

# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ



## EL ENFOQUE DE DINÁMICA DE SISTEMAS

*ABRAHAM GAMARRA MORENO*

*JOB DANIEL GAMARRA MORENO*

*JUAN GAMARRA MORENO*

## **CONTENIDO**

<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
--------------------------	----------

### **PARTE I**

#### **ENFOQUE SISTEMICO**

##### **CAPITULO UNO INTRODUCCIÓN A LA DINÁMICA DE SISTEMAS**

1.1. Haciendo un Poco de Historia.....	5
1.2. Conceptos Básicos de Dinámica de Sistemas .....	7
1.2.1. Sistema .....	7
1.2.2. Estructura de un sistema .....	8
1.2.3. Sistema dinamico.....	8
1.2.4. Dinámica de sistemas .....	8
1.2.5. Comportamiento de un Sistema.....	9
1.3. Construcción de Modelos de Simulación de Dinámica de Sistemas.....	9
1.3.1. Errores en los proyectos de simulación .....	10
1.3.2. Pautas para el proceso de construcción de un modelo de Simulación.....	15

##### **CAPITULO DOS PENSAMIENTO SISTÉMICO**

2.1. DISCIPLINAS DE LA ORGANIZACION INTELIGENTE .....	18
2.1.1. pensamiento sistemico .....	18
2.1.2. Dominio personal .....	19
2.1.3. Modelos mentales .....	21
2.1.4. Construcción de una visión compartida.....	22
2.1.5. Aprendizaje en equipo .....	23
2.2. LA QUINTA DISCIPLINA .....	26
2.3. Un cambio de enfoque .....	27

2.3.1.	CIRCULOS DE CAUSALIDAD .....	28
2.4.	Arquetipos sistémicos .....	35
2.4.1.	COMPENSACIÓN ENTRE PROCESO Y DEMORA.....	36
2.4.2.	LIMITES DEL CRECIMIENTO .....	37
2.4.3.	DESPLAZAMIENTO DE LA CARGA.....	39
2.4.4.	CASO ESPECIAL DE LA CARGA HACIA LA INTERVENCION.....	41
2.4.5.	EROSION DE METAS.....	43
2.4.6.	ESCALADA.....	44
2.4.7.	EXITO PARA QUIEN TIENE EXITO.....	46
2.4.8.	TRAGEDIA DEL TERRENO COMUN.....	48
2.4.9.	SOLUCIONES RAPIDAS QUE FALLAN .....	51
2.4.10.	CRECIMIENTO Y SUBINVERSION.....	52

## **PARTE II**

### **MODELAMIENTO DE SISTEMAS DINÁMICOS**

#### **CAPITULO TRES HERRAMIENTAS DE MODELAMIENTO**

3.1.	Diagrama causal .....	57
3.1.1.	Símbolos .....	58
3.1.2.	Relación lineal y ciclos de realimentacion .....	60
3.1.3.	Realimentación.....	63
3.1.4.	Sistemas que tienen mas de un ciclo de realimentación .....	71
3.1.5.	Ciclo dominante.....	72
3.1.6.	Elementos exógenos .....	75
3.2.	Diagrama de niveles y flujos .....	76
3.2.1.	Símbolos .....	78
3.3.	Ejemplo: Termostato.....	79

