.- REYES S. LUIS ANTONIO  
S. C.T.

30.- ROJAS DIAZ MIGUEL ANGEL  
COMISION ESTATAL DE AGUA Y SANEAMIENTO  
GERENTE DE SUPERVISION  
SAN MATEO NO. 3  
NAUCALPAN DE JUAREZ  
395-88-00

CUAUHTEMOC QTE NO. 60  
CHALCO, MEXICO 56600  
305-58

31.- SAHAGUN CASTELLANOS SALVADOR  
INST. NAL. INVEST. FOREST. AGRIC. PECUARIOS  
AV. INSURGENTES SUR NO. 694-10<sup>a</sup>. PISO  
COL. DEL VALLE  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
03100 MEXICO, D.F.  
687-74-04

DOM. CONOCIDO SAN MIGUEL TLAI  
APARTADO POSTAL 120  
CHAPINGO, MEX.