

20  
2Ej.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
"CUAUTITLAN"**

**LA DINAMICA DE SISTEMAS : OTRO ENFOQUE A LOS  
PROBLEMAS ADMINISTRATIVOS**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
LICENCIADA EN ADMINISTRACION  
P R E S E N T A:  
DULCE MARIA LETICIA JIMENEZ**

**DIRECTOR DE TESIS :  
ING. VICTOR MANUEL GARCIA PORTILLA**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

UNAM



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## P R O L O G O

Las técnicas de enfoque sistémico fueron originalmente desarrolladas y orientadas a las tácticas militares, de donde se han extendido a la Administración de las organizaciones.

La ventaja del uso de estas técnicas en la moderna Administración radica en que debe hacerse un estudio del elemento de interés y de sus interrelaciones con su medio, de esta forma todos los aspectos que lo afectan se toman en cuenta, esto es importante ya que en muchas ocasiones son estos aspectos que parecerían a primera vista sin mayor importancia los que determinan el comportamiento de nuestro interés.

Tales aspectos o relaciones serían dejados de lado con un análisis tradicional que la mayoría de las veces aísla todas las interrelaciones del elemento de interés con su medio ambiente.

La Dinámica de Sistemas es una metodología que está dentro del pensamiento sistémico y que junto con otras más están contribuyendo al fortalecimiento de la Ciencia de la Dirección.

Con la importancia creciente del concepto SISTEMA y de los estudios al respecto, no es posible para la Administración en estos tiempos restringirse en el desarrollo y uso de las técnicas y conocimientos para el tratamiento de problemas y la búsqueda de

soluciones.

La abundante atención que reciben las diversas metodologías sistémicas tanto dentro de la propia Administración como en otros campos, no es simplemente porque "estén de moda" y se intente ensayar con innovaciones metodológicas; sino porque representan una mayor vinculación con la realidad, un mayor esquema racional de la experiencia administrativa y una respuesta adecuada a la actividad del proceso de planificación.

# INDICE

	Página
PREFACIO .....	I
PROLOGO .....	III
INTRODUCCION .....	11
<b>I. UN ACERCAMIENTO A LOS SISTEMAS</b> .....	
<b>1. El concepto de sistema</b> .....	
1.1 ¿Qué es un sistema? .....	15
1.2 Visualización de los sistemas .....	19
1.3 Los sistemas en la Administración .....	23
<b>2. Los modelos: forma de representación de los sistemas</b> .....	
2.1 Naturaleza de los modelos .....	26
2.2 Clasificación de los modelos .....	30
<b>II.- INTRODUCCION AL ENFOQUE DE DINAMICA DE SISTEMAS</b> .....	
<b>1. Consideraciones generales</b> .....	
1.1 Antecedentes históricos .....	36
1.2 Características .....	49
1.3 Fases .....	59

2. Estructuras básicas de los modelos construidos con Dinámica de Sistemas	
2.1 Sistemas de primer orden .....	67
2.2 Sistemas de segundo orden .....	72
3. Algunas notas sobre el compilador Dynamo .....	74
II.- APLICACION DE LA DINAMICA DE SISTEMAS A UN PROBLEMA ADMINISTRATIVO (CON APOYO DEL COMPILADOR DYNAMO)	
1. Identificación y definición del problema	
1.1 Contexto .....	77
1.2 Modos de referencia .....	83
1.3 Propósito del modelo .....	87
2. Conceptualización del sistema	
2.1 Frontera del sistema .....	89
2.2 Estructura de retroalimentación .....	91
3. Formulación del modelo	
3.1 Diagrama causal .....	93
3.2 Diagrama Forrester .....	101
3.3 Ecuaciones del modelo	
3.3.1 Ecuaciones de nivel .....	104
3.3.2 Ecuaciones de tasa .....	107
3.3.3 Ecuaciones auxiliares .....	111

4. Simulación	
4.1 Escenario resultante de la simulación .....	114
4.2 Análisis de resultados .....	121
4.3 Prueba de políticas alternativas .....	124
IV.- BENEFICIOS PARA LA ADMINISTRACION DEL USO DE LA DINAMICA DE SISTEMAS .....	129
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	133
BIBLIOGRAFIA .....	136

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

La Administración a través del tiempo ha evolucionado como un arte, pero el arte evoluciona gracias a la experiencia y a la necesidad de tener bases precisas para explicar, aplicar y organizar esa misma experiencia. Por ello a fines del siglo pasado, la Administración empezó a transformarse en una "Ciencia de la Dirección", aunque aún no tenía una base que le permitiera resolver problemas complejos de la alta Dirección.

Esta limitación le daba a la Dirección una imagen estática, muy por debajo de las ciencias tradicionales y de las artes; la presentaba como una tarea poco significativa y sin ningún reto intelectual. Pero no era porque no tuviera un campo de estudio, ya que lo tenía y aún sin explorar, sino porque no se contaba con métodos que pudieran ayudar a resolver los problemas que no eran solucionados a través de los métodos tradicionales hasta entonces conocidos.

Hoy día, la Administración se enfrenta constantemente con situaciones cada vez más desafiantes, pues se encuentra en un medio de organizaciones dinámicas.

Este medio no corresponde ya a las antiguas formas de organización piramidal que respondieron a las necesidades de su tiempo y que con un enfoque administrativo nacido a principios de siglo en los Estados Unidos, cuyo modelo funcional fué el de la máquina, invadió la mentalidad de empresarios y ciudadanos, quienes asociaron eficiencia con prosperidad y progreso.

En estos años la Administración cae en manos de "expertos en eficiencia", quienes trataron de manejar cualquier situación mediante el diseño de formas y procedimientos. Era un medio industrial donde el concepto burocrático de Weber se adecuó perfectamente al desarrollo de tareas rutinarias, pero en el que la Revolución Industrial aceleró el ritmo de vida de las organizaciones, haciendo que la propia burocracia fuera incapaz de soportarlo y exigiendo además que nuevas formas de organización sean las que se enfrenten a este nuevo medio más complejo y necesitado de una Dirección cada vez más experta.

En la actualidad el administrador ya no puede apoyarse solo en la literatura de generaciones anteriores, donde se presentaban experiencias aisladas dentro de cada área funcional, necesita como lo ha demostrado en los últimos años, traducir esas experiencias que son sumamente valiosas, en un contexto común como partes de un sistema: La Organización.

En este enfoque integral juega un papel preponderante el con-

cepto SISTEMA y las investigaciones sistémicas, pues las organizaciones no están aisladas sino que se encuentran en interacción permanente con otras organizaciones, pero sobre todo con una mucho mayor: la Organización Social, o "el conjunto de relaciones y procesos del cual las organizaciones forman parte" (1).

La vida de las organizaciones se ha vuelto sumamente compleja, se han convertido en participantes activos del proceso económico del país teniendo gran efecto en la movilidad social.

Para el administrador, planificar y controlar un sistema organizacional implica el uso de métodos que sean capaces de analizar las interacciones del sistema con su medio y que le proporcionen las bases de su comportamiento.

El desarrollo de la Administración como ciencia, tiende cada vez más hacia una base matemática como puede observarse con el mayor uso de técnicas econométricas, estadísticas y de modelos de investigación operativa en busca de soluciones "óptimas".

Así mismo, ahora se busca desarrollar al máximo la eficiencia de los sistemas, pero no por períodos o ciclos, sino a largo plazo; haciendo uso de técnicas y procedimientos que ayuden a la implantación de una estrategia de planificación a largo plazo o "Planificación Estratégica" como le llaman algunos autores.

---

(1) Richard Hall, Organizaciones: Estructura y Proceso, Ed. PHI, Madrid 1979, Pág. 6.

El administrador hará un uso cada vez mayor de herramientas matemáticas y computacionales más complejas, ya que ahora se busca plantear los problemas en forma anticipada para así mismo buscar su solución; se construyen modelos, definiendo restricciones y evaluando alternativas. Todo esto a través de un proceso continuo de planificación, buscando explicar y clasificar los esquemas empíricos para evitar deformación en la visualización pero sin dejar de lado la creatividad, la intuición y la experiencia.

## C A P I T U L O I

### UN ACERCAMIENTO A LOS SISTEMAS

#### 1. EL CONCEPTO DE SISTEMA

##### 1.1 ¿QUE ES UN SISTEMA?

La vida del hombre transcurre dentro de sistemas, más sin embargo, se ha adaptado a los mismos sin que haya sentido la necesidad de comprender su comportamiento, sino hasta estos últimos años.

Ya sus logros han puesto de manifiesto las estructuras de sistemas naturales y aún más, el mismo ha producido mediante su elevada tecnología, sistemas altamente complejos. No obstante, esto no quiere decir que sean enteramente entendidos los principios del comportamiento de éstos.

Aunque todos hemos estado rodeados de pequeñas partes del conocimiento relativo a los sistemas, no los hemos estructurado para entender a éstos últimos.

Un primer paso para lograrlo será entender a que llamamos sistema; el concepto sistema no implica una yuxtaposición de partes, sino una agrupación -natural o artificial- de elementos que actúan por sí mismos para cumplir un objetivo común, entonces el sistema existe porque existe el objetivo. Un sistema puede contener tanto elementos físicos como elementos humanos.

Los sistemas son cada vez más complejos y sus objetivos entran más en competencia por eso en los últimos años, se ha hecho patente la tendencia hacia el conocimiento profundo de los sistemas, ya que existe una creciente necesidad de identificar y explicar los principios generales que los gobiernan.

Por todo ello, se ha empezado a estructurar el conocimiento en el campo relativo a los sistemas, de otra manera los conocimientos serían solo una reunión de hechos y observaciones.

A través de la definición y estudios del SISTEMA, se ha desarrollado una teoría científica que sirve de estructura funcional: la Teoría General de los Sistemas. Con esto se desprende todo un contexto filosófico que está constituido por el PARADIGMA DE SISTEMAS (1) como base de todos los modernos descubrimientos,  
-----

(1) Kuhn T. S., La estructura de las revoluciones científicas, Breviarios no. 213, Ed. F.C.E., México, 1982.

así como de los más recientes hechos y desarrollos científicos y tecnológicos contemporáneos.

El paradigma de sistemas está constituido por metodologías con visión totalizadora en el estudio de los problemas reales.

Estas metodologías fijan su atención en los resultados de sus partes y no en el análisis aislado de cada una de ellas.

Para la teoría sistémica el punto de atención es precisamente el problema que limita a la ciencia tradicional con sus procedimientos analíticos: el enfoque del objeto de interés en una definición que considere su ubicación en un entorno, dentro del cual se muestre la función específica que le corresponde; mientras que para la aplicación de los procedimientos analíticos es necesario que no haya interacciones entre los elementos y que las relaciones sean de tipo lineal y estas condiciones no son las que caracterizan a los sistemas.

Resumiendo lo que hasta aquí se ha dicho, tenemos que:

a).- Es necesario un cambio en el pensamiento de todos los campos del conocimiento, pues ahora existe una nueva forma de ver las tareas científicas, una forma con una visión del mundo como un macrosistema, una visión que contrasta con los métodos de tipo analítico que tienen tendencia a reducir los problemas al nivel

de sus relaciones locales.

b).- Conocer el objeto de interés, plantea la necesidad de definirlo primeramente. Y un enfoque particular de definición - funcional es la representación sistémica.

La importancia de este enfoque se pone de manifiesto cuando nos sirve de apoyo para atacar problemas con planes altamente inclusivos y que al mismo tiempo son factibles.

## 1.2 VISUALIZACION DE LOS SISTEMAS

En ocasiones cuando enfrentamos un problema en busca de una solución, nos encontramos con que nuestro problema inicial está - ligado a otros más. Por tanto para atacarlo habrá que tener antes la solución de alguno o algunos otros.

La complicación para determinar un patrón de soluciones de problemas sin contar con una actividad cognoscitiva, ha revelado que es necesario tener un proceso de CONCEPTUALIZACION. Conceptuar los problemas representa la fase primaria para la solución de éstos.

Ahora bien, en la comprensión de una problemática se distinguen dos tipos de problemas: (2)

1).- Los problemas reales, que son los que existen en nuestro alrededor y que nosotros percibimos y representamos en la problemática.

2).- Los problemas representados, que son los planteados en el análisis que hacemos del problema. Son en resultado de nuestra conceptualización.

---

(2) Gelman O., Negroe G., Papel de la Planeación en el proceso de conducción, Boletín de Inst. Mex. de Planeación y Operación de Sistemas, No. 61, año XI, 1981.

De igual manera, tendremos para ambos tipos de problemas:

1).- Un análisis de tipo empírico que explique la problemática.

2).- Un análisis científico o análisis teórico que permita interpretar los problemas y los sistemas que involucran, de esta manera se podrá configurar la problemática, lo que a su vez permitirá deducir los problemas reales.

Para llevar a cabo la configuración antes mencionada, es necesario contar con un medio de establecer el sistema, o mejor dicho un MEDIO DE CONSTRUCCION SISTEMICA que permita visualizar los sistemas que intervienen en el problema.

La representación sistémica parte de que el objeto de nuestro interés no puede definirse de una manera aislada, ya que una definición de nuestro objeto solo tiene sentido si lo ubica en un entorno y además muestra éste determinando la función específica que tiene dentro de él.

Una manera de lograr la visualización de los sistemas es mediante DESCOMPOSICION FUNCIONAL (3) lo cual significa que habrá

(3) Gelman D., 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., octubre de 1978.

que definir el papel que juega el sistema dentro de su suprasistema así como el de los subsistemas que lo componen.

La dificultad de este enfoque se pone de manifiesto al tratar de determinar el entorno del objeto de interés, ya que determinar hasta donde se extiende o debe extenderse la frontera del sistema presenta ciertas complicaciones. Debido a esto, el entorno que deba considerarse será aquel que permita plantear y manejar en forma práctica los problemas reales.

Si se ha de visualizar el sistema por descomposición funcional, al definir el objetivo del sistema y los objetivos de los subsistemas, deben distinguirse tres tipos de ellos:

- 1).- Los objetivos que el suprasistema impone al sistema
- 2).- Los objetivos propios del sistema
- 3).- Los objetivos que los subsistemas asignan al sistema.

El hecho de tomarlos en cuenta, es porque la mayoría de los problemas surgen cuando estos tres tipos de objetivos entran en conflicto. El planteamiento de una problemática dentro de la conceptualización de un sistema exige que el sistema sea totalmente especificado y esto solo es posible si se conoce su entorno, sus componentes y su estructura.

Para representar el sistema de nuestro interés y realizar el

análisis que nos permita deducir los problemas reales, se utilizan los modelos (que también son sistemas); éstos son muy útiles y permiten lograr exitosos resultados.

La metodología sistémica tiene aplicación en cualquier actividad profesional en la que sea necesario el análisis de un sistema.

En el campo de la Administración ha tenido gran aceptación y sus resultados han sido satisfactorios. Tal es el caso de la Ingeniería de Sistemas, que se ha empleado como medio de planificación y organización de actividades, iniciando con la definición del problema y llegando hasta la implantación de la solución obtenida.

El Instituto de Ingeniería de nuestra Universidad Nacional - Autónoma de México, es uno de los mejores ejemplos de instituciones que emplean el enfoque sistémico en el proceso de planificación. Los usos prácticos en que ha colaborado son de variada naturaleza, los más importantes son en conjunto con la SAHOP y la SCT, para visualizar la ciudad de México como un sistema y buscar soluciones a algunos de sus problemas más graves como son la vivienda, el transporte y en los casos de catástrofes.

### 1.3 LOS SISTEMAS EN LA ADMINISTRACION

El concepto de sistema en la Administración en un principio se empleaba solo para definir escuelas o estilos de pensamiento sobre el enfoque administrativo. Así, tenemos que existe el concepto: **SISTEMAS DE PENSAMIENTO** (1) o **SISTEMAS GERENCIALES** y que se refiere a un enfoque gerencial que implica ciertas técnicas y acciones tendientes a lograr la consecución exitosa de un objetivo común u objetivo principal de una organización.

De igual manera tenemos que se hace referencia a un **SISTEMA DE AUTORIDAD** para designar el enfoque autoritario que presentaba la gerencia en su etapa de Administración Científica. Más adelante y debido a nuevas corrientes de pensamiento surge el concepto de **SISTEMA SOCIAL DE COOPERACION** que se refiere a la etapa en que la Administración empieza a prestar atención a su recurso más valioso: el humano y que cobra importancia con los experimentos de Alton Mayo.

Es muy usado también el término de **SISTEMA DE ADMINISTRACION POR OBJETIVOS**, desarrollado por Peter Drucker y en el que se pretende que cada parte de la organización entienda claramente sus

---

(1) Massie Joseph, Bases esenciales de la Administración, Editorial Diana, México, D, F., pág. 12.

objetivos específicos para que de esa manera pueda contribuir mejor a los objetivos generales.

También es frecuente el uso del término SISTEMA ADMINISTRATIVO DEMOCRATICO o PARTICIPATIVO para referirse a la participación del grupo en el proceso de toma de decisiones.

Pero el concepto de sistema ha ido tomando nuevos alcances y se ha extendido a todas las áreas de la organización puesto que la misma Administración es en sí misma un sistema cuyos componentes o subsistemas son: Planificación, Integración, Organización Dirección y Control y a su vez cada uno de ellos puede verse como un sistema en particular.