3.3.1.	Diagrama causal .....	80
3.3.2.	Diagrama niveles y flujos .....	80

## **CAPITULO CUATRO**

### **MODELAMIENTO EN COMPUTADORA**

4.1.	Introducción al modelamiento en computadora .....	81
4.1.1.	EJEMPLO: MOVIMIENTO RECTILÍNEO UNIFORME .....	83
4.2.	Integración Gráfica .....	87
4.2.1.	EJEMPLO: INTERÉS COMPUESTO .....	89
4.2.2.	EJEMPLO: CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN CONSIDERANDO NACIMIENTOS Y MUERTES .....	91
4.2.3.	EJEMPLO: REDUCCIÓN DE PERSONAL .....	93
4.2.4.	EJEMPLO: PROPAGACION DE UNA EPIDEMIA .....	96
4.2.5.	CASO: VENTA DEL ARTÍCULO EPG .....	100
4.2.6.	EMPLEADOS Y ALMACEN.....	103
4.2.7.	LA DINÁMICA DE UNA SOCIEDAD AGRARIA INDUSTRIAL SIMPLE ..	106
4.2.8.	BANCO DE PECES Y AGOTAMIENTO DE LOS RECURSOS RENOVABLES 115	
4.2.9.	EJEMPLO: EL USO DE LAS TARJETAS DE CRÉDITO .....	123
4.2.10.	MODELO DE LA DESERCIÓN, REPITENCIA Y PROMOCION ESCOLAR	133

## **CAPITULO CINCO**

### **RETRASOS**

5.1.	Retrasos de Material .....	139
5.1.1.	EJEMPLO: RETARDO DEL CORREO .....	141
5.1.2.	EJEMPLO: CONSTRUCCIÓN DE APARTAMENTOS .....	144
5.2.	Retrasos de información .....	149
5.2.1.	EJEMPLO: PUBLICIDAD, VENTAS E INGRESOS EN BEBIDAS GASEOSAS 150	
5.3.	Ejemplo de retraso de material: proceso de produccion y distribucion .....	153

**PARTE III**  
**VALIDACIÓN Y ANÁLISIS DE POLITICAS DE SISTEMAS**  
**DINÁMICOS**

**CAPITULO SEIS**  
**VALIDACIÓN**

**CAPITULO SIETE**  
**ANÁLISIS DE POLITICAS DEL SISTEMA**

7.1. POLÍTICAS VERSUS DECISIONES .....160

BIBLIOGRAFÍA .....163



# **INTRODUCCION**

La dinámica de sistemas combina la teoría, los métodos y la filosofía para analizar el comportamiento de los sistemas re alimentados. A través de la dinámica de sistemas mostramos como van cambiando las cosas a través del tiempo y como estos cambios afectan en la totalidad del sistema. Su aplicación se da en el campo de la administración, el campo medioambiental, la política, la conducta económica, la medicina y la ingeniería, así como a otros campos.

La primera parte del libro tratará sobre el enfoque sistémico que ayuda a tratar los problemas desde esta perspectiva y resolverlos. Esta parte del libro es bastante importante y muestra algunas técnicas de trabajo, así como el reconocimiento de varias estructuras sistémicas, que determinan la esencia y la solución de los problemas. Esta perspectiva permite sondear la riqueza de información que poseen las personas.

La segunda parte trata sobre la construcción de modelos de Dinámica de Sistemas para ello emplearemos los diagramas causales, diagramas de Forrester y software apropiado para el desarrollo de estos modelos.

La tercera parte describe lo referente a la validación de los modelos de dinámica de sistemas, así como al análisis de las políticas que se hacen a través de los modelos.

Los autores.





---

# ***PARTE I***

# ***ENFOQUE SISTEMICO***

---



---

## CAPITULO UNO

---

# INTRODUCCIÓN A LA DINÁMICA DE SISTEMAS

### *1.1. HACIENDO UN POCO DE HISTORIA*

Por el año 1930 Ludwing von Bertalanfly, uno de los pioneros en el pensamiento de sistemas, quien fue entrenado inicialmente como biólogo y propuso varios principios acerca del comportamiento y la estructura de los sistemas los cuales surgieron como parte de sus observaciones del funcionamiento de los organismos biológicos como un todo. Al mismo tiempo los ingenieros también ya comenzaban a pensar en función de sistemas en sus diseños para el control de sus sistemas, como por ejemplo el control de vuelo.

Después de la Segunda Guerra Mundial los sistemas surgieron como un campo importante de estudios, inicialmente se estudiaron los sistemas biológicos y de ingeniería, luego se extendió al estudio de problemas sociales y económicos.