Por otra parte, algunos sociólogos consideran a la Administración como un subsistema del macrosistema social y a la organización como un sistema social abierto ya que exhibe entrada y salida de elementos (intercambio) con su medio ambiente.

Hoy en día es muy empleado el concepto de sistema dentro del proceso de planificación. En base a lo anterior se interpreta la relación entre lo que se conoce como SISTEMA CONDUCTENTE (2) que

---

(2) Gelman O. y Negroe G., La planeación como un proceso básico en la conducción, Rev. de la Academia Nal. de Ing., vol. 1, núm. 4, pág. 13.

puede entenderse como un enfoque administrativo compuesto de subsistemas tales como: Planificación, Toma de decisiones, Información e Implantación y el SISTEMA OBJETO CONDUCIDO que es el ente que mediante la ejecución de ciertas actividades y con la guía del sistema conducente, está encaminado a la consecución de ciertas metas.

Este enfoque es con el propósito de plantear anticipadamente los problemas que pudieran presentarse dentro del sistema y así mismo buscar las soluciones de antemano.

## 2. LOS MODELOS: FORMA DE REPRESENTACION DE LOS SISTEMAS

### 2.1 NATURALEZA DE LOS MODELOS

Cuando tenemos que tomar una decisión por común que ésta sea, empleamos instintivamente un modelo. Este proceso se lleva a cabo cuando elegimos una alternativa de entre otras varias de acuerdo con el resultado de la acción que cada una tendrá.

Pensemos por ejemplo en una ama de casa que debe preparar la comida; la decisión de que platillos preparar la tomará en base a los resultados de las diferentes alternativas que se haya planteado, para tal efecto usará un modelo mental de todo el conjunto: ingredientes, utensilios, tiempo, recursos monetarios, etc.

Esas relaciones que hacemos de acción y efecto, son modelos de algunos sistemas. Es imposible que dentro de mente alguna se encuentren ciudades, animales o cualquier otro objeto del mundo real, lo que se tienen son solo conceptos, abstracciones de la realidad.

Un modelo es entonces, una representación abstracta de un aspecto de la realidad y es también un sistema, puesto que es un conjunto de partes que interactúan.

Esta representación no es única pues por el contrario, existen varios modelos para representar un mismo fenómeno.

Los modelos son sustitutos de algún o algunos sistemas y su valor se da precisamente cuando ayudan a mejorar la comprensión del comportamiento del sistema que representan.

De acuerdo con lo anterior, el valor en la construcción de un modelo, reside en la simplificación; puesto que si un modelo se construye para ayudar a comprender un aspecto de la realidad, éste debe ser fácilmente entendible. Si el modelo implicará las mismas relaciones complejas que existen en el mundo real, sería tan difícil de comprender como el propio mundo real y esto lo haría inoperante.

Todo modelo aunque debe omitir algunos detalles reales, debe mostrar las relaciones que son de interés en el estudio que se esté realizando. La ventaja del uso de modelos es que permiten estudiar aspectos de la realidad a costos más bajos y en menor tiempo que si se ensayara en los sistemas reales.

Como se ha mencionado, un modelo es un sustituto para un sistema real, por tanto puede tomar variadas formas y servir para distintos propósitos. Teniendo en cuenta que cualquier conjunto de reglas y relaciones que describan algo es un modelo de ese algo, habrá modelos que para nosotros sean más comunes que otros.

Tal es el caso de ciertos modelos abstractos, como nuestros conceptos mentales. Estos modelos nos son más familiares porque nuestra mente está bien adaptada para construir y usar modelos - que asocien objetos del mundo real.

Los modelos sirven de apoyo para investigaciones experimentales. En las ciencias físico-biológicas, se han logrado buenos modelos que explican los fenómenos observados; otros como los desarrollados en la Ingeniería han servido para diseñar nuevos sistemas.

Los modelos de las ciencias sociales han nacido a partir del conocimiento y experiencia humana y su uso es principalmente el de la predicción.

La utilidad práctica de estos modelos ha constituido uno de los problemas para la planificación administrativa, pues aunque tienen larga historia, no son totalmente aceptados como una herramienta en este proceso. Sin embargo un modelo social puede tener gran utilidad si es capaz de reflejar la estructura del sistema que está representando, lo que significa que puede mostrar los cambios que producirán en el comportamiento del sistema una variación de sus políticas.

Se pueden esperar buenos y útiles resultados de los modelos

sin pretender el logro de objetivos inalcanzables. Todos los modelos pueden representar la realidad con distinto grado de fidelidad, pero lo que verdaderamente da la base de que sea válido o útil un modelo, es la claridad de la definición que proporcione.

El tipo de modelo de que se disponga puede variar en su reflejo de la realidad, puede ser un modelo altamente prejuiciado o condicionado por otros factores sociales o psicológicos, o puede tenerse al alcance un muy elaborado modelo formal, pero ambos son una forma particular de ver el mundo.

#### CONCLUSIONES:

- Los objetivos de cualquier modelo deben ser fácilmente comprensibles.
- Deben brindar definiciones concretas y sencillas.
- Deben reflejar la realidad lo más fielmente posible.
- Deben brindar la posibilidad de crítica por parte de expertos en el sistema real.
- Deben servir de base para el desarrollo de otros sistemas.

## 2.2 CLASIFICACION DE LOS MODELOS

La clasificación de modelos puede tener muchas posibilidades, una de ellas es la que presenta la figura 2.2.1.

La primera división puede hacerse en base a los modelos **ABSTRACTOS** y los modelos **FISICOS**.

Los modelos abstractos son aquellos que contienen más símbolos que medios físicos; son más comunes que los modelos físicos, más no siempre los reconocemos, no obstante que cotidianamente - hacemos uso de ellos para elegir alternativas y tomar decisiones proyectando en nuestra mente aspectos del mundo que nos rodea.

Los modelos físicos son generalmente réplicas a escala de los objetos de interés. Pueden subdividirse en modelos **DINAMICOS** Y **ESTATICOS**; los dinámicos son los que permiten el movimiento, en cambio los estáticos relacionan espacio y ambos pueden ser tanto **PROBABILISTICOS** como **DETERMINISTICOS**, dependiendo de los elementos aleatorios que incluyan y que puedan afectar su comportamiento.

Las representaciones físicas conservan el aspecto de dimensión de los objetos originales, así tenemos por ejemplo que un arquitecto haga uso de maquetas para representar una construcción

o que un geógrafo utilice mapas de alguna región; las dos son representaciones de la realidad y guardan las características ésta.

Los modelos abstractos en cambio, consisten en un lenguaje - escrito, son procesos del pensamiento o aseveraciones lógicas.

Una imagen mental puede constituir un modelo de una organización y aún de sus procesos, un modelo matemático es otra variedad de los modelos abstractos y tal vez por su complejidad en - ocasiones son de menor uso en la vida diaria que los modelos verbales por ejemplo, sin embargo los modelos matemáticos son más - claros y menos ambiguos que la mayoría de los modelos verbales.

Al igual que los modelos físicos también se dividen en DINAMICOS Y ESTATICOS.

Un modelo estático como su nombre lo indica, es aquel que - mantiene sus componentes en la misma forma a lo largo del tiempo es decir, que no varía su comportamiento.

Un modelo dinámico es el que nos permite representar los - elementos que forman parte de un sistema dinámico: las evoluciones en el tiempo. Estos modelos muestran los resultados dinámicos de la interacción que tiene lugar entre los elementos constitutivos del sistema. Existe una rama de las matemáticas cuyo objeto de estudio es precisamente este tipo de sistemas, ésta ha sido - llamada "TEORIA MATEMATICA DE LOS SISTEMAS DINAMICOS". También -

existen aplicaciones de estos sistemas en el campo de la Automática y de la Ingeniería de Sistemas. En todos los casos el centro de atención es la evolución de las partes observadas a través del tiempo.

El aspecto aleatorio se refiere a eventos que no son predecibles; un sistema probabilista es entonces aquel cuyas partes actúan en forma impredecible o al azar, por lo que no se puede anticipar su estado siguiente.

En la confección de un modelo formal como el matemático se parte siempre de un modelo verbal. El modelo matemático es más fácil de manejar que el verbal o el físico ya que es más claro en su estructura, el problema que puede surgir al traducirlo del modelo verbal es que éste último no sea una descripción adecuada del sistema que intenta representar.

El significado del adjetivo "formal", con que se calificó al modelo matemático, se refiere a que este tipo de modelos usa un lenguaje explícito para describir las relaciones objetivamente, sin ambigüedad, lo que le da una validez universal.

La subdivisión de modelos LINEALES y NO LINEALES relativa a los determinísticos y probabilísticos (del grupo de los abstrac-

tos) es la última a considerar. Los modelos lineales representan a aquellos sistemas en que los efectos ajenos o externos se suman; en un sistema lineal, el resultado de cualquier perturbación continúa independientemente de las entradas anteriores o posteriores del sistema. Es por esto que los sistemas lineales son más fácilmente entendibles que los no lineales.

En el caso de sistemas sociales, su comportamiento no lineal no puede describirse con los modelos de tipo lineal que tradicionalmente se han usado, ya que no pueden representar las características esenciales de sus procesos. Sin embargo, muchas veces son los fenómenos no lineales la causa del comportamiento que nos interesa.

Además de la clasificación descrita, podemos hablar de otra, distinguiendo los modelos en ABIERTOS Y CERRADOS.

Aunque no es tan tajante la separación entre unos y otros, - pues no hay sistemas totalmente cerrados ni sistemas totalmente abiertos.

Un modelo cerrado es la representación de un sistema que no tiene conexión con las variables externas, es decir: "...cuando en un sistema la transformación no incluye ninguna cosa nueva, -

sino que corresponde al reacomodo de cosas que ya se encuentran ahí" (4).

Los sistemas de retroalimentación son un buen ejemplo de los sistemas cerrados, es en su estructura interna donde se generan las causas de su comportamiento debido a sus interacciones.

Un modelo abierto representa un sistema que intercambia materia con su medio ambiente, por lo tanto tiene entradas y salidas así como degradación de sus componentes materiales. Ejemplo de este tipo de sistemas es una organización, aunque no es totalmente abierta, si exhibe estímulos que son transformados y al mismo tiempo da respuestas diversas a su medio circundante.

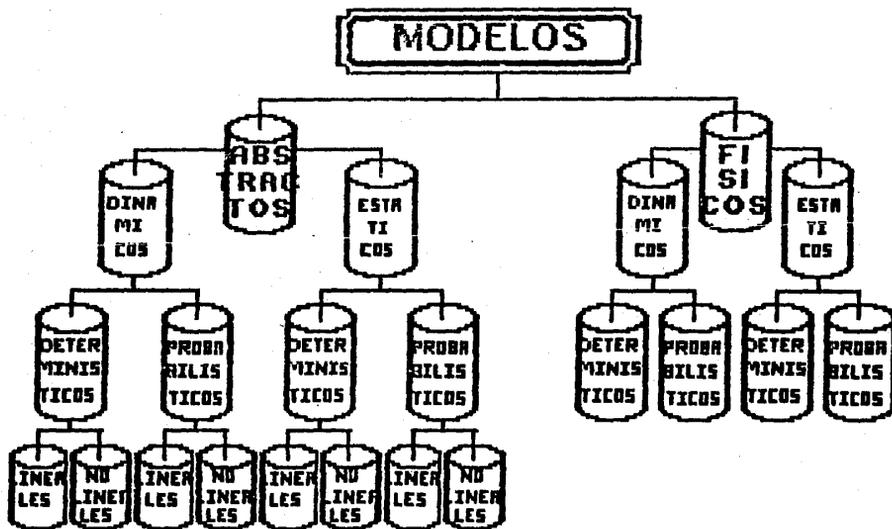


Figura 2.2.1 Clasificación de los modelos.

## C A P I T U L O   I I

### INTRODUCCION AL ENFOQUE DE DINAMICA DE SISTEMAS

#### 1. CONSIDERACIONES GENERALES

##### 1.1 ANTECEDENTES HISTORICOS

Después de la Segunda Guerra Mundial, el desarrollo de las -  
computadoras aunado al surgimiento de disciplinas como la Ciber-  
nética, la Teoría General de los Sistemas y la Informática; con-  
forman un movimiento científico, filosófico y tecnológico en el  
cual está inmerso el enfoque de la Dinámica de Sistemas cuyo ori-  
gen inmediato es la Dinámica Industrial ( que al ampliar su campo  
toma el nombre de Dinámica de Sistemas ), metodología derivada de  
esta corriente sistémica.

Con el fin de proporcionar un panorama más amplio del medio  
que origina y determina totalmente el enfoque de la Dinámica de  
Sistemas, es conveniente hacer una presentación concerniente a -  
las tres disciplinas antes citadas, así como de su antecedente -  
inmediato, la Dinámica Industrial.

## C I B E R N E T I C A

La Cibernética así llamada por Wiener, hace su aparición en el año de 1947 y sus objetos de estudio son la comunicación y el control.

Esta ciencia es la que establece la analogía entre los procesos de autorregulación de los seres vivos y el comportamiento de los servomecanismos (dispositivos en los que existe una retroalimentación de información).

En su aspecto formal, busca una teoría general de control - obtenida de diversos campos y que al mismo tiempo sea adecuada - para todos ellos.

El significado de la palabra control, se refiere a "... la estrategia de la máquina para lograr su objetivo" (5). Máquina - es la denominación que Beer hace de todo sistema natural o artificial que busca cumplir con un objetivo.

En el caso de los sistemas naturales los mecanismos de control son de tipo homeostático esto es, conservan determinada variable entre límites deseados. Cuando un cambio en la variable - se detecta, hay una retroalimentación de la información del esta-

-----

(5) Stafford Beer, Cibernética y Administración, Ed. C.E.C.S.A., México 1980, Pág. 27.

do de ésta para contrarrestarlo.

En el campo de la aplicación, la Cibernética busca el diseño del sistema "inteligente", sistema que se autoenseña para que sucesivamente consiga un comportamiento óptimo ( o que pueda considerarse como tal ).

Los puntos principales de la ciencia cibernética expuestos - por Wiener son:

a).- La importancia de realizar estudios interdisciplinarios para obtener una teoría general del control tomada de los campos mismos de la aplicación y aplicable a todos ellos.

b).- La existencia de procesos de retroalimentación tanto en sistemas naturales como en sistemas sociales.

Como el uso del término Cibernética no está unificado, hay - países como la Unión Soviética en los que existe una derivación llamada Cibernética Económica y dentro de ella ubican a la Dinámica de Sistemas, por lo que en ocasiones se le denomina como Cibernética de Forrester.

La Cibernética, cuya base está en los conceptos de información y control, pertenece a la rama de la Teoría General de los Sistemas, de la cual los sistemas cibernéticos son una parte.

## TEORÍA GENERAL DE LOS SISTEMAS

Esta teoría fué postulada por Ludwig Von Bertalanffy a principios de los años 50, distinguiendo tres puntos característicos:

1).- El primero, la apunta como una ciencia de los sistemas, "ciencia básica". Estudiando, explicando y obteniendo conceptos, leyes y modelos aplicables a los sistemas de varias ciencias, demostrando que para entender el comportamiento de cualquier sistema no solo es necesario el conocimiento de las partes sino que - principalmente se necesita conocer las interacciones entre ellas.

2).- El segundo, enfoca a la Teoría General de los Sistemas como ciencia aplicada; se trata pues de una "tecnología de los - sistemas". Este aspecto está relacionado con la automatización - moderna, extendiéndose de la teoría matemática.

3).- El último punto comprende el concepto filosófico de los sistemas, la nueva dirección de la forma de pensar y ver el mundo a través de la concepción sistémica. Ampliar y no restringir la exploración científica, tener la perspectiva del todo y no solo de las partes. Este punto toma en cuenta los valores del ser humano ya que éstos determinan en gran medida la forma de percibir, los modos de pensamiento y por lo tanto el proceder científico.

Bertalanffy hace además la siguiente distinción de los sistemas:

a).- Sistemas reales. Aquellos que existen independientemente de nosotros y que podemos percibir a nuestro alrededor (sistemas físicos).

b).- Sistemas conceptuales. Son sistemas simbólicos creados por el hombre, tales como las Matemáticas y la Lógica.

c).- Sistemas abstraídos. No son realmente otro tipo de sistemas, sino una derivación de los anteriores ya que son sistemas conceptuales pero tomados de la realidad (conceptos de objetos reales que existen en nuestra mente). La aclaración de esta tercera división nos lleva a relacionar conceptos culturales, lingüísticos y de aprendizaje, pues los sistemas abstraídos son en realidad conceptos mentales de cosas que percibimos debido a todos los factores antes mencionados. La percepción de una familia o de una organización no es en forma directa, sino que sus relaciones como tales están dadas conceptualmente debido tanto a los patrones culturales y lingüísticos que poseemos como a nuestros procesos de aprendizaje.

Del punto anterior se desprende toda una filosofía de los sistemas ya mencionada en los puntos característicos de la Teoría General de los Sistemas, dentro de esta concepción filosófica está una Epistemología de los sistemas que contempla una reflexión opuesta a los conceptos analíticos, reduccionistas y unidireccionales.

La Teoría General de los Sistemas busca explicar en término de "sistema" todo lo que la ciencia clásica conceptuaba como partes aisladas. Su preocupación principal es la obtención de principios de aplicación universal a los sistemas de todos los campos y con esto ayudar a la unidad de la ciencia.

En su carácter de ciencia aplicada exhibe varios campos: la Ingeniería de Sistemas, el Enfoque de Sistemas, la Cibernética y la Dinámica de Sistemas entre otros.

La Teoría General de los Sistemas brinda una ayuda útil al proporcionar modelos que pueden ser utilizados en cualquier disciplina, pues existen modelos y principios semejantes en campos distintos.

Lo anterior abre un panorama más amplio en el campo de la actividad científica.

## I N F O R M A T I C A

La Informática es una disciplina que se ocupa del tratamiento de la información mediante el uso de computadoras. Este tratamiento abarca los métodos de registro, de investigación, de memorización y de comunicación.

La computadora es de gran ayuda para recopilar, registrar, - analizar y distribuir grandes volúmenes de información, puede aplicarse a todo aquello que la requiera y gracias a ella muchas disciplinas han progresado rápidamente.

Desde la aparición de la computadora el mundo ha sufrido una transformación, pues gracias a ésta se pueden retener miles de - millones de datos en todos los campos; en el campo médico como - ayuda en los diagnósticos, en las casas editoras para el control de ediciones, en los aeropuertos para el control de los vuelos, en la agricultura detectando las zonas cultivables, en la educación como apoyo didáctico, en las empresas en la contabilización, el control de inventarios, planeación financiera, etc.

Los principios de la computación se pueden situar en 1728 - cuando el francés Falcon inventa un sistema de tarjetas perforadas para aplicarse en los telares, Jacquard aprovecha esta nueva técnica para ser uno de los primeros en automatizar sus telares.

El matemático inglés Babbage en 1833 inventa una máquina de tipo analítico que ya poseía una memoria y que estaba constituida por varios acumuladores, posteriormente serviría de modelo para la construcción de otras máquinas de calcular. Una de estas máquinas fué la del estadounidense Herman Hollerith la cual le facilitó realizar el censo poblacional de 1880.

En 1914 aparece la primera calculadora electromagnética automática, la Mark I cuyo creador fué Howard Aiken. En 1946 Mauchly y Eckert terminaron una nueva máquina que realizaba miles de cálculos, ENIAC (Electronic Numerical Integration and Calculator) esta máquina era de gran tamaño, ocupaba una habitación de 170 metros cuadrados; con ella nace la primera generación de computadoras que se caracterizaba por el uso de válvulas al vacío y las velocidades de cálculo eran de segundos.

En 1950 hace su aparición el transistor que caracterizaba a la segunda generación de computadoras y que reduce los tamaños e incrementa la velocidad de cálculo (midiéndose en milisegundos).

La tercera generación está caracterizada por los circuitos integrados (chips) que permiten efectuar operaciones y memorizar informaciones en microsegundos.

Para la cuarta generación se hace uso de los microprocesadores, que son bloques únicos de memoria con funciones de cálculo, memoria y regulación de bajo costo y tamaño ínfimo; las velocidades de los cálculos son de nanosegundos.

Una quinta generación está ya a la vista y en ella se trabaja con elementos vivos como células protéicas que serán núcleos de almacenamiento, además las computadoras serán capaces de enseñarse a sí mismas.

Con la aparición de la computadora personal nace la "microinformática" también llamada "privática", que es la informática por uno y para uno. Otra forma es la "telemática" que hace uso de las terminales interconectadas. La palabra telemática se originó en 1978 como resultado de la unión del teléfono (tele) y la computadora (mática).

Actualmente el tratamiento de la información se ha multiplicado y compañías como IBM, ATT, XEROS y otras, han desarrollado redes privadas que permiten transportar paquetes de información a través de cables y videos sin necesidad de estar cerca del lugar a donde se dirigen.

Hoy día la computadora es indispensable en la misma organi-

zación, puesto que es un elemento insustituible en la estructura funcional de la misma para el tratamiento de la información, la computadora representa no solo una herramienta altamente productiva en las tareas manuales y repetitivas, es además un excelente medio para el tratamiento y difusión de la información. Cualquier tipo de información de la organización puede ser almacenado sin importar el volumen a un reducido costo.

Las funciones de producción se pueden planificar y controlar los datos sobre las ventas, costos y pedidos pueden utilizarse - para estudios de mercado o simulación de eventos.

Con el auge de la computadora se ha acrecentado el número de profesionistas en el área, así mismo ha proliferado el surgimiento de nuevos puestos y profesiones tales como: Analista de Sistemas, Administrador de bases de datos, Arquitecto de redes telemáticas, Ingeniero en Sistemas, Programador, Capturista, Inspector de mantenimiento, Diseñador de circuitos, Ingeniero de investigación y desarrollo, Informático especialista en lenguajes de aplicación y otras que día a día nacen en este sector.

Para la Dinámica de sistemas el uso de la computadora es esencial ya que el seguimiento del comportamiento de los sistemas dinámicos a través del tiempo requiere de una gran cantidad de - complejos cálculos que aún para expertos matemáticos requerirían

de mucho tiempo. Con el uso de la computadora el trabajo se simplifica de tal manera que solo se requieren algunos minutos para obtener lo que se llevaría semanas de cálculos.

## D I N Á M I C A I N D U S T R I A L

El desarrollo de esta metodología se debe a la sistematización de las ideas que Jay W. Forrester acumuló durante un estudio práctico. Dicho estudio le fué encomendado por la Sprague Co. a mediados de la década de los años 50, para detectar el motivo de fuertes variaciones en el flujo de sus pedidos.

Forrester observó que las estructuras de retroalimentación y los retrasos en la información eran en gran medida el origen de estas variaciones. De esta observación fundamental, surgió el descubrimiento de lo que constituye el proceso de retroalimentación negativa autorreguladora. Aunque más adelante se tratará al respecto, el siguiente ejemplo permitirá comprender este proceso; un calentador de agua doméstico detecta el descenso de temperatura mediante un termostato y de inmediato trabaja para elevarla - hasta alcanzar la temperatura deseada (objetivo), dejando en este punto de trabajar hasta nuevo aviso de un descenso en la temperatura.

Para principios de los años 60, la nueva metodología conocida con el nombre de Dinámica Industrial, había alcanzado una mayor difusión y se obtenían buenos resultados. El objetivo de estudio de la Dinámica Industrial era precisamente la variación en el tiempo de la organización industrial, pues a medida que las -

organizaciones crecen se vuelven más complejas.

La misión de la Dinámica Industrial consistía en ayudar a la Dirección en la Toma de Decisiones pues la Dirección estaba ya en la etapa de transición de arte a ciencia.

Más tarde y debido al éxito alcanzado, su campo de aplicación se amplió a otros sistemas aparte de los industriales. Uno de los primeros fué el sistema urbano en donde se le denominó : "Dinámica Urbana". La aplicación más importante fué en el año de 1970, cuando el Club de Roma le solicitó a Forrester realizar un modelo que explicara el comportamiento de diferentes factores que afectan al mundo; tales como la sobrepoblación, los recursos naturales, etc. Los resultados así como el modelo obtenido fueron publicados por el propio Forrester en su libro titulado "Dinámica Mundial" (6).

Por los resultados observados, la Dinámica Industrial alcanzó una mayor difusión y su aplicación se extendió a otros sistemas sociales por lo cual cambió su nombre a DINAMICA DE SISTEMAS.

---

(6) Posteriormente fué retomado por Meadows para realizar su informe al Club de Roma, publicado con el título "Los límites del crecimiento".

## 1.6 CARACTERISTICAS

La Dinámica de Sistemas es una metodología usada principalmente para la construcción de modelos de sistemas sociales que combina tres aspectos:

- 1).- Técnicas tradicionales de Administración
- 2).- Teoría de retroalimentación en sistemas
- 3).- Uso de la simulación por computadora.

El aspecto de las técnicas administrativas tradicionales involucra la toma de decisiones en la que juega un papel muy importante el uso de modelos basados en la experiencia. La Dinámica de Sistemas permite incorporar en sus modelos la experiencia administrativa.

Del marco de la teoría de retroalimentación en sistemas, se obtienen las estructuras básicas que originan el comportamiento dinámico y que permiten describir la conducta real de los sistemas sociales (7).

---

(7) la teoría de retroalimentación nace a partir del estudio de los servomecanismos cuya característica principal es precisamente la retroalimentación de información.

El empleo de la computadora hace más fácil y eficiente el - manejo de información. Además, su alcance ha conseguido que se - desarrolle todo un cuerpo de disciplinas en torno a ella.

La Dinámica de Sistemas establece un amplio y cuidadoso análisis de los elementos que componen el sistema en estudio, muestra como el comportamiento dinámico del sistema se debe a su estructura de retroalimentación.

Su enfoque en términos de sistemas sociales, intenta describir los cambios que producen las fuerzas internas de un sistema a través del tiempo y como esas fuerzas se interrelacionan entre sí

Una característica, quizá la principal, es que la estructura de los modelos construidos con Dinámica de Sistemas no está previamente determinada, ya que es el propio constructor quien la - establece.

También es necesario destacar que los modelos son fácilmente comprensibles para cualquier persona porque se presentan en tres aspectos:

- 1).- Diagramas causales
- 2).- Diagramas Dynamo, y
- 3).- Matemáticamente mediante ecuaciones diferenciales.

El hecho de que sean precisamente ecuaciones diferenciales es porque éstas tienen cabida en casi la totalidad de los campos

de la ciencia y por tanto resultan apropiadas para el estudio de los sistemas en general.

La Dinámica de Sistemas pretende la construcción de modelos que sean dinámicos, complejos y capaces de predecir los resultados de decisiones varias a largo plazo. Es por esto que los problemas de que se ocupa la Dinámica de Sistemas tienen dos aspectos básicos en común:

- a).- son dinámicos, y
- b).- nacen en sistemas de retroalimentación.

El hecho de ser dinámico implica que un sistema contiene en su estructura, elementos que varían a través del tiempo, esto es que dentro del sistema son las interacciones de sus elementos las que dan origen al comportamiento dinámico. Y ya que uno de los objetivos de la Dinámica de Sistemas es la explicación global del comportamiento del sistema bajo estudio mediante el análisis e integración de sus interacciones elementales, resulta importante resaltar aquí la atención que debe prestarse a la estructura del mismo.

Para entender el comportamiento dinámico de un sistema, es necesario analizar los circuitos de acciones que se llevan a cabo en su interior (interacciones elementales); estas interacciones

son las que se conocen como circuitos de retroalimentación, éstos circuitos deben estudiarse en la totalidad del sistema ya que su análisis aislado no proporciona información suficiente acerca del comportamiento global del propio sistema.

La comprensión del comportamiento de la retroalimentación - resulta a veces algo vaga, pero también en ocasiones se intuye, pues en problemas reales, las estructuras de retroalimentación - son tan complejas que para comprender su evolución en el tiempo se requiere de la ayuda de la computadora.

Un circuito de retroalimentación basa su acción en el resultado de la acción anterior lo cual significa que la acción anterior controla la acción futura.

La siguiente figura muestra la estructura de un circuito de retroalimentación.

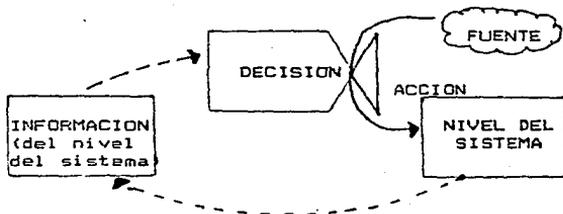


Figura 1.2.1 Estructura de un circuito de retroalimentación.

La información que se tiene en un momento es la base de la -  
decisión que se toma en ese momento para controlar el flujo de la  
acción, esta acción hará variar el nivel del sistema y la infor-  
mación que se tiene de él, volviendo al punto de tomar nuevamente  
la decisión.

El proceso es continuo y los nuevos resultados originan nue-  
vas decisiones lo que da al circuito un movimiento constante.

Ya se ha mencionado lo que son los circuitos de retroalimen-  
tación, falta decir que pueden ser de dos tipos:

- 1).- Positivos, y
- 2).- Negativos.

Son circuitos de retroalimentación positivos, aquellos que -  
amplifican sus desviaciones produciendo un crecimiento. En estos  
circuitos la variación inicial se refuerza.

Son circuitos de retroalimentación negativos, aquellos que -  
buscan una meta, tratando de negar cualquier desviación que los -  
aleje de ella.

En Dinámica de Sistemas para representar un circuito, se -  
utilizan dos clases de diagramas:

- Diagramas causales, y
- Diagramas Dynamo o diagramas de Forrester.

Los diagramas causales permiten conocer la estructura de un sistema dinámico; esta estructura está especificada por tres tipos de variables: endógenas, exógenas y excluidas (fig. 1.2.2).

Las variables endógenas son aquellas que forman parte del sistema considerado porque son afectadas por éste y a su vez también lo afectan directamente. El comportamiento de estos elementos está determinado únicamente por la estructura del sistema sin intervención externa.

Las variables exógenas por el contrario, son aquellos elementos del sistema que pueden ser afectados desde el exterior; corresponden al medio ambiente en que se desarrolla el sistema.

Las variables excluidas son todos aquellos factores que no se interrelacionan de ninguna forma con el sistema.

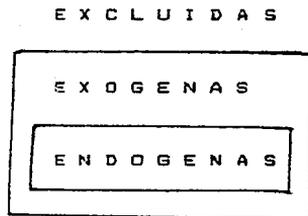


Fig. 1.2.2 Variables de un sistema

Los diagramas causales definen ligas entre los elementos y - de acuerdo a sus relaciones, se tienen ligas positivas y ligas - negativas como lo muestran las siguientes figuras:

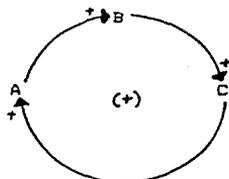


Fig. 1.2.3: Circuito positivo

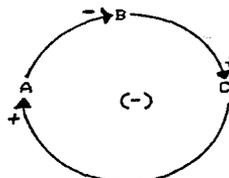


Fig. 1.2.4: Circuito negativo

#### EXPLICACION:

A -----> B

Una liga es positiva si:

- a) Un incremento en A causa un incremento en B y un decremento en A causa un decremento en B.
- b) A le suma algo a B.

A -----> B

Una liga es negativa si:

- a) Un incremento en A causa un decremento en B y un decremento en A causa un incremento en B.
- b) A le resta algo a B.

Si un circuito posee solo ligas positivas o si el número de ligas negativas es par, el circuito es positivo; si el circuito tiene solo ligas negativas o el número de ellas es impar, el circuito es negativo.

El siguiente diagrama contiene dos circuitos de retroalimentación, uno positivo entre los elementos A y D, y otro negativo entre los elementos A, B, C y D.

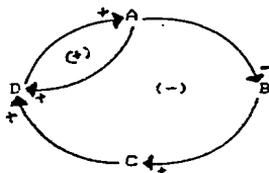


Fig. 1.2.5: Circuitos de ligas causales

Los diagramas Forrester también llamados de TASA/NIVEL, representan a cada elemento mediante variables clasificadas por su función dentro del circuito en tres grupos:

- 1).- Variables de Nivel
- 2).- Variables de Tasa, y
- 3).- Variables Auxiliares.

Las variables de nivel representan cantidades que acumulan - resultados de acciones pasadas. Los niveles son los que determinan la situación futura del sistema.

Las variables de tasa o variables de flujo son las que fijan los términos de las variables en los niveles, representan las -

acciones que se toman. A cada nivel se le asocia un flujo de entrada y otro de salida.

Las variables auxiliares representan partes en que se separan las variables de flujo. Tienen un significado propio que ayuda a que puedan entenderse más claramente las ecuaciones.



Fig. 1.2.6: Símbolos de variables

Los diagramas Forrester son de hecho modelos matemáticos ya que se representan mediante gráficas, éstas detallan el comportamiento del sistema en estudio.

Lo anterior es importante ya que en el caso de sistemas simples, la causa y el efecto se pueden encontrar cercanos en tiempo y espacio lo cual no ocurre en sistemas complejos como los sociales. En ellos la causa y el efecto se encuentran alejados tanto en el tiempo como en el espacio.

Por ello es necesario contar con una metodología enfocada a resolver problemas de sistemas con esas características. Así, la

aplicación de la Dinámica de Sistemas nos lleva a establecer que la causa de este tipo de problemas no se encuentra solo en acciones pasadas, sino en la propia estructura del sistema.

Pero lo principal es que el comportamiento de un sistema no tiene que resultar inesperado y solo conformarse con tratar de corregir sus efectos; ahora mediante un análisis con Dinámica de Sistemas puede preverse tal comportamiento y además es posible - corregir aquellas desviaciones que lo alejen del resultado deseado.

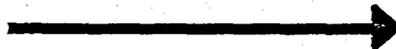
### 1.3 FASES

El proceso de desarrollo de modelos en la Dinámica de Sistemas contempla las siguientes fases:

- 1).- Definición del problema
- 2).- Conceptualización del sistema
- 3).- Formulación del modelo
- 4).- Simulación
- 5).- Análisis de políticas

Tradicionalmente el camino que sigue la dirección para la implementación de políticas es:

COMPRESION  
DEL SISTEMA



IMPLEMENTACION  
DE POLITICAS

Para la Dinámica de Sistemas en cambio, la implementación de políticas es la fase final de una serie de pasos que se realizan y retroalimentan entre sí. La figura 1.3.1 muestra cada etapa y interrelación con las demás.