En 1948 Northber Wiener ya estudiaba aspectos de la comunicación y del control a través de la realimentación de la información tanto en los seres vivos y las máquinas, surgió de esta manera lo que él denominó Cibernética. Pudo Wiener a través de sus estudios percibir; como los sistemas biológicos, de ingeniería, so-

ciales, económicos son controlados y regulados. Luego de ello propuso que los mismos principios generales controlan los sistemas biológicos, de ingeniería, sociales, económicos y de otros sistemas. Esto sirvió como premisa para estudios más científicos de los sistemas.

Otro de los hechos científicos importantes después de la segunda guerra mundial en el año 1947, fue la invención de la computadora, como una máquina electrónica que incorporó un programa grabado internamente. Esto posibilitó que la información sea procesada de una manera rápida empleando la computadora, permitiendo el desarrollo de la informática.

Dentro de este entorno de avances científicos y filosóficos, quién es la persona más representativa y significativa para la Dinámica de Sistemas es el Profesor Jay Wright Forrester quien plasmó su enfoque de la aplicación de los principios generales de la cibernética a sistemas industriales en su libro Dinámica Industrial (1961).

El profesor Jay Wright Forrester según sus propias palabras desarrollo este enfoque de la dinámica industrial a partir de su propia experiencia, la oportunidad de conocer los negocios y la naturaleza del mercado de bienes fue en el establecimiento ganadero de sus padres. Estudio Electrotecnia en la Universidad de Nebraska le dieron los fundamentos para su investigación posterior. Sus estudios de graduados en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (M.I.T.) lo realizó con la dirección del profesor Gordon S. Brown, quién esa época comenzaba su trabajo en el Laboratorio de Servomecanismos y desarrollaba los conceptos de los sistemas de realimentación de información. El profesor Jay W. Forrester desde 1940 fue miembro del Laboratorio de Servomecanismos en el M.I.T., siendo luego su director asociado en 1944. Luego siendo director del Laboratorio de Computadoras Digitales en el M.I.T. supervisó el diseño de una de las primeras computadoras digitales de alta velocidad el Whirlwind I. Como director del Laboratorio Lincoln en el M.I.T. entre 1952 y 1956 administró proyectos vinculados con la defensa aérea de los Estados Unidos. En 1956 se incorporó a la Escuela de Administración Industrial, siendo su tarea principal la conducción de los estudios de pre y posgrado en dinámica industrial. Todo ello hizo posible

que el Profesor Jay W. Forrester desarrolle su metodología de la dinámica industrial.

El trabajo inicial de Forrester se ha sido luego extendido al estudio de los sistemas sociales y económicos y ahora es conocido como el campo de la dinámica de sistemas. Este campo de la dinámica de sistemas se basa en la realimentación de información que los sistemas usan para su control, la dinámica de sistemas emplea técnicas de simulación de modelos para su análisis haciendo que la informática provea el marco necesario para aplicar la teoría de sistemas a problemas sociales, económicos y otros que permitan su aplicación.

## **1.2. CONCEPTOS BÁSICOS DE DINÁMICA DE SISTEMAS**

Es importante definir algunos conceptos claves que han de servir para comprender, lo que se irá vertiendo en este libro.

### **1.2.1. SISTEMA**

La palabra sistema tiene un uso bastante frecuente; hablamos por ejemplo del sistema solar, sistema digestivo y del sistema nervioso, también sostenemos que existen sistemas económicos y sistemas sociales; pero pocos de nosotros logramos ver y entender que los sistemas existen en todo lugar y que estos influyen en todo lo que hacemos.

Un sistema puede definirse como un conjunto de elementos que interactúan y funcionan en forma conjunta por algún propósito.