La construcción de un modelo no implica el paso progresivo - de una etapa a otra, sino es más bien iterativo, ya que se pasa de una etapa a otra sin un orden especial, cuantas veces sea ne-

cesario para lograr un modelo lo más cercano a la realidad.

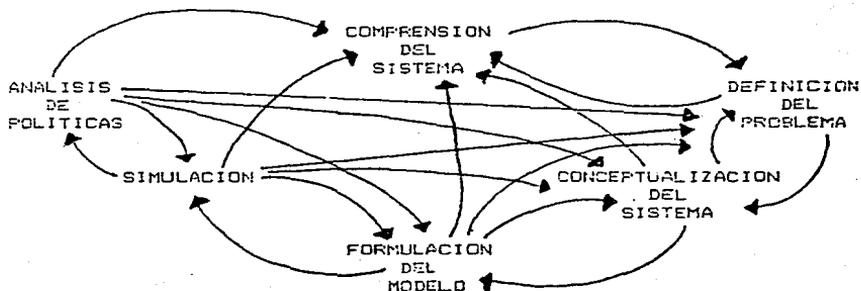


Fig. 1.3.1: Fases de la Dinámica de Sistemas

#### 1).- DEFINICION DEL PROBLEMA

El primer paso para desarrollar el modelo de un sistema y atacar un problema, es definir tal problema.

Es necesario definir con precisión las variables que intervienen en el problema, familiarizarse con ellas, inundarse de la literatura al respecto, antecedentes, opiniones, de tal manera que sea posible entender claramente todos los aspectos del problema.

De igual manera es importante comprender el medio ambiente -

del sistema ya que no solo es algo que el propio sistema no puede controlar sino que además influye fuertemente en su comportamiento.

En esta fase se construyen gráficas que muestren el comportamiento percibido de las principales variables. Estas gráficas son la base para comparar los resultados del modelo, se conocen con el nombre de **MODOS DE REFERENCIA**.

En esta etapa también deben determinarse los objetivos que se persiguen con el análisis del problema, estos mismos objetivos deben ser congruentes con los propósitos del modelo que también son fijados en esta fase.

Para el manejo de la gran cantidad de información que genera un sistema complejo, es necesario organizar los datos más relevantes que se requieren para proceder en el análisis sin perder precisión.

El planteamiento de un problema requiere que se identifique el estado actual (situación problemática), para lo cual es necesario describir ampliamente el sistema, sus interrelaciones y los intercambios de todo tipo que realiza con su medio ambiente.

Con lo anterior se persigue el tener una percepción lo más - apegada a la realidad, puesto que para resolver un problema real se necesitan conocimientos y criterios reales.

## 2).- CONCEPTUALIZACION DEL SISTEMA

Después de familiarizarse con el problema, se procede a describirlo de manera concisa auxiliándose del conocimiento acerca de las estructuras básicas de los sistemas dinámicos, con esto se logra establecer las características del comportamiento del sistema en estudio; de tal manera que pueda determinarse su estructura.

A partir de este momento se puede ir identificando cada elemento del sistema y señalar las variables endógenas, exógenas y excluidas para determinar los límites del sistema.

Cuando ya se tienen definidas las fronteras del sistema, se puede iniciar la identificación de los elementos e interrelaciones dentro del mismo y con ello es posible establecer los circuitos de retroalimentación que originan el comportamiento dinámico del sistema.

Posteriormente y haciendo uso de los diagramas causales se procede a representar los circuitos de retroalimentación ya identificados y que sirven de punto de partida para la etapa siguiente.

### 3).- FORMULACION DEL MODELO

Formular el modelo significa interpretar su estructura en términos de ecuaciones matemáticas, puede así mismo considerarse que el modelo conceptual del que se parte (modelo informal) se transforma en un modelo formal (de representación cuantitativa).

La intención que la formulación del modelo persigue, es lograr que sea posible someterlo a una simulación para determinar su comportamiento dinámico. Sin embargo, no es solamente el paso técnico intermedio entre la conceptualización del sistema y la simulación; es una etapa que aunque brinda un modelo mucho más preciso le es necesario llevar a cabo una interpretación de un modelo informal dado -en este caso de ligas causales-, que contiene ambigüedades y desde luego aunque el modelo formal sea más preciso no es exactamente una representación cien por ciento fiel de la realidad.

Se necesita precisión y claridad de pensamiento para poder comprender la estructura del sistema modelado, de tal forma que al elaborar las ecuaciones pertinentes presenten el orden adecuado para que la computadora arroje resultados que no sean confusos

A partir del diagrama causal realizado en la fase anterior se elabora un nuevo diagrama llamado diagrama de Forrester o dia-

grama Tasa/Nivel que lleva asociada una ecuación matemática para cada bloque y que colocadas en su orden correcto están listas para ser introducidas en la computadora ( en el caso del compilador Dynamo, no es necesario ordenar las ecuaciones ). En este momento se deben asignar los valores a los parámetros que intervienen en el modelo.

Del proceso de modelado se deriva un mayor conocimiento del sistema y en un momento dado, brinda la posibilidad de aumentar la complejidad del modelo.

Un buen ejemplo de esto es el que dan los autores Gerez y - Grijalva, en donde se aprecia simultáneamente como al avanzar en la formulación del modelo se avanza también en el conocimiento del sistema modelado. (8)

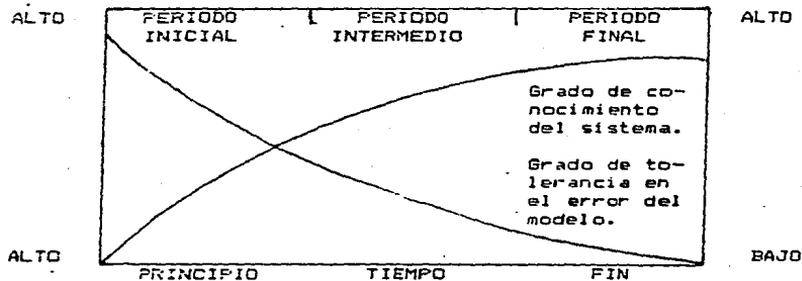


Fig. 1.3.2 Evolución en la construcción de modelos

(8) Gerez V., Grijalva M., El Enfoque de Sistemas, Ed. Limusa, México, 1980, pag. 133.

#### 4).- SIMULACION

Para comprender el comportamiento del sistema modelado, es necesario someter su representación o modelo a diferentes acciones paso a paso, a este proceso se le denomina **SIMULACION**.

Para efecto de la simulación de sistemas dinámicos, se hace uso de la computadora ya que otra manera resultaría difícil seguir la evolución a través del tiempo de las interrelaciones de un sistema dinámico.

La simulación permite someter al modelo a la variación de los valores de sus parámetros, de sus períodos de simulación, sus intervalos, etc., repitiendo una y otra vez el proceso hasta llegar a obtener un comportamiento análogo al del sistema real.

Lo anterior permite experimentar fácilmente los efectos de los cambios en los valores, la supresión o agregación de variables, comparaciones, etc. a costos relativamente bajos.

La simulación con DYNAMO arroja los resultados tanto en tablas numéricas como en gráficas que contienen los valores de las diferentes variables a través del tiempo.

## 5).- ANALISIS DE POLITICAS

El modelo formulado se ha corrido o probado sobre las bases en que fué construido, en esta fase se analiza el resultado obtenido y se procede a ensayar posibles variaciones.

Ya en la definición del problema se determinó el objetivo del modelo y el estado que se desea alcance el sistema. Ahora se está en disposición de "jugar" con el modelo, variando las diferentes políticas alternativas, estudiando el cambio de variables etc., con todo esto se pretende:

a).- Obtener el conocimiento suficiente acerca del probable comportamiento del sistema real y elaborar recomendaciones al respecto.

b).- Llegar a través de las variaciones de las políticas alternativas a conseguir el comportamiento que se desea tenga el sistema real y de esta manera aumentar la seguridad de una determinada actuación futura.

Cada análisis sucesivo conduce a un perfeccionamiento del modelo y tal vez a replantear el problema hasta lograr una representación de la realidad lo más fiel posible

## 2. ESTRUCTURAS BÁSICAS DE LOS MODELOS CONSTRUIDOS CON DINAMICA DE SISTEMAS.

### 2.1 SISTEMAS DE PRIMER ORDEN

Al construir modelos de sistemas sociales pueden encontrarse estructuras que posean un solo nivel (variable de nivel), a estas estructuras se les denomina **SISTEMAS DE PRIMER ORDEN**.

Los sistemas de primer orden tendrán retroalimentación negativa si están asociados a procesos autorreguladores y, tendrán retroalimentación positiva si los caracterizan procesos de crecimiento.

#### **SISTEMAS DE PRIMER ORDEN CON RETROALIMENTACION NEGATIVA**

La presencia de retroalimentación negativa implica la existencia de un objetivo, por lo que a los sistemas de este tipo se les denomina también de **AUTORREGULACION** ó **HOMEOSTATICOS**.

La estructura de un sistema de primer orden con retroalimentación negativa se puede determinar con cuatro elementos característicos de la misma:

- a).- El objetivo
- b).- El nivel
- c).- La discrepancia, y

d).- La acción.

El objetivo es una variable exógena ya que es determinada fuera del sistema, el nivel o estado del sistema es donde se acumulan las acciones anteriores y solo puede ser alterado por el flujo de una acción, la discrepancia es el error que existe entre el objetivo deseado y el estado real del sistema.

Para representación de lo anterior puede usarse un diagrama Forrester como el siguiente:

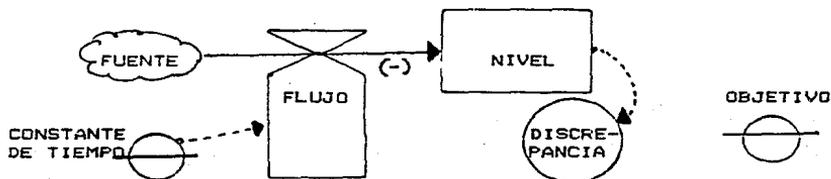


FIG 2.1.1 Diagrama Forrester de un sistema de primer orden de la regulación de su nivel en relación a un objetivo.

El comportamiento general de un sistema lineal de primer orden con retroalimentación negativa tiene la forma de la gráfica de la figura 2.1.2. (9)

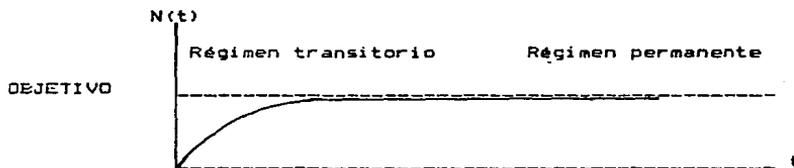


Fig. 2.1.2 Comportamiento del nivel de un sistema lineal de primer orden con retroalimentación negativa

La evolución del nivel ( $N$ ) en el tiempo ( $t$ ), está determinada por la existencia de un objetivo. En la figura anterior se distinguen dos zonas: la de régimen transitorio mientras se busca alcanzar el objetivo y la de régimen permanente que se pretende mantener una vez alcanzado el mismo.

Todo esto es considerando que el sistema tiene un comportamiento lineal, lo que significa que la acción (flujo) es proporcional al error; sin embargo la mayoría de los sistemas sociales no presentan este comportamiento, sino que son sistemas no lineales y la gráfica que los representaría tendrá una forma también no lineal como la siguiente: (10)

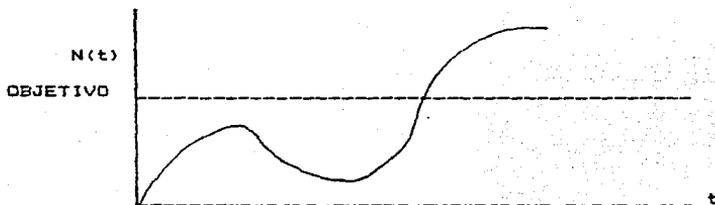


Fig. 2.1.3 Evolución del nivel de un sistema no lineal de primer orden con retroalimentación negativa.

En el proceso de toma de decisiones la retroalimentación negativa implica un signo inverso, es decir, la meta deseada menos el estado real del sistema.

---

(9) y (10) Aracil Javier, Introducción a la Dinámica de Sistemas Ed. Alianza, Madrid 1978, pags. 91 y 95.

### SISTEMAS DE PRIMER ORDEN CON RETROALIMENTACION POSITIVA

Cuando se habló de los sistemas con retroalimentación positiva, se mencionó que son aquellos que implican un proceso de crecimiento ya que amplifican sus desviaciones.

Los sistemas con retroalimentación positiva no tienen un objetivo que alcanzar y mantener. La figura 2.1.4 ilustra con un diagrama de Forrester un sistema de este tipo.

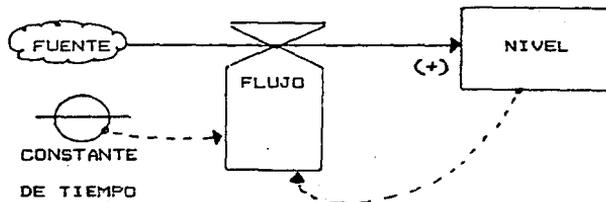


Fig. 2.1.4 Diagrama Forrester de un sistema de primer orden con retroalimentación positiva.

En este diagrama se observa que la información del flujo que alimenta positivamente al nivel hace que éste aumente, lo que a su vez incrementa el flujo, y así sucesivamente.

Este proceso produce un crecimiento de tipo exponencial ya que precisamente como se dijo antes, no hay un objetivo que perseguir y por tanto no hay un estado deseado que mantener.

La trayectoria del nivel de un sistema lineal de primer orden con retroalimentación positiva es la que se muestra a continuación:

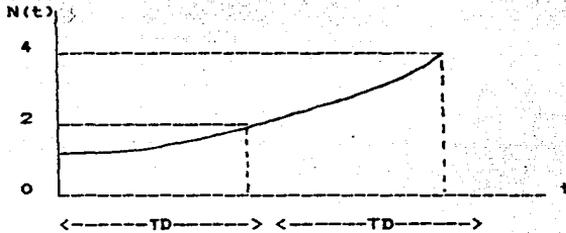


Fig. 2.1.5 Comportamiento de un sistema lineal de primer orden con retroalimentación positiva.

El crecimiento exponencial tiene un tiempo de duplicación - (TD), esto es, el tiempo en que el nivel se duplica.

Los sistemas de primer orden tienen un tiempo de respuesta - que se aproxima a su valor final sin oscilaciones. Lo anterior se debe a que su estructura tiene solo un nivel por lo que no existe ningún retraso en el flujo de la información o en los flujos materiales.

## 2.2 SISTEMAS DE SEGUNDO ORDEN

Los sistemas de segundo orden son aquellos que en su estructura poseen dos variables de nivel.

A diferencia de los sistemas de primer orden, la existencia de una segunda variable de nivel da al circuito de retroalimentación un comportamiento oscilante. Esto sucede porque existe un retraso del flujo de información o en el flujo material al pasar de un nivel a otro.

Estos sistemas básicamente contienen 3 circuitos de retroalimentación: uno principal y dos secundarios.

Cada circuito secundario une a cada nivel consigo mismo y el circuito principal une a los dos niveles.

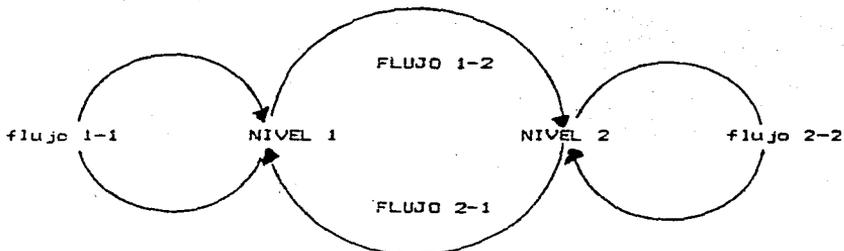


Fig. 2.2.1 Diagrama causal de un sistema de segundo orden.

Dependiendo de que las primeras partes sean positivas o nega-

tivas, el comportamiento total del sistema puede ser de crecimiento o de decrecimiento.

La presencia de oscilaciones se amplifica o se atenúa a través del tiempo, esto es porque la evolución de los sistemas produce que los retrasos en la transmisión del flujo de la información o de los flujos materiales requiera el transcurso de cierto período de tiempo.

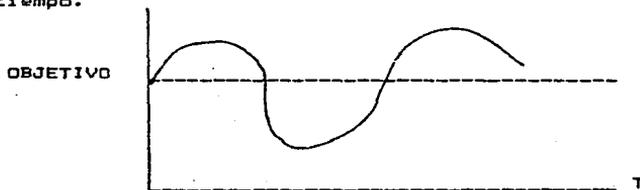


Fig. 2.2.2 Caracter oscilatorio de la respuesta de un sistema de segundo orden.

### 3. ALGUNAS NOTAS SOBRE EL COMPILADOR DYNAMO

El compilador Dynamo es un programa de computadora que traduce y ejecuta ecuaciones diferenciales que han sido escritas para modelos de sistemas dinámicos de retroalimentación y que produce como salida tablas numéricas y planos gráficos de la simulación resultante.

Dynamo fue diseñado en el año de 1958 por el grupo de Dinámica Industrial de la Sloan School of Management, del Instituto Tecnológico de Massachusetts. Estaba enfocado a la Ingeniería Industrial para una computadora IBM-704; su nombre resulta de las palabras: **DYN**amic **M**odels.

- En 1959 aparece por primera vez como paquete.
- En 1962, Forrester lo modifica para accederlo en tiempo compartido.
- En 1965, vuelve a ser modificado para operar con lenguaje Algol.
- Actualmente el compilador se encuentra ampliamente difundido, ha sido adaptado a varios tipos de computadoras y ha dado paso a las versiones II y III, así como a la versión para microcomputadora.

Dynamo realiza varias tareas:

- 1).- Detecta los errores lógicos de las ecuaciones y los imprime  
Por ejemplo, las cantidades deben definirse una sola vez, las funciones especiales deben contener los argumentos correctos para definir la función, las instrucciones propias de control deben incluirse, etc.
- 2).- Reordena las ecuaciones y permite fácilmente introducir modificaciones en el modelo.
- 3).- Compila y realiza la simulación.

La escritura de ecuaciones en Dynamo es como sigue:

<u>TIPO DE ECUACION</u> -----	<u>SIMBOLO</u>
Nivel	L
Tasa	R
Auxiliar	A
Valor Inicial	N
Constante	C
Tabla	T
Suplementaria	S

Los nombres de variables y constantes no deben ser mayores - de seis caracteres y deben empezar con letra.

Dynamo permite colocar comentarios con la instrucción NOTE,

además pueden crearse subrutinas llamadas MACROS.

Dynamo es una buena herramienta para la simulación de sistemas dinámicos y en comparación con otros paquetes simulatorios, las salidas que proporciona tienen mejor presentación y son muy fáciles de comprender, por lo que se ha multiplicado su uso en áreas como: Biología, Economía, Bioingeniería, Educación y otras más.

## C A P I T U L O   I I I

APLICACION DE LA DINAMICA DE SISTEMAS A UN PROBLEMA ADMINISTRATIVO (CON APOYO DEL COMPILADOR DYNAMO).

### 1. IDENTIFICACION Y DEFINICION DEL PROBLEMA

#### 1.1 CONTEXTO

El problema se presenta en una empresa dedicada a la distribución de textiles. Consiste en determinar la causa de la demora en el despacho de los pedidos de los clientes de la distribuidora

Como puede suponerse, para tal negocio, el punto de principal preocupación es la rápida entrega de las órdenes de clientes, por lo que trata constantemente de adecuar éstas con sus propios pedidos a proveedores a lo largo del año en que se presentan distintos ciclos de venta.

Estos ciclos se deben a que la venta de telas es variable, - lo que hace que la cantidad de pedidos que los clientes realizan fluctúe, pero estos aumentos o disminuciones de pedidos se transforman en grandes fluctuaciones en los propios pedidos que la em-

a su vez hace a sus proveedores y que retrasan el oportuno despacho de los que fueron colocados por sus clientes.

Tales fluctuaciones hacen variar disparadamente sus inventarios, por lo que en ocasiones no dispone de cantidad suficiente para el surtido y en otras por el contrario, se satura de artículos.

Se trata pues, de identificar cuales son las causas de estas variaciones, mismas que están frenando el correcto despacho de pedidos y así mismo determinar como influye la variación de determinadas políticas en el sistema. La descripción de la estructura y los detalles del sistema darán la pauta para comprender mejor el problema y determinar el modo o modos de comportamiento.

La empresa tiene su lugar de operación en el Distrito Federal (plaza) y su mercado abarca tanto el mismo Distrito Federal como las principales ciudades de los estados de la República. Está compuesto principalmente por dos tipos de clientes:

- 1).- Minoristas que venden directo al público, y
- 2).- Confeccionistas.

El mercado está altamente competido por lo que la empresa se esfuerza en mantener una buena calidad en sus artículos así como un mejor servicio en el despacho de los pedidos de sus clientes. Con este propósito, debe acelerar el proceso por el cual pasa to-

todo pedido y al mismo tiempo procurar mantener un nivel adecuado de artículos en su inventario, mismo que le permita surtir órdenes sin demora pero al mismo tiempo sin saturarse.

El proceso que sigue todo pedido hecho a la distribuidora para su despacho es el siguiente:

- a).- Hacer llegar la forma de pedido codificada correctamente por el representante (agente vendedor) al departamento de ventas. En el caso de representantes foráneos, tales pedidos son enviados por servicio de paquetería de las distintas líneas de autobuses que llegan procedentes del lugar donde se encuentran operando.
- b).- Revisión de las claves de artículos, precios y colores en el mismo departamento de ventas, donde se cuenta con terminales de computadora para ser capturado y emitido en una forma en que pueda ser procesado.
- c).- Una vez que se ha procesado el pedido por computadora, se hace llegar al departamento de crédito para su aprobación o rechazo (para los pedidos de contado, esto no es necesario).
- d).- Los pedidos aprobados son transferidos al almacén para su surtido, empaque y envío.

Para conformar un conocimiento más amplio del sistema, también deben describirse las políticas de inventarios, de compras y

de envíos, así como los retrasos en cada etapa.

El diagrama de la figura 1.1.1 muestra el flujo de los pedidos y las demoras en días al pasar de una etapa a otra.

Para los clientes de la distribuidora, la entrega de sus pedidos tarda un tiempo promedio de tres días cuando éstos se localizan en su misma plaza (D.F.); en cuanto a los foráneos, el promedio de tiempo es de catorce días pudiendo aumentar o disminuir ya que los ocho días marcados en el transcurso de la transportación es mayor o menor, dependiendo de que tan lejos esté el lugar de destino.

La empresa no solo vende artículos de línea -los que están a la venta todo el año-, sino también artículos de temporada -o moda-, pero la mejora en el despacho de pedidos incluye solo a los artículos de línea. Los artículos de temporada no se incluyen por que la colocación de pedidos de estos artículos a los proveedores no es constante.

Con estos artículos en cuanto a su adquisición, la empresa -los compra ya terminados o en ocasiones envía sus propios crudos para maquila a diversos acabados; en el primer caso necesita 15 días para tenerlos en su almacén y en el segundo, requiere de 25 días para que le sean entregados, pero en ambas situaciones solo requiere una cantidad única de metros, por lo que una vez que se agote no los volvera a tener en existencia pues en su lugar habrá siempre nuevos artículos.

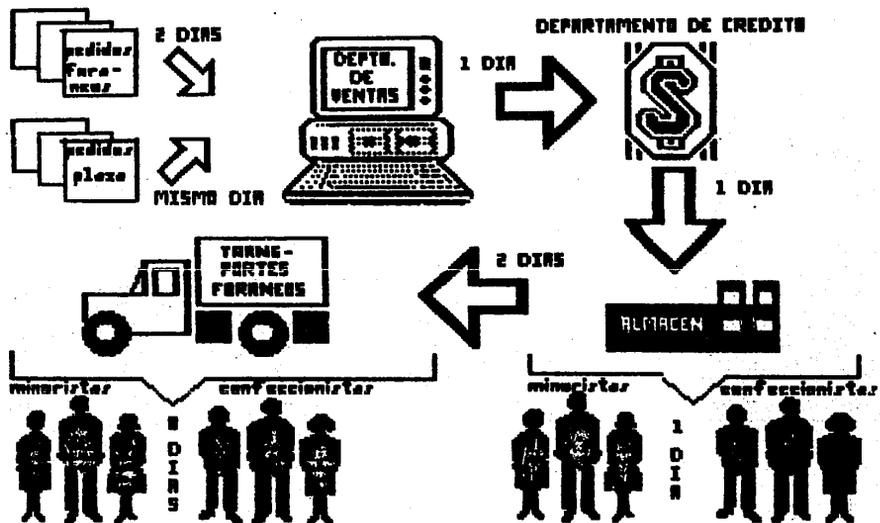


Fig. 2.3.1 Diagrama de flujo de las pedidos y sus demoras

Excepcionalmente, es posible que algunos de los artículos de temporada sea repetido una o más veces de acuerdo a la demanda, pero esto no los hace formar parte de los artículos básicos de su línea de ventas.

En el caso de las mercancías de línea, se pueden clasificar en 3 grupos:

- 1).- Artículos a base de acetato, de los que se deben mantener en inventario un promedio de 12,000 metros.
- 2).- Artículos en 100% nylon (lisos y estampados), de los cuales se procura mantener 30,000 metros en promedio en sus tres - clases.

El tiempo de entrega de la mercancía por parte de los proveedores a la distribuidora, se calcula alrededor de dos semanas después de que ésta coloca un pedido.

Para el mantenimiento de sus inventarios, la empresa sigue ciertas políticas que le ayudan a determinar cuando elaborar un nuevo pedido a sus proveedores y éstas son las siguientes:

- a).- Se coloca una orden de compra para reponer mercancía vendida
- b).- Se coloca un orden de compra para satisfacer programaciones periódicas.

## 1.2 MODOS DE REFERENCIA

Hasta el momento se tiene la descripción general del sistema en cuestión. En esta parte se obtendrán algunas gráficas del estado actual de las variables más significativas del sistema y que servirán como punto de comparación.

Estas gráficas que van a brindar una pauta en el desarrollo del modelo, son los llamados TIPOS o MODOS DE REFERENCIA. (ver - gráficas 1, 2 y 3).

Para su obtención se toman como muestra los valores de las siguientes variables:

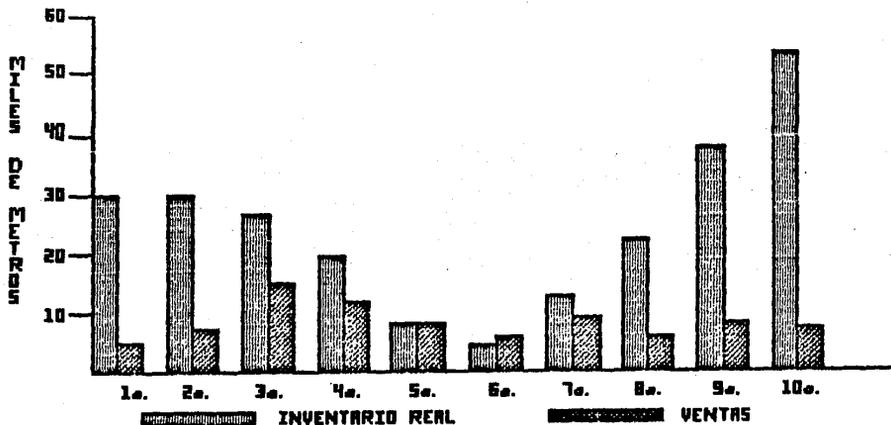
- Inventario real
- Ventas efectivas
- Pedidos pendientes
- Pedidos despachados
- Cancelaciones, y
- Devoluciones

La muestra consiste de diez semanas sucesivas y las unidades son metros/semana.

Los pedidos que se hacen a proveedores se denotan como ORDENES, los que son hechos por los clientes, simplemente como PEDIDOS.

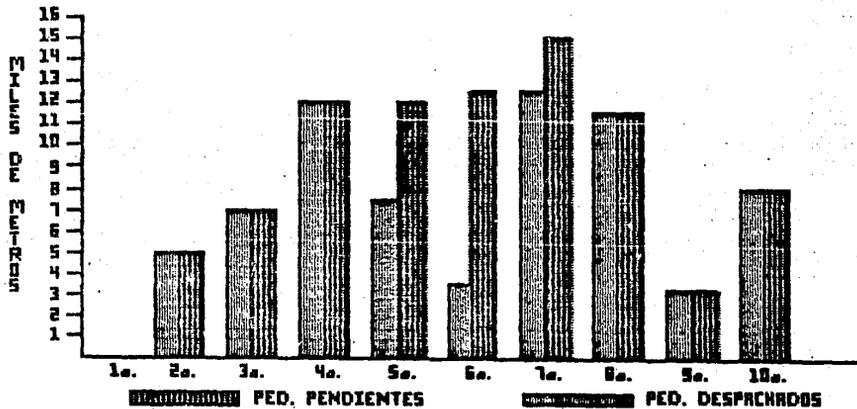
# ARTICULOS DE NYLON ADEREZADO ( CIFRAS SEMANALES )

GRAFICA No. 1



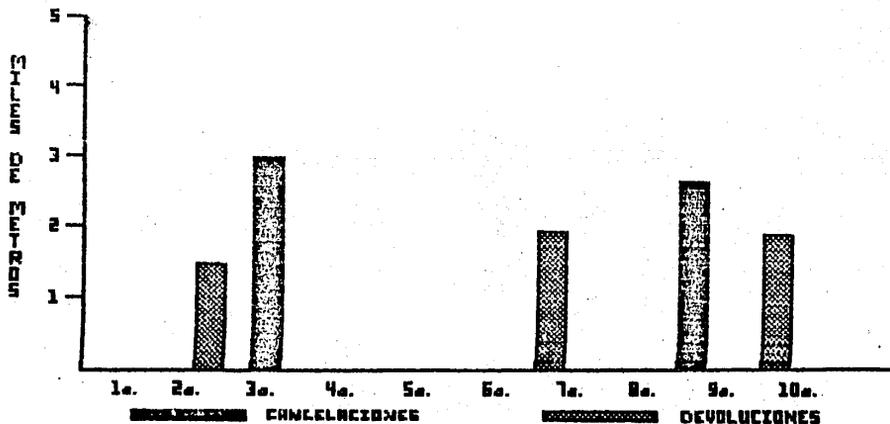
# ARTICULOS DE NYLON ADEREZADO ( CIFRAS SEMANALES )

GRAFICA No. 2



# ARTICULOS DE NYLON ADEREZADO ( CIFRAS SEMANALES )

GRAFICA No. 3



### 1.3 PROPOSITO DEL MODELO

Ya al determinar el contexto del problema se dijo que se iba a tratar de identificar las causas de las variaciones en la colocación de las órdenes a proveedores por parte de la empresa con el fin de que se pueda establecer el criterio a seguir para mantener un inventario suficiente que le permita un satisfactorio surtido de los pedidos de sus clientes, pero sin que llegue a ser excesivo para no incrementar sus costos. Así, con esto será posible el establecimiento de políticas que conlleven al sistema a un mejor desempeño.

Ampliando lo anterior, se puede establecer cual es el propósito que se pretende cumplir con el modelo a desarrollar.

El modelo, que será la representación de un sistema existente, buscará emular las condiciones de operación reales del sistema, para fines del siguiente análisis:

Se desea representar y estudiar el comportamiento real del sistema para probar políticas alternativas que permitan obtener un comportamiento deseado.

La importancia del modelo radicará en la sintetización de las características fundamentales de los procesos del sistema, en un intento de reproducir el comportamiento real de éste y que perm-

tirá la variación de políticas internas, lo que a su vez mostrará distintos horizontes en su posible comportamiento.

Ya que el tomar una decisión implica elegir entre varias alternativas, el hecho de poder adoptar aquella o aquellas que van a derivar en el mejor resultado, es algo que siempre se ha tratado de lograr. Y tanto la experiencia como la intuición no son objetivamente fiables.

El conocimiento previo de los posibles resultados evita el incurrir en errores que pueden resultar muy costosos para el sistema. El modelo permitirá escoger la acción que mejor se ajuste al cumplimiento de los objetivos del mismo, con lo que se pretende elaborar recomendaciones para el desempeño futuro del sistema.

Por tanto, la hipótesis sobre la que se construirá el modelo es:

**EL MANTENIMIENTO DE UN INVENTARIO BASADO ÚNICAMENTE EN LA POLÍTICA DE COLOCACION DE ORDENES A PROVEEDORES TOMANDO EN CUENTA SOLO LA REPOSICION DE LO VENDIDO, NO ES SATISFACTORIO PARA CONSERVAR UN STOCK DESEADO.**

Más adelante se podrá comprobar positiva o negativamente la hipótesis anterior, por ahora se ha dejado claro cual es el propósito que se desea alcanzar con el desarrollo del modelo, así como la propia hipótesis sobre la que descansa.

## 2. CONCEPTUALIZACION DEL SISTEMA

### 2.1 FRONTERA DEL SISTEMA

El sistema real es amplio y por lo mismo complicado, ya en el contexto puede darse una cuenta de los numerosos aspectos que participan en él.

Más sin embargo, el área del problema es más pequeña y es precisamente ésta la que debe ser objeto de atención.

Para poder configurar el modelo, se determinará el límite o frontera hasta donde abarcará y que incluirá aquellas variables que tienen una fuerte interacción entre sí y que determinan las relaciones de causa y efecto del sistema.

El área del problema se ha detectado ya en la parte de los pedidos y su proceso con el inventario y con las órdenes que se colocan a proveedores, aunque desde luego hay variables que afectan determinadamente al sistema y que no se consideran, esto es porque su influencia es externa, como en el caso específico de la DEMANDA, que no puede ser controlada internamente.

Este tipo de variables se excluyen del Área delimitada ya que corresponden a aspectos exógenos aunque se indique su participación.

El sistema se limita entonces al aspecto del inventario y sus relaciones con los pedidos de clientes y las órdenes hechas a proveedores.

El aspecto que presentará el sistema puede apreciarse en el punto 3 de este capítulo y que corresponde a la formulación del modelo del mismo.

La frontera marcada para el sistema, deja dentro los componentes principales y necesarios para poder emular el comportamiento que es de interés.