Así por ejemplo, el sistema digestivo puede ser visto como un sistema cuyo propósito es el de absorber los elementos necesarios para que nuestro cuerpo siga funcionando y desechar aquellos que no sean necesarios, para lograr esto entran en juego varios elementos como el estomago, los intestinos, etc., los cuales en conjunto permiten ese propósito. Así una universidad puede ser vista como un sistema cuyo propósito es el de generar y difundir conocimiento que con-

tribuyan al desarrollo integral de un país, este sistema esta formado por varios elementos, estudiantes, personal administrativo, laboratorios, aulas, autoridades universitarias, etc., todos ellos actúan conjuntamente para su propósito. Una ciudad puede ser vista, como un sistema cuyo objetivo es el de brindar los servicios y comodidades a los ciudadanos, haciendo posible el desarrollo económico y cultural de estos.

El enfoque sistémico para el estudio de los sistemas enfatiza las conexiones entre las varias partes de un todo que se considera el sistema.

El pensamiento sistémico es por lo tanto una forma de pensar en función de las conexiones entre las partes y de la totalidad de este.

#### **1.2.2. ESTRUCTURA DE UN SISTEMA**

La estructura de un sistema es la estructura subyacente de la interacción entre los elementos de un sistema. La estructura del sistema debe incluir las variables (elementos) importantes que influyen en el sistema. Así por ejemplo si consideramos a una ciudad como sistema, este estará formado por los ciudadanos, servicios, y otras variables importantes para definir la estructura del sistema.

#### **1.2.3. SISTEMA DINAMICO**

La palabra dinámico se refiere al cambio a través del tiempo. Si algo es dinámico entonces está cambiando constantemente como respuesta a los estímulos que lo influyen. Un sistema dinámico es así un sistema en el cual las variables interactúan para estimular el cambio a través del tiempo.

#### **1.2.4. DINÁMICA DE SISTEMAS**

Según el Profesor Jay W. Forrester, la Dinámica de sistemas es un campo que combina

la teoría, los métodos y la filosofía para analizar el comportamiento de los sistemas. La Dinámica de Sistemas muestra como las cosas van cambiando a través del tiempo.

#### **1.2.5. COMPORTAMIENTO DE UN SISTEMA**

La forma en la cual los elementos o variables que componen un sistema varían a través del tiempo se denomina comportamiento del sistema. Para el ejemplo de la ciudad el crecimiento o decrecimiento del número de ciudadanos y los servicios que ofrece la ciudad dan una idea del comportamiento de este sistema.

### **1.3. CONSTRUCCIÓN DE MODELOS DE SIMULACIÓN DE DINÁMICA DE SISTEMAS**

En su forma más esencial simular significa imitar; si nos referimos a la simulación de un sistema, hablamos de la operación de un modelo que es la representación simplificada de este. El modelo imita los elementos importantes de lo que esta siendo simulado. Un modelo de simulación puede ser un modelo mental, una concepción mental, un modelo matemático, un modelo de computadora o alguna combinación de estos.

Este modelo debe manipularse fácilmente, muchas veces trabajar en el sistema original podría ser demasiado caro, no práctico o hasta imposible. Al operar el modelo del sistema o dicho de otra manera, al simular este sistema, podemos estudiar este sistema e inferir conclusiones importantes acerca de este.

La simulación pues se ha convertido en una forma opcional de análisis ante otras formas de análisis tales como soluciones analíticas (por ejemplo soluciones de forma cerrada a modelos de colas de estado continuo), soluciones numéricas (como las ecuaciones diferenciales), o es más aún a la construcción de un modelo a escala (de puertos, canales de agua, etc.).

En la simulación por computadora podríamos hablar de una dicotomía entre la "simulación continua" y la "simulación de eventos discretos".

La simulación continua generalmente representa modelos a través de un conjunto de ecuaciones diferenciales que deben ser resueltos simultáneamente, manteniendo usualmente como variable independiente al tiempo, así tenemos los programas de simulación para sistemas dinámicos. Este es el tipo de emplearemos en este libro, pues la dinámica de sistemas analiza el comportamiento de los elementos del sistema a través del tiempo.

La simulación de eventos discretos representa un sistema en termino de relaciones lógicas que causan cambios de estado en puntos discretos en el tiempo, en vez de hacerlo continuamente en el tiempo. La mayoría de los problemas de colas se pueden simular de esta manera (así por ejemplo los clientes en una servicio de expendio de combustible, los aviones en una pista de aterrizaje, trabajos en una computadora). Lo que se hace en estos casos es cambiar el estado del sistema en forma instantánea con cada arribo.

Finalmente, todos los sistemas reales son continuos y todos los sistemas digitales son discretos, y es solamente nuestra percepción de los problemas la que varía. La simulación continua emplea un programa para resolver ecuaciones diferenciales en intervalos de tiempo discretos, la simulación discreta en cambio asume la falta de importancia de cosas que pueden ocurrir entre los eventos modelados y lo que se está haciendo es consumir tiempo, haciéndose esta simulación continua.

El problema fundamental no es aquí si un sistema real es continuo o discreto, lo más importante es la percepción más útil que se pueda tener acerca de este sistema. En realidad la mayoría de los modelos es analizado de forma más natural como una combinación metodológica de eventos discretos y continuos.

### ***1.3.1. ERRORES EN LOS PROYECTOS DE SIMULACIÓN***

Al trabajar en un proyecto de simulación muchas de las veces se cometen errores que hacen del proyecto de simulación un fracaso, en el sentido que el modelo no se ajusta a nuestras necesidades, o se abandona el proyecto inconcluso, etc. Analizaremos aquí algunos errores concurrentes.



## 1. Error al Definir una Meta

La meta de un proyecto de simulación jamás debe ser "Modelar el .....", el modelar en sí no es una meta, es más bien una forma de alcanzar un objetivo. Este proyecto debe tener acuerdos establecidos, claramente articulados con objetivos realizables. Este depende de respuestas a preguntas tales como: ¿Qué se aprenderá del sistema bajo estudio? ¿Que decisiones se tomarán como base los resultados obtenidos en la simulación?.

Los objetivos no pueden ser definidos correctamente sin la participación activa del usuario final. Este es el primer paso en un proyecto de simulación que muchas veces erróneamente se omite.

## 2. Mezcla Incompleta de habilidades esenciales.

Se necesita al menos cuatro habilidades básicas para la simulación:

- Liderazgo en el Proyecto: La capacidad para motivar dirigir y manejar un equipo de simulación.
- Modelamiento: La habilidad para diseñar un modelo conceptual que imite el sistema bajo estudio y determinar el nivel requerido de detalle.
- Programación: La habilidad para transformar el modelo conceptual a un programa de computadora, es decir, se elabora las ecuaciones para los elementos del modelo, este modelo debe ser entendible y posible de ser modificado.
- Conocimiento del sistema modelado: Comprensión suficiente del sistema para guiar el modelamiento y juzgar la vali-

dez de los resultados de la simulación. Implica comprometerse a conocer el sistema.

### 3. Nivel de participación inadecuada de la gente parte del sistema a modelar.

Muchas veces se comete el error de que el equipo que lleva a cabo el proyecto de simulación en forma aislada y se presenta este trabajo final al escritorio de la organización usuaria. Esto trae como resultado que este modelo simplemente sea archivado y no utilizado.

El usuario del modelo y las personas parte del sistema deben tener participación en el proyecto de principio a fin de tal manera que tenga la compenetración y el entendimiento del trabajo que se realiza. Se realizan reuniones programadas con la gente para sondear la información que poseen en sus mentes, presentado reportes y realizando discusiones técnicas con los probables usuarios del modelo. El usuario final es la única persona que puede informar adecuadamente sobre las condiciones reales tales como políticas, burocracia, uniones, presupuesto y cambios en la entidad que auspicia el proyecto.

### 4. Nivel inapropiado de detalle.

Como bien sabemos un modelo es la representación simplificada de un sistema, y este solamente debe incorporar las características que son importantes para los propósitos del usuario, entonces se debe encontrar un límite del sistema adecuado. Las metas de proyecto determinan el nivel adecuado de detalle, los cuales deben ser consistentes con la disponibilidad de datos y recursos.