Con esto se intenta establecer que la perturbación o problema se genera en el interior de estos límites y no es causada por factores externos; desde luego esto no significa que el sistema esté aislado de influencias externas, ya que como se mencionó antes, si las hay, pero no son condicionantes en el comportamiento propio del sistema ya que entonces, formarían parte de él.

## 2.2 ESTRUCTURA DE RETROALIMENTACION

La estructura de retroalimentación, la principal, se encuentra en la parte correspondiente al inventario. Para la representación de esta estructura se partirá del planteamiento más simple y adicionando poco a poco los demás elementos se conseguirá tener la estructura completa que se mostrará al elaborar el modelo.

Como se detalló en el punto referente al contexto, la política de colocación de órdenes a proveedores indica que éstas se elaboran y colocan para reponer mercancía vendida o para cubrir programaciones hechas con anterioridad. En cuanto a la cantidad de ventas, está en función de la demanda y se da sin que la empresa pueda manipularla ya que la situación del mercado es en la actualidad inestable.

La siguiente figura muestra en una forma simple y concreta - la estructura de retroalimentación del sistema:

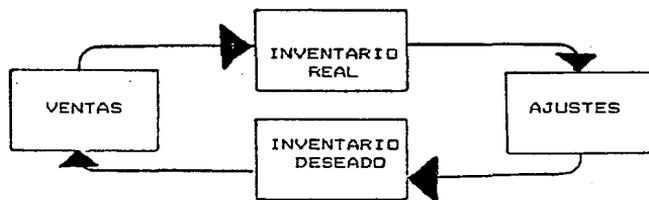


Fig. 2.2.1 Estructura simple de retroalimentación del sistema.

En la figura se observa como el elemento de máximo interés - es precisamente el control del inventario. El inventario real debe someterse a determinados ajustes para lograr un inventario deseado, es decir un nivel satisfactorio que pueda surtir adecuadamente los pedidos hechos por los clientes en el tiempo y cantidad esperada, el volumen de las ventas determinará a su vez el nivel del inventario real y así sucesivamente.

Estas interacciones son las que conforman la estructura del sistema y su dinámica es la que determina su comportamiento ya que las variaciones que en ella acontecen son el resultado de las mismas interacciones.

## 3. FORMULACION DEL MODELO

### 3.1 DIAGRAMA CAUSAL

Una vez descrita la estructura del sistema, se está en posibilidad de establecer las relaciones que existen entre cada uno de los elementos que forman parte de ella.

El esquema que a continuación se presenta es el diagrama de las relaciones que ligan a los elementos entre sí, en una forma de causa y efecto. No contiene información de tipo cuantitativo, solo es una representación esquemática que establece cadenas cerradas de las relaciones de influencia CAUSA-EFECTO, también llamadas Circuitos de Retroalimentación.

Las relaciones que presenta el diagrama son las mismas que fueron descritas en puntos anteriores, la entrada y salida de artículos al inventario y los diferentes elementos que se entremezclan para configurar la estructura del sistema.

Todos estos elementos son el resultado del análisis presentado en el punto 1.1 de este capítulo. De los elementos ahí mencionados, existe uno que no se presenta en el diagrama causal de la siguiente figura, es el que se refiere a las PROGRAMACIONES.

La justificación a esto es que cuando se reciben pedidos que

serán surtidos programadamente la empresa a su vez, coloca órdenes a sus proveedores para surtir tales programaciones, pero estos artículos que recibe no afectan su inventario; pues tal como los recibe los hace llegar a sus clientes que se los solicitaron.

Actúa como mero intermediario al respecto y la estructura de sus procesos no se ve afectada.

El diagrama causal presenta dos circuitos de retroalimentación principales. Por una parte un circuito de retroalimentación negativa que busca el equilibrio tratando de alcanzar un objetivo y por otro, un circuito de retroalimentación positiva que lo hace crecer.

Para fines del modelo, solo se tratara uno de los tres artículos de línea de la empresa, éste será el NYLON ADEREZADO o TUL.

El mismo modelo puede ser aplicado a cualquiera de los otros dos artículos, bastará solo con sustituir los datos del inventario, ventas, devoluciones, cancelaciones, etc. Por ello se tratará un solo artículo, mismo que servirá como base para los otros dos restantes.



La figura 3.1.2 muestra el inicio del primer circuito que - corresponde al inicio del flujo material de artículos que alimentarán al inventario.

Esta parte del circuito explica la decisión de colocar órdenes a los proveedores solicitando artículos para reponer lo que ha salido del inventario.

Tal decisión está dada precisamente por la discrepancia entre el objetivo (INVENTARIO DESEADO) y lo que se tenga en ese momento en existencia (INVENTARIO REAL), todo ello dividido por el tiempo de ajuste del inventario, o tiempo que se requeriría para corregir el inventario si el flujo de órdenes se mantuviera constante.

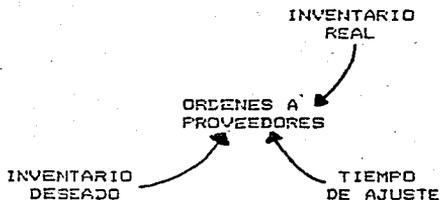


Figura 3.1.2 Colocación de órdenes a proveedores

El inventario deseado es la meta que pretende alcanzarse, - por lo que las órdenes se estarán colocando mientras la cantidad de inventario real esté por debajo del inventario deseado.

El circuito completo se muestra en la figura 3.1.3 y en él se aprecia que una vez colocadas las órdenes a proveedores, éstas pueden acumularse y tal acumulación está representada por la variable "ORDENES EN PROCESO", mismas que cuando están listas se transforman en una "SALIDA DE ORDENES", cuando están en camino a su destino se vuelven "ORDENES PARA ENTREGA".

Este circuito se completa con el flujo de artículos que aumentan directamente el inventario real y que está representado por la variable "ENTRADA DE ARTICULOS" y por la variable "DEVOLUCIONES", ambas aumentan físicamente el inventario; desde luego que solo se toman las devoluciones de artículos en estado comercial, es decir sin defectos, ya que en caso contrario se regresan directamente al proveedor sin afectar el inventario.

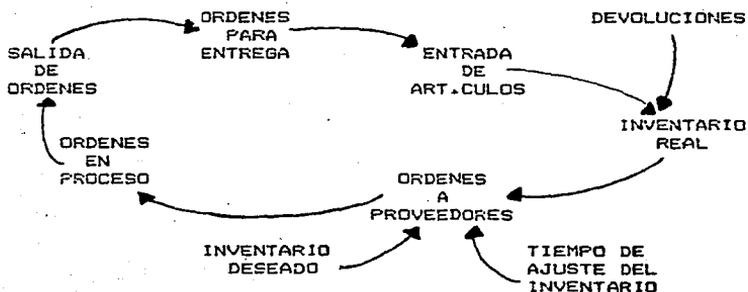


Fig. 3.1.3 Primer circuito de retroalimentación del sistema.

Para el segundo circuito del sistema, el punto de partida - puede considerarse que es la variable "SALIDA DE PEDIDOS PENDINGES" la cual es a su vez el flujo de salida de la variable "PEDIDOS PENDINGES" la cual es alimentada por los "PEDIDOS APROBADOS" o pedidos que son aprobados en el departamento de crédito y que a su vez son determinados por la variable "VENTAS", que ya se dijo es una variable exógena.

Así, los pedidos que ya han pasado exitosamente los requisitos de no pagos vencidos, no rebazar límite de crédito, etc., se hacen llegar al jefe del almacén quien los adiciona a una acumulación de "PEDIDOS PENDINGES".

Este proceso es el que muestra la siguiente figura:

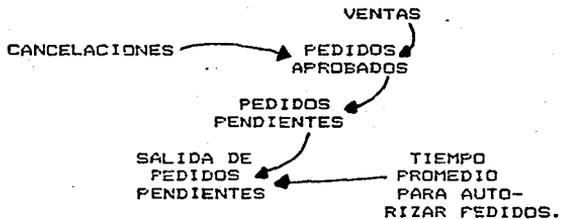


Fig. 3.1.4 Variables que alimentan a la variable SALIDA DE PEDIDOS PENDINGES.

Los pedidos pendientes solo dejan de serlo y disminuyen su - acumulación cuando pueden ser surtidos satisfactoriamente conforme a la existencia en inventario, de otra manera siguen estando en dicha acumulación. Pero por supuesto que no pueden formar parte de ella indefinidamente ya que si no hay artículos disponibles para su surtido, los clientes algunas veces proceden a cancelarlos.

Una vez que el jefe del almacén a dado el visto bueno a los pedidos que pueden ser satisfechos, éstos pasan a formar parte de los "PEDIDOS EN TRAMITE DE SURTIDO", donde son medidos, cortados y empaquetados, dejándolos listos para el siguiente paso.

Se puede observar que entre las variables "PEDIDOS PENDIENTES" y "PEDIDOS APROBADOS" se forma un pequeño circuito, esto es porque los pedidos pendientes solo se disminuyen a través de los pedidos autorizados en el almacén y a su vez estos pedidos autorizados en el almacén llegan a serlo en función de los que haya pendientes (y de la existencia en inventario).

A partir de este momento ya han pasado a convertirse en "ARTICULOS EMBARCADOS" y se encuentran en trayecto a su destino, ya sea en transportes foráneos hacia diversos puntos del país o en las propias camionetas de reparto de la empresa hacia distintos puntos del Distrito Federal. En cualquiera de los casos, este - flujo es el que físicamente disminuye al inventario real, ya que es cuando se realiza la salida de artículos.

La representación del segundo circuito es la siguiente:

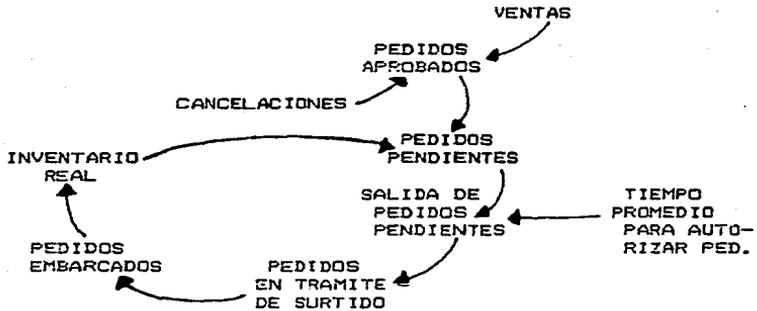


Fig. 3.1.5 Representación completa del segundo circuito del sistema.

### 3.2 DIAGRAMA FORRESTER

Ya se ha completado la fase de formulación del modelo por medio de un diagrama causal, los siguientes puntos de este subcapítulo se dedicarán a la formulación del diagrama Forrester también llamado diagrama Dynamo; transformando las relaciones del mismo en ecuaciones que puedan ser comprendidas por el compilador Dynamo en el que se realizará la simulación. La transformación se hará por cada uno de los circuitos del sistema, después se unirán ambos para obtener la representación total.

Para el primer circuito del sistema presentado en la figura 3.1.3, la representación en un diagrama Dynamo es como sigue:

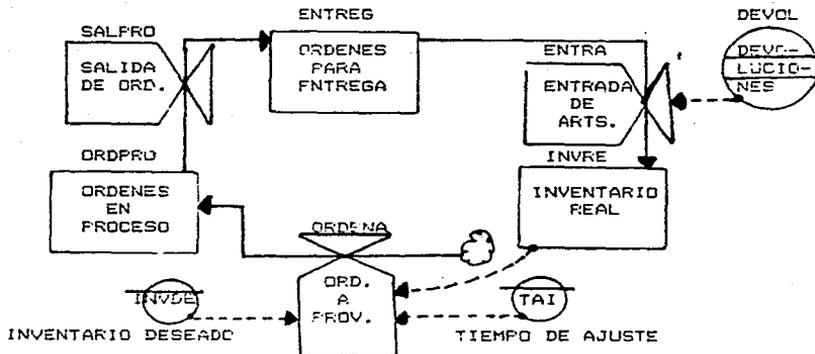


Fig. 3.2.1 Diagrama Forrester del primer circuito del sistema.



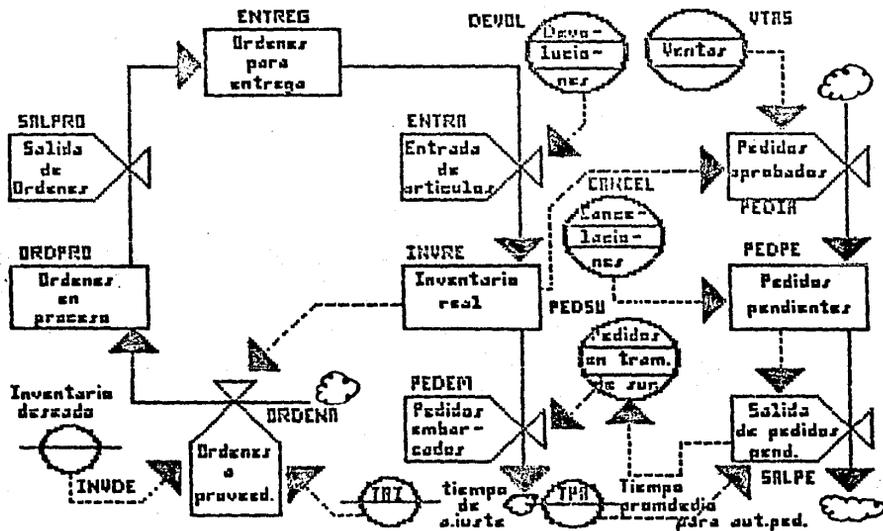


Fig. 3. 2. 3 Diagrama Forrester del sistema completo

### 3.3 ECUACIONES DEL MODELO

En el diagrama del punto anterior han quedado representados los procesos fundamentales que existen en el sistema real.

En esa representación se aprecian NIVELES (acumulaciones) y TASAS (acciones) que son las variables principales, a continuación se presenta la ecuación asociada a cada una de las variables del modelo.

#### 3.3.1 ECUACIONES DE NIVEL

Los niveles representan cantidades acumuladas de las decisiones que se han tomado, en el modelo del sistema existen cuatro - variables de este tipo: el inventario real (INVRE), los pedidos pendientes (PEDPE), las órdenes en proceso (ORDPRO) y las órdenes para entrega (ENTREG).

Para la primera variable, la ecuación asociada es:

$$INVRE.K = INVRE.J + (DT) (ENTRA.JK - PEDEM.JK) + DEVOL.K \quad (1)$$

donde:

INVRE = Inventario real (metros)

DT = Intervalo de tiempo (semanas)

ENTRA = Entrada de artículos (metros/semana)

PEDEM = Pedidos embarcados (metros/semana)

DEVOL = Devoluciones (metros)

Esta ecuación expresa el nivel del inventario real en el momento presente (K), como resultado de la suma del nivel del mismo inventario en el intervalo de tiempo anterior (J), más el producto del intervalo de tiempo por la diferencia entre la entrada de artículos (flujo que alimenta al nivel) y los pedidos embarcados (flujo que lo disminuye) y sumando al resultado las devoluciones.

La segunda ecuación de nivel es:

$$\text{PEDPE.K} = \text{PEDPE.J} + (\text{DT}) (\text{PEDIA.JK} - \text{SALPE.JK}) - \text{CANCEL.K} \quad (2)$$

donde:

PEDPE = Pedidos pendientes (metros)

DT = Intervalo de tiempo (semanas)

PEDIA = Pedidos aprobados (metros/semana)

SALPE = Salida de pedidos pendientes (metros/semana)

CANCEL = Cancelaciones (metros)

Esta ecuación es igual a la anterior, solo que el flujo de entrada es el de los pedidos aprobados y el de salida es precisamente el de la salida de pedidos pendientes, restando también las cancelaciones.

Para la tercera ecuación se tiene:

$$\text{ORDPRO.K} = \text{ORDPRO.J} + (\text{DT}) (\text{ORDENA.JK} - \text{SALPRO.JK}) \quad (3)$$

donde:

ORDPRO = Ordenes en proceso (metros)

DT = Intervalo de tiempo (semanas)

ORDENA = Ordenes a proveedores (metros/semana)

SALPRO = salida de órdenes en proceso (metros/semana)

Aquí el flujo de entrada es la variable ORDENA y el de salida es la variable SALPRO, siguiendo las mismas reglas que las dos ecuaciones anteriores.

La última ecuación de nivel es la siguiente:

$$\text{ENTREG.K} = \text{ENTREG.J} + (\text{DT}) (\text{SALPRO.JK} - \text{ENTRA.JK}) \quad (4)$$

dónde:

ENTREG = Ordenes para entrega (metros)

DT = Intervalo de tiempo (semanas)

SALPRO = Salida de órdenes en proceso (metros/semana)

ENTRA = Entrada de artículos (metros/semana)

El flujo que alimenta al nivel es la variable SALPRO y el que lo disminuye es la variable ENTRA.

Tanto la variable ORDPRO como la variable ENTREG son dos niveles que retrasan el flujo de órdenes a proveedores, ya que como se indicó antes en el contexto, se requieren dos semanas después de colocar la orden para que ésta sea surtida.

### 3.3.2 ECUACIONES DE TASA

Las variaciones a los niveles anteriores están representadas por las variables de tasa o variables de flujo, en el diagrama - del sistema se han empleado seis variables de este tipo: entrada de artículos (ENTRA), pedidos embarcados (PEDEM), órdenes a proveedores (ORDENA), salida de órdenes en proceso (SALPRO), pedidos aprobados (PEDIA) y la salida de pedidos pendientes (SALPE).

La primera ecuación de tasa es:

$$\text{ENTRA.KL} = \text{CLIP}(\text{OPC3.K}, \text{OPC2}, \text{TIME.K}, 3) \quad (5)$$

donde:

- ENTRA = Entrada de artículos (metros/semana)
- OPC3 = Primer valor que puede adoptar ENTR A
- OPC2 = Segundo valor que puede adoptar ENTR A
- TIME = Variable tiempo

La función CLIP representa que la variable ENTR A puede tomar el valor de OPC3 mientras TIME sea mayor o igual a 3, de otra manera tomará el valor de la constante OPC2.

Segunda ecuación de tasa:

$$\text{PEDEM.KL} = \text{PESU.K} \quad (6)$$

donde:

- PEDEM = Pedidos embarcados (metros/semana)

PEDSU = Pedidos en trámite de surtido (metros/semana)

Los pedidos embarcados son iguales a los pedidos en trámite de surtido ya que éstos después de ser etiquetados y facturados son los que se envían a los clientes sin ningún cambio.

Tercera ecuación de tasa:

$$\text{ORDENA.KL} = (\text{INVDE.K} - \text{INVRE.K}) / \text{TAI} \quad (7)$$

donde:

ORDENA = Ordenes a proveedores (metros/semana)

INVDE = Inventario deseado (metros)

INVRE = Inventario real (metros)

TAI = Tiempo de ajuste del inventario (semanas)

Las órdenes a proveedores según se planteó en el contexto, - se colocan para reponer lo vendido; por tanto la diferencia entre lo deseado y lo real da la cantidad a ordenar. La división entre la variable TAI no altera el resultado ya que tiene el valor de 1, su función es ayudar a obtener el dimensionamiento correcto de las unidades en que se miden las órdenes a proveedores, que son metros/semana y tanto el inventario deseado como el real están - dados en metros.

Cuarta ecuación de tasa:

$$\text{SALPRO.KL} = \text{CLIP}(\text{OPC1.K}, \text{OPC2}, \text{TIME.K}, 2) \quad (8)$$

donde:

SALPRO = Salida de órdenes en proceso (metros/semana)

OPC1 = Primer valor posible para SALPRO  
 OPC2 = Segundo valor posible para SALPRO  
 TIME = Variable tiempo

Al igual que para la variable ENTRA, aquí se usa la función de condición CLIP para asignar uno de los dos valores posibles: OPC1 ó OPC2 a SALPRO. Tomará el valor de OPC1 siempre que TIME - sea mayor o igual a 2, en caso contrario tomará el valor de OPC2.

Quinta ecuación de tasa:

$$PEDIA.KL=VTAS.K \quad (9)$$

donde:

PEDIA = Pedidos aprobados (metros/semana)

VTAS = Ventas (metros/semana)

Los pedidos aprobados son iguales a las ventas, éstas desde luego no representan todos los pedidos que recibe la empresa ya que algunos de ellos no son aprobados, solo se consideran las que realmente son sujetas de ser despachadas o sea las "ventas efectivas" (a menos que el cliente las cancele).

Sexta ecuación de tasa:

$$SALPE.KL=MIN(PEDPE.K, INVRE.K)/TPA \quad (10)$$

donde:

SALPE = Salida de pedidos pendientes (metros/semana)

PEDPE = Pedidos pendientes (metros)

INVRE = Inventario real (metros)

TPA = Tiempo promedio para autorizar pedidos (semanas)

La función MIN permite seleccionar el valor mínimo de cualquiera de las dos variables: PEDPE e INVRE. La salida de pedidos pendientes se da en función de que haya suficiente inventario para surtir los pedidos; si la cantidad existente es mayor a la pedida, entonces el valor mínimo será el de los pedidos pendientes y éstos pueden ser satisfechos adecuadamente, si por el contrario la cantidad pedida es mayor a la existencia en inventario, éste será el valor mínimo que puede ser surtido.

### 3.3.3 ECUACIONES AUXILIARES

Las ecuaciones auxiliares son derivaciones de las ecuaciones de tasa, permiten hacer más claro el cálculo de las mismas o ayudar a cumplir las reglas de diagramación Dynamo. En el modelo se usan cuatro ecuaciones de este tipo, siendo tres de ellas "variables tabla" o conjuntos de valores tomados de observaciones.

Primera ecuación auxiliar:

$$VTAS.K = TABHL(TVTAS, TIME.K, 1, 10, 1) \quad (11)$$

donde:

VTAS = Ventas (metros/semana)

TVTAS = Tabla de los valores de las ventas

TIME = Variable tiempo

La función TABHL permite introducir valores de observaciones en función de la variable tiempo, que en este caso se inicia en 1 y termina en la unidad de tiempo 10 con intervalos de 1 en 1. Las funciones tabla no son constantes, sino no linealidades que varían aleatoriamente.

Segunda ecuación auxiliar:

$$CANCEL.K = TABHL(TCANC, TIME.K, 1, 10, 1) \quad (12)$$

donde:

CANCEL = Cancelaciones (metros)

TCANC = tabla de valores de las cancelaciones

TIME = Variable tiempo

Al igual que la ecuación anterior, las devoluciones son valores observados en las 10 semanas de la simulación, son valores que se dan aleatoriamente sin que se tenga intervención alguna.

Tercera ecuación auxiliar:

$$\text{DEVOL.K} = \text{TABHL}(\text{TDEV}, \text{TIME.K}, 1, 10, 1) \quad (13)$$

donde:

DEVOL = Devoluciones (metros)

TDEV = Tabla de valores de las devoluciones

TIME = Variable tiempo

Sigue las mismas reglas que las dos ecuaciones anteriores.

Cuarta ecuación auxiliar:

$$\text{PEDSU.K} = \text{SALPE.JK} \quad (14)$$

donde:

PEDSU = Pedidos en trámite de surtido (metros/semana)

SALPE = Salida de pedidos pendientes (metros/semana)

En esta ecuación se aprecia una de las funciones de las ecuaciones auxiliares: ayudar a cumplir con las reglas de la diagramación Dynamo. Esta variable solo sirve de enlace entre las dos variables de flujo SALPE y PEDEM; los pedidos embarcados son los mismos que salieron de los pedidos pendientes una vez medidos y empacados, pero una de las reglas para la construcción de diagra-

mas Dynamo, indica que un flujo no puede ser afectado directamente por otro flujo. La variable auxiliar cumple su objetivo sin afectar la estructura del sistema.

Para completar las ecuaciones del modelo, se presentan en seguida las constantes que intervienen en él:

- TAI = Tiempo de ajuste del inventario (semanas)
- TPA = Tiempo promedio para autorizar pedidos (semanas)
- OPC2 = Valor alterno para las variables SALPRO y ENTRA
- INVDE = Inventario deseado (metros)

#### 4. SIMULACION

##### 4.1 ESCENARIO RESULTANTE DE LA SIMULACION

En el capítulo anterior se ha explicado descriptiva y matemáticamente el sistema, el siguiente paso consiste en realizar una "corrida" del modelo obtenido, esto quiere decir que se realizará el proceso de simulación en la computadora. La simulación permite seguir paso a paso el comportamiento del sistema según las decisiones que se hayan establecido.

A continuación se presenta el listado del programa tal como se introdujo a la computadora, el programa se denomina INVENTARIO

Las ecuaciones que aparecen en él fueron descritas anteriormente. Las siguientes hojas contienen también las tablas de los valores numéricos arrojados por Dynamo, así como las gráficas de los mismos valores.

La letra J después del punto que sigue al nombre de algunas variables, indica que se está considerando el tiempo pasado; la letra K, hace referencia al tiempo presente y la letra L al tiempo futuro. Así, la secuencia JK se refiere al intervalo transcurrido entre el instante pasado y el actual, KL representa el intervalo entre el tiempo actual y el futuro.

\*  
 NOTE \*\*\*\*\*  
 NOTE \*\*\*\*\*  
 NOTE \*\* PROGRAMA DEL MODELO DE SIMULACION \*\*  
 NOTE \*\* DEL SISTEMA DE INVENTARIO DEL AR- \*\*  
 NOTE \*\* TITULO TUL ADEREZADO. \*\*  
 NOTE \*\*\*\*\*  
 NOTE \*\*\*\*\*  
 NOTE \*\*\*\*\*  
 NOTE \*\*\*\*\*

INVENTARIO REAL  
 INVRE.K=INVRE.J+(DT)(ENTRA.JK-PEDEM.JK)+DEVOL.K

L  
 NOTE  
 NOTE

PEDIDOS PENDIENTES  
 PEDPE.K=PEDPE.K+(DT)(PEDIA.JK-SALPE.JK)-CANCEL.K

L  
 NOTE  
 NOTE  
 L

ORDENES EN PROCESO  
 ORDPRO.K=ORDPRO.K+(DT)(ORDENA.JK-SALPRO.JK)

NOTE  
 L  
 NOTE

ORDENES PARA ENTREGA  
 ENTREG.K=ENTREG.J+(DT)(SALPRO.JK-ENTRA.JK)

NOTE  
 R  
 NOTE

ENTRADA DE ARTICULOS  
 ENTRA.KL=CLIP(OPC1.K,OPC2,TIME.K,3)

NOTE  
 R  
 NOTE

ORDENES COLOCADAS A PROVEEDORES  
 ORDENA.KL=(INVDE.K-INVRE.K)/TAI

NOTE  
 R  
 NOTE

SALIDA DE ORDENES EN PROCESO  
 SALPRO.KL=CLIP(OPC1.K,OPC2,TIME.K,2)

NOTE  
 R  
 NOTE

SALIDA DE PEDIDOS PENDIENTE  
 SALPE.KL=MIN(PEDPE.K,INVRE.K)/TPA

NOTE  
 R  
 NOTE

PEDIDOS APROBADOS  
 PEDIA.KL=VTAS.K

NOTE  
 A  
 NOTE

PEDIDOS EMBARCADOS  
 PEDEM.KL=PEDSU.K

NOTE  
 A  
 NOTE  
 T  
 NOTE  
 NOTE  
 A

DEVOLUCIONES  
 DEVOL.K=TABHL(TDEV,TIME.K,1,10,1)

TABLA DE DEVOLUCIONES  
 TDEV=0/1500/0/0/0/2000/0/0/2000/0

VENTAS  
 VTAS.K=TABHL(TVTAS,TIME.K,1,10,1)

NOTE  
T TABLA DE VENTA  
TVTAS=5000/7000/15000/12000/8000/6000/9000/6000/8000/7000  
NOTE  
NOTE CANCELACIONES  
A CANCEL.K=TABHL(TCANC, TIME.K, 1, 10, 1)  
NOTE  
NOTE TABLA DE CANCELACIONES  
T TCANC.K=0/0/3000/0/0/0/0/2700/0/0  
NOTE  
NOTE PEDIDOS EN TRAMITE DE SURTIDO  
A PEDSU.K=SALPE.JK  
NOTE  
NOTE PRIMER VALOR ALTERNO PARA SALPRO  
A OPC1.K=ORDPRO.K  
NOTE  
NOTE SEGUNDO VALOR ALTERNO PARA SALPRO Y ENTRA  
C OPC2=0  
NOTE  
NOTE PRIMER VALOR ALTERNO PARA ENTRA  
A OPC3.K=ENTREG.K  
NOTE  
NOTE TIEMPO DE AJUSTE DEL INVENTARIO  
C TAI=1  
NOTE  
NOTE TIEMPO PROMEDIO PARA AUTORIZAR PEDIDOS  
C TPA=1  
NOTE  
NOTE VALOR INICIAL DEL INVENTARIO REAL  
N INVRE=30000  
NOTE  
NOTE VALOR INICIAL DEL TIEMPO  
N TIME=1  
NOTE  
NOTE VALOR INICIAL DE LOS PEDIDOS PENDIENTES  
N PEDPE=0  
NOTE  
NOTE VALOR INICIAL DE LAS ORDENES EN PROCESO  
N ORDPRO=0  
NOTE  
NOTE VALOR INICIAL DE LAS ORDENES PARA ENTREGA  
N ENTREG=0  
NOTE  
NOTE INVENTARIO DESEADO  
C INVDE=30000  
NOTE  
NOTE INVRE, ENTRA, PEDEM, PEDPE, PEDIA, SALPE, ORDENA, ORDPRO, SALPRO  
PRINT ENTREG, VTAS  
PLOT INVRE=1, ENTRA=E, PEDEM=P, PEDIA=A, SALPE=S, ORDENA=0, ORDPRO=R  
PLOT SALPRO=L, ENTREG=T, PEDPE=D, VTAS=V  
SPEC DT=1/LENGTH=10/PRTPER=1/PLTPER=1

PAGE-1

INVENTARIO

RUN-RERUN

12/11/86

TIME E 00	INVRE E 03	ENTRA E 03	PEDEM E 03	PEDPE E 03	PEDIA E 03	SALPE E 03
1.000	30.000	0.000	0.000	0.000	5.000	0.000
2.000	30.000	0.000	5.000	5.000	7.000	5.000
3.000	26.500	0.000	7.000	7.000	15.000	7.000
4.000	19.500	0.000	12.000	12.000	12.000	12.000
5.000	7.500	3.500	7.500	12.000	8.000	7.500
6.000	3.500	10.500	3.500	12.500	6.000	3.500
7.000	12.500	22.500	12.500	15.000	9.000	12.500
8.000	22.500	26.500	11.500	11.500	6.000	11.500
9.000	37.500	17.500	3.300	3.300	8.000	3.300
10.000	53.700	7.500	8.000	8.000	7.000	8.000

PAGE-2

INVENTARIO

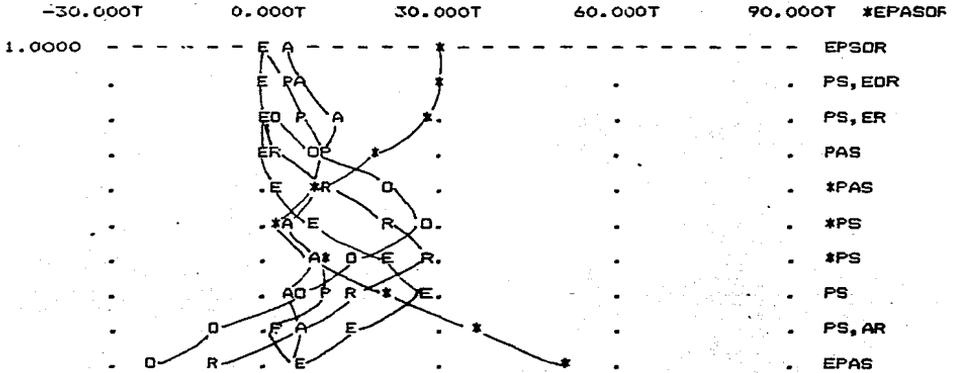
RUN-RERUN

12/11/86

TIME E 00	ORDENA E 03	ORDPRO E 03	SALPRO E 03	ENTREG E 03	VTAS E 03
1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.000
2.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.000
3.000	3.500	0.000	0.000	0.000	15.000
4.000	10.500	3.500	3.500	0.000	12.000
5.000	22.500	10.500	10.500	3.500	8.000
6.000	26.500	22.500	22.500	10.500	6.000
7.000	17.500	26.500	26.500	22.500	9.000
8.000	7.500	17.500	17.500	26.500	6.000
9.000	-7.500	7.500	7.500	17.500	8.000
10.000	-23.500	-7.500	-7.500	7.500	7.000

PAGE-3      INVENTARIO  
 INVRE=\*, ENTRA=E, PEDEM=P, PEDIA=A  
 SALPE=S, ORDENA=O, ORDPRO=R

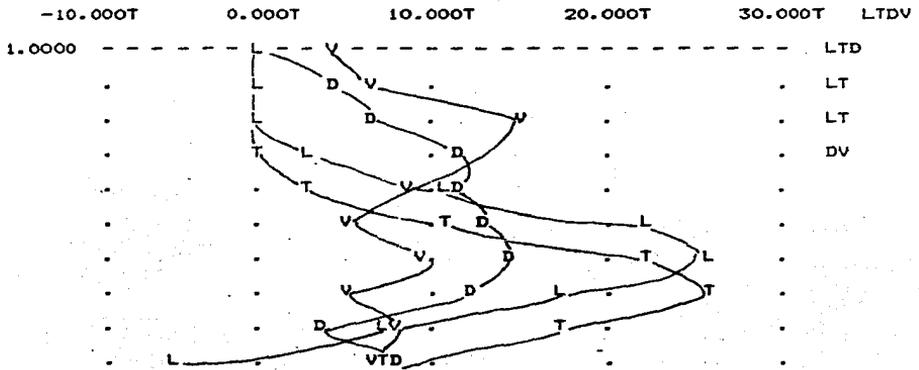
RUN-RERUN    12/11/86



PAGE-4 INVENTARIO

RUN-RERUN 12/11/86

SALPRO=L, ENTREG=T, PEDPE=D, VTAS=V



#### 4.2 ANALISIS DE RESULTADOS

La comparación de las gráficas obtenidas en los modos de referencia con las resultantes en la simulación realizada, son totalmente coincidentes; esto representa que el modelo refleja adecuadamente los procesos reales. Así mismo se comprueba la hipótesis planteada acerca de la política de colocación de órdenes.