### 5. Comunicación deficiente

Es necesario un marco conceptual y un lenguaje para la comunicación de los miembros del equipo. El marco conceptual o visión

del mundo debe estar relacionado estrechamente con el lenguaje de programación del modelo. Aquí emplearemos diagramas causales y diagramas de Forrester.

#### 6. Empleo de un lenguaje de programación Inadecuado

Los lenguajes de simulación de alto nivel reducen el tiempo de programación y de proyecto. Para la simulación continua se cuenta con lenguaje que contienen una interfaz gráfica basada en iconos, entre los lenguajes están el Dynamo, Vensim, PowerSim, Stella, etc.

#### 7. Documentación Obsoleta o No Existente

Para los propósitos del desarrollo del programa de computadora, la modificación y mejora, la documentación dependiente de un cambio de entorno debe mostrarse a través del listado del programa origen. La calidad y utilidad de esta documentación se determina por el diseño del modelo y el lenguaje de simulación.

#### 8. Valerse de un modelo no verificado

El modelo se verifica comparando el modelo en forma de programa de computadora con el modelo conceptual. Una de las formas más efectivas de realizar ello es recorriendo el modelo, el programador explica el código a alguien que está familiarizado con el sistema bajo estudio. Esta técnica generalmente encuentra errores que se pueden corregir fácilmente.

#### 9. Error al emplear herramientas modernas y técnicas para manejar el desarrollo de un programa de computadora complejo y grande.

Prácticamente todos los programas de computadora grandes se retrasan por algunas razones como estas:

- Codificación Prematura: La irresistible necesidad de comenzar a codificar y mo-

delar en la computadora antes de que se tengan los datos suficientes para el problema.

- Programación Optimista: Sobrestimar el tiempo requerido para tareas requeridas y negligencia al no establecer tiempos para problemas inevitables, no anticipados.
- Esfuerzo confuso y el progreso: Olvidando que algunos días se empleará mucho esfuerzo pero en verdad el verdadero progreso estará en localizar y corregir errores simples.

Para evitar estas razones se necesita un conocimiento adecuado de los métodos y herramientas que se emplearán.

#### 10. Valerse de resultados misteriosos

Cuando los resultados no son presentados en forma clara y entendible para el usuario, este no puede juzgar adecuadamente la validez del modelo y no confiará en el modelo.

Si se obtienen resultados inesperados o ilógicos, estos se pueden deber a ciertos parámetros que han sido considerados más significantes o insignificantes de lo esperado o porque las interacciones no anticipadas afectan grandemente el funcionamiento del sistema. A través de la simulación muchas veces se descubren estos problemas ocultos.

Sin embargo, muchas veces los resultados de la simulación pueden ser causados por errores, suposiciones no validas o falta de entendimiento del sistema real. El modelo no será útil hasta que se corrijan y encuentren estos errores.

### **1.3.2. PAUTAS PARA EL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN**

Aquí se presentan una serie de actividades involucradas en el proceso de la construcción del modelo de simulación con este enfoque de dinámica de sistemas.

#### **1. Definición del Problema**

Definir el problema frecuentemente es el problema. El establecer metas de simulación no necesariamente implica determinar las salidas que se han de producir. Más bien significa describir las relaciones que se necesitan estudiar y cuantificar la información que se obtiene. También involucra el reconocimiento y la definición de un problema desde el punto de vista de los sistemas. Las propiedades importantes de los problemas dinámicos son que ellos contienen elementos representados por variables que cambian a través del tiempo, esta variabilidad puede ser representada a través de una relación de causalidad y que las importantes influencias causales pueden contenerse dentro de un sistema cerrado de bucles de realimentación.

Las dos habilidades más importantes para reconocer tales problemas son como inferir relaciones causales y conocer como interpretar los gráficos de las variables cuando se toma el tiempo como variable independiente.

#### **2. Análisis del sistema para determinar el nivel apropiado de detalle del modelo**

Usualmente existe más información disponible acerca de un sistema que puede (o debería) ser incorporado a un modelo de simulación. Al construir un modelo lo más importante es capturar la esencia de un sistema, sin considerar información innecesaria u omitir algo de importancia.

#### **3. Conceptualización del sistema.**

Los sistemas pueden ser representados de muchas formas tomando en cuenta los elementos o variables claves en esta representación. Se puede tener descripciones del comportamiento de estas variables. Se pueden emplear diagramas causales donde se muestran los bucles realimentados del sistema. Otra forma es a través de gráficos que muestren el comportamiento de las variables a través del tiempo. También se pueden emplean diagramas de Forrester en este proceso para representar los mecanismos básicos del sistema.

#### 4. Formulación del Modelo

La visión del mundo del lenguaje de programación determina la clase de problemas que este puede manejar, es importante para el modelador ver a través del punto de vista del lenguaje. En el enfoque de dinámica de sistemas se convierten los diagramas de realimentación a ecuaciones de niveles y flujos.

También se estiman y seleccionan los valores de los parámetros del modelo. Esto implica estudiar una gran cantidad de datos y llevarlo a una forma manejable. Donde se pueden tener el ingreso directo de fenómenos observados (por ejemplo de variables exógenas). Se pueden reducir los datos a través de una ecuación que relaciona una o más elementos. También se tienen disponibles tablas, funciones y otras características que hacen posible la formulación del modelo.

Las ecuaciones implementadas deben representar fielmente el modelo como una abstracción del sistema real. Si no sucede esto es porque existe error en el código o el modelo no es una correcta abstracción.

#### 5. Evaluación del Modelo

Se simula el modelo y se prueban las hipótesis dinámicas y se prueban las suposiciones del modelo.

Para validar el modelo de simulación, se podría reducir este a un simple caso, con toda la aleatoriedad eliminada o también compararlas con modelos estadísticos que relacionen menos variables. Otra de las formas sería comparándolo con la operación de un sistema del mundo real. En general estas son las formas de validar. No existe manera alguna de garantizar que el modelo y el sistema real respondan en la misma manera cuando los parámetros se varían; pero esto es lo mejor que se puede hacer respecto a la validación.

Se simula el modelo para analizar como se comportan todas las variables del modelo a través del tiempo y se realiza un análisis de sensibilidad a perturbaciones. Los experimentos a desarrollarse habrán sido articulados tan pronto como se dio la fase de articulación de metas del modelo, o podría involucrar algunas modificaciones al modelo en esta etapa. Se pueden emplear técnicas para controlar los experimentos, replica de ejecuciones, volver a establecer secuencias aleatorias para las comparaciones bajo situaciones idénticas, para procesos aleatorios aislados reducir o eliminar la correlación.

## 6. Análisis de Políticas y uso del modelo

En esta fase se prueban políticas alternativas a través del modelo, y se analiza si pueden ser implementadas. Adicionalmente se puede transformar el modelo a una forma más accesible a ser tratada por el usuario.

---

## CAPITULO DOS

---

### PENSAMIENTO SISTÉMICO

#### ***2.1. DISCIPLINAS DE LA ORGANIZACION INTELIGENTE***

En la actualidad, cinco nuevas "tecnologías de componentes" convergen para innovar las organizaciones inteligentes. Aunque se desarrollaron por separado, cada cual resultará decisivo para el éxito de las demás, tal como ocurre con cualquier conjunto. Cada cual brinda una dimensión vital para la construcción de organizaciones con auténtica capacidad de aprendizaje, aptas para perfeccionar continuamente su habilidad para alcanzar sus mayores aspiraciones.

##### ***2.1.1. PENSAMIENTO SISTEMICO***

Se espesan las nubes, el cielo se oscurece, las hojas flamean, y