Una política de esta naturaleza, pasa por alto la dinámica de los procesos y no repara en los retrasos de los flujos; es por ello que el inventario refleja las grandes fluctuaciones que ocurren al tratar de mantenerlo en el stock deseado.

Los signos negativos que aparecen en la semana 9a. y 10a. en la variable ORDENA (órdenes a proveedores), representarían las devoluciones por parte de la empresa a los proveedores; como no acostumbra tal procedimiento, solo representan excesos en el inventario.

Los valores están tomados al finalizar cada semana.

La secuencia de cálculo realizada por Dynamo es principiando por las ecuaciones de nivel y después las de tasa, es por ello que en la 2a. semana, aunque se han despachado 5,000 metros, el inventario mantiene los 30,000 anteriores ya que en la primera semana no se despacharon pedidos (por ser el inicio de la simula-

ción). Para la tercera semana ya dió salida a las 3,000 unidades despachadas la semana anterior y además refleja los 1,500 metros devueltos esa misma semana, por lo tanto mantiene 26,500 metros en existencia.

En la entrada de artículos se puede observar que se tiene un retraso de dos unidades de tiempo (semanas) después de que una orden fué colocada (ORDENA). Así, la orden colocada en la 3a. semana por la cantidad de 3,500 metros, se recibe hasta la 5a. semana (ENTRA).

Los pedidos pendientes que son la acumulación de los pedidos aprobados, se ven disminuidos en la 4a. semana por el efecto de una cancelación, de esta forma los pedidos aprobados que en esta semana representaron 15,000 metros, se ven reducidos para su surtido en el almacén a solo 12,000 metros por la cancelación de un pedido de 3,000 metros.

Las fluctuaciones que se aprecian en el inventario a lo largo de las 10 semanas, presentan una declinación repentina a la mitad del ciclo para luego elevarse súbita y fuertemente debido a la combinación de los retrasos y de la colocación de órdenes.

Lo anterior origina un desequilibrio en el mantenimiento del inventario.

No obstante que la empresa se espera en surtir rápidamente - los pedidos de sus clientes, su proceso es frenado bruscamente a partir de la 5a. semana en que la falta de inventario deja casi el 40% de los pedidos recibidos sin surtir.

Debe notarse que el conocimiento logrado sobre la estructura del sistema en este punto, ha permitido determinar como interactúan los elementos componentes que están generando el comportamiento antes descrito; para alcanzar una mayor significación, en el siguiente punto se utilizará el modelo para observar como pueden originarse distintos modos de comportamiento al variar alguna política de la empresa.

#### 4.3 PRUEBA DE POLITICAS ALTERNATIVAS

La simulación realizada ha dejado ya en posibilidad de probar como responderá el sistema ante la variación de alguna de sus políticas.

Una alternativa en la política de colocación de órdenes a proveedores es: elaborar y colocar una orden por una cantidad semejante a las ventas realizadas (y no reponer la diferencia entre lo real y lo deseado). Para lograr lo anterior se modificará la ecuación relativa a la colocación de órdenes (ecuación número 7):

$$\text{ORDENA.KL} = (\text{INVDE.K} - \text{INVRE.K}) / \text{TAI} \quad (7)$$

conteniéndose:

$$\text{ORDENA.KL} = \text{VTAS.K} \quad (7a)$$

Volviendo a realizar la simulación se obtienen las nuevas tablas y gráficas de valores en las que se puede apreciar que el inventario real ya no es tan fluctuante como en la simulación anterior. Para efectos de una mejor apreciación en esta nueva simulación, solo se incluyen las variables relativas al inventario real: entrada de artículos, pedidos embarcados, pedidos pendientes, pedidos aprobados y colocación de órdenes a proveedores.

Las demás variables se han omitido porque en la mayoría de los casos toman el mismo valor de las anteriores, solo sirven para retrasar los flujos. En el caso de las ventas, la variable OR-

DENA toma el mismo valor que éstas.

PAGE-1

INVENTARIO

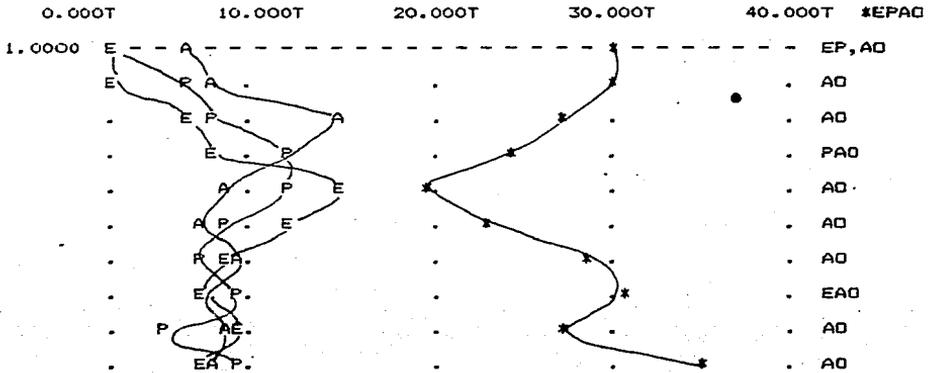
RUN-RERUN

11/14/86

TIME E 00	INVRE E 03	ENTRA E 03	PEDEM E 03	PEDPE E 03	PEDIA E 03	ORDENA E 03
1.000	30.000	0.000	0.000	0.000	5.000	5.000
2.000	30.000	0.000	5.000	5.000	7.000	7.000
3.000	26.500	5.000	7.000	7.000	15.000	15.000
4.000	24.500	7.000	12.000	12.000	12.000	12.000
5.000	19.500	15.000	12.000	12.000	8.000	8.000
6.000	22.500	12.000	8.000	8.000	6.000	6.000
7.000	28.500	8.000	6.000	6.000	9.000	9.000
8.000	30.500	6.000	9.000	9.000	6.000	6.000
9.000	27.500	9.000	3.300	3.300	8.000	8.000
10.000	35.200	6.500	8.000	8.000	7.000	7.000

PAGE-3            INVENTARIO  
 INVRE=\*, ENTRA=E, PEDEM=P, PEDIA=A  
 SALPE=S, ORDENA=O, ORDPRO=R

RUN-RERUN    11/14/86



Observando la curva del inventario real de la nueva simulación, se puede observar un mejoramiento en la fluctuación de la misma; la curva es más suave y no se aleja en forma excesiva del objetivo, aún y cuando en esta gráfica la escala es más reducida: de 0 a 40,000, mientras que para la primera simulación fué de: - 30,0000 a 90,000.

La corrección al inventario aún no es la mejor, pero el desequilibrio inicial se corrige en aproximadamente un 30% al llegar a la décima semana de la nueva simulación con respecto a la primera.

Existe un intervalo de 5 semanas entre los picos extremos de la curva (19,500 y 35,000), mientras que en la primera simulación después de la cuarta semana curva decae fuertemente (hasta un 82% del nivel deseado) para luego elevarse considerablemente hasta un 45% más alto de lo deseado.

Pueden ensayarse nuevas alternativas y comparar los resultados hasta encontrar aquella o aquellas que ayuden al sistema a - obtener sus objetivos en forma eficiente; puede pensarse en simular una política de colocación de órdenes a proveedores por medio de la estimación de la tendencia de las ventas o fijando cantidades periódicas, etc. Naturalmente es preciso orientarse con buen criterio teniendo a la vista las variaciones aportadas por las - diferentes simulaciones que se lleven a cabo.

#### IV.- BENEFICIOS PARA LA ADMINISTRACION DEL USO DE LA DINAMICA DE SISTEMAS.

La tarea del administrador en los próximos años, será cada vez más desafiante debido a la dinámica de las organizaciones ya que son las relaciones no lineales las que controlan el curso del comportamiento industrial y económico.

Por otra parte y a diferencia de épocas pasadas, la Administración encuentra que los métodos de investigación ya se ocupan también de problemas inmediatos y que es posible incorporar aquellas variables que surgen de la experiencia e intuición. La actitud de la investigación científica en la Administración ya no es la que hace unas décadas solía presentar buscando la solución óptima y la perfección, ahora trata al mundo como es y busca su desarrollo utilizando la información disponible, las opiniones y la observación personal.

Se ha venido dando un cambio en la forma de tratar los problemas y más específicamente: se ha estado contribuyendo a crear una CIENCIA DE LA DIRECCION. Una ciencia subyacente o base para la práctica de la labor administrativa en los niveles directivos o gerenciales.

Esta Ciencia de la Dirección reconoce que el conocimiento - del sistema constituye el éxito para una mejor comprensión del - comportamiento de las organizaciones ya que como se ha podido - constatar, las interrelaciones entre los distintos elementos que componen la organización (Contabilidad, Finanzas, Ventas, Producción, Mercadotecnia, etc.), son más importantes que cada elemento en sí mismo.

Esta nueva forma de comportamiento de las organizaciones ya era prevista por varios autores. Uno de ellos, Chris Argyris, hizo evidencia de ello al escribir que la estructura piramidal tradicional se estaba derrumbando ya que tendía a crear una aguda - división entre los departamentos de una organización, división - que acarreaba competencia entre ellos en lugar de fomentar unidad y colaboración, lo que obligaba a que las políticas fuesen más - rígidas y por ello menos innovadoras. (1)

Como resultado de este cambio en el enfoque de la Dirección, se ha pasado de lo operativo a lo estratégico, desarrollando sistemas de planificación a largo plazo. Dichos sistemas incluyen - dentro de sus procedimientos métodos basados en las matemáticas y la computación cuyo enfoque se concreta más en lo estratégico que en lo operativo.

---

(1) Chris Argyris, Problemas concretos en las organizaciones del futuro, Journal of Management studies, 1967, vol. 4, no. 1

La Dinámica de Sistemas es una de estas metodologías y por sus características es de gran valor para la administración.

El administrador tiene ciertas funciones o deberes que debe cumplir y para ello hace uso de técnicas; así mismo posee determinadas habilidades que ha adquirido a través de la experiencia y el estudio. Al planificar, organizar, dirigir o controlar hará uso de tales técnicas y de sus habilidades y si éstas se corresponden en lugar de excluirse, la posibilidad de éxito es mayor. Y debe recordarse que la responsabilidad del éxito en cualquier tarea organizada es precisamente del administrador.

La función primordial del administrador es la planificación y este proceso que fundamentalmente se refiere a decidir; decidir que, como, cuando y quien en la realización de una acción, se verá enriquecido con la ayuda de una metodología como la Dinámica de Sistemas que le permitirá fundamentar sus decisiones sobre hechos previamente determinados en modelos que emularán el comportamiento probable de los diferentes sistemas de una organización.

Aunque no puede decirse que estos modelos van a predecir con exactitud lo que ocurrirá, sí puede afirmarse que los planes y decisiones que resulten de un estudio semejante, estarán más libres de aspectos aleatorios y mejor determinados, ya que están fundamentados en aspectos razonados.

Además al servirse de un modelo, el administrador no correrá

el riesgo de que al tomar una mala decisión afecte a la organización en forma real, pues éste permitirá ver el efecto de sus decisiones y con ello podrá determinar aquella o aquellas que le van a representar el mejor resultado.

La facilidad de poder enfocar un aspecto o un problema de un sistema o subsistema, radica en que se pueden apreciar fácil y claramente las variables claves y las relaciones que entre ellas se dan.

El uso de técnicas como ésta, demanda el establecimiento de metas precisas, lo que conlleva a un mejor entendimiento de la Administración misma ya que la tarea de visualizar los procesos como hechos interrelacionados ha vuelto más perspicaz al administrador tanto en el proceso de planificación como en el de control

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La descripción del sistema representa las características esenciales del comportamiento observado y que fué registrado en forma histórica en los modos de referencia. Por tanto, la hipótesis sobre la que se construyó el modelo es verdadera, ya que se demostró que una política de colocación de órdenes basada solo en la reposición de lo vendido, pasando por alto la estructura dinámica de las interrelaciones de los elementos y sus demoras en las acciones y decisiones, es ineficaz para el mantenimiento adecuado de un inventario deseado y lleva a fluctuaciones continuas, lo que ocasiona inestabilidad en el surtido de pedidos.

Esto quedó de manifiesto en el resultado de la simulación donde las desviaciones hacia arriba y hacia abajo del objetivo, oscilaban ruidosamente.

El modelo obtenido contiene únicamente las relaciones básicas necesarias para obtener esos modos de referencia mencionados, por lo que no incluye numerosos aspectos y detalles que aumentarían su complejidad. Es posible desde luego, incorporar nuevas relaciones para obtener un modelo que sea más parecido a la realidad y con ello ganar más confianza al ensayar nuevas políticas.

que permitan preveer situaciones futuras.

Los datos que se manejaron en el modelo sirven de punto de partida para que puedan realizarse nuevas proyecciones basadas en otras consideraciones, planteando hipótesis o supuestos que relacionen aspectos tecnológicos, monetarios, de mercadotecnia, etc.

De esta manera el modelo es susceptible de muchas variaciones de acuerdo a las relaciones que se deseen expresar.

Al incluir nuevas variables en el modelo debe considerarse que el modelo debe mantener una fácil comprensión y que no llague a tornarse inoperante por la dificultad de comprender las relaciones que se intentan representar. Esto debe tomarse en cuenta ya que en base a los resultados brindados se van a tomar las decisiones que si alterarán el sistema real y la calidad de esas decisiones se reflejará en el horizonte de la labor administrativa.

La metodología de simulación aquí propuesta, intenta proporcionar un enfoque moderno en el comportamiento gerencial teniendo en cuenta que la Administración es por naturaleza, una ciencia interdisciplinaria y con una actitud abierta al cambio y a las nuevas contribuciones sin perder por ello su filosofía.

El desarrollo de nuevas tecnologías ha requerido que la Ad-

ministración también entre a una dinámica de cambio, se enfrenta ahora a nuevos retos y los aborda con nuevas técnicas, nuevos enfoques a la medida de las nuevas situaciones.

Aunque el conocimiento y la experiencia habían sido los únicos elementos de juicio en la toma de decisiones formulando solo modelos mentales, ahora con la ayuda de un enfoque dinámico de sistemas y de la computadora, estos mismos elementos alcanzarán una comprensión global en tiempo y espacio del medio en que se mueven las organizaciones.

## B I B L I O G R A F I A

Bertalanffy L. Von, Teoría General de los Sistemas [tr] Juan Al-  
mela, (México, D. F.: F. C. E., c1976) 311 págs.

Steiner George A., Planeación Estratégica [tr] Guillermo E. Urena  
G., (México, D. F.: C. E. C. S. A., c1983) 336 págs.

Araçil Javier, Introducción a la Dinámica de Sistemas (Madrid:-  
Alianza Editorial, c1978) 310 págs.

Forrester Jay, Principles of Systems (Cambridge, Mass.: Wright-  
Allen Press, c1968) 170 págs.

Forrester Jay, World Dynamics (Cambridge, Mass.: Wright - Allen-  
Press, c1972) 180 págs.

Geréz Victor y Grijalva Manuel, El enfoque de sistemas (México,-  
D. F.: Editorial Limusa, c1980) 580 págs.

Hall Richard H., Organizaciones: Estructura y Proceso [tr] Stella  
de Feferbaum (Madrid: Prentice-Hall Int., c1979) 331 págs.

Gelman O. y Negroe G., Metodología de la ciencia e Ingeniería de Sistemas: Algunos problemas, resultados y perspectivas (Mérida, Yuc.: Memorias del IV Congreso de la Academia Nacional de Ingeniería, 1978).

Gelman O y Negroe G., La Planeación como un proceso básico en la conducción (Revista de la Academia Nacional de Ingeniería, vol. 1, núm. 4, México, 1982).

Meadows Dennis L., Los límites del crecimiento [tr] Ma. Soledad Loaeza de Graue (México, D. F.: F. C. E., c1972) 253 págs.

Stanford Beer, Cibernética y Administración [tr] Luis Gurza Bra-  
cho (México, D. F.: C. E. C. S. A., c1983) 254 págs.

Biblioteca de Ciencias de la Administración, Conceptos fundamentales sobre la Organización (eds.) Florencio Rodil U. y Francisco Mendoza T. (México, D. F.: Editorial Trillas, c1979) 219 págs.

Forkner I. y Mc Leod R. Jr., Aplicaciones de la computadora a los sistemas administrativos [tr] Ma. Luisa González O. (México, D. F.: Editorial Limusa, c1982) 537 págs.

Churchman West, El enfoque de sistemas [tr] Alberto García Mendoza (México, D. F.: Editorial Diana, c1973) 270 págs.

Murdick Robert G. y Ross Joel E., Sistemas de información basados en computadoras para la Administración moderna [tr] Miguel Angel Robles G. (México, D. F.: Ed. Diana c1982) 255 págs.

Koontz Harold y O'donnell Cyril, Curso de Administración moderna: un análisis de las funciones de la Administración (México, D. F.: Editorial McGraw-hill, c1977) 785 págs.

Massie Joseph L., Bases esenciales de la Administración [tr] Ernesto Costemalle Botello (México, D. F.: Editorial Diana, c1969) 270 págs.

Kuhn T. S., La estructura de las revoluciones científicas (México D. F.: F. C. E., breviaríos núm. 213, c1982) 180 págs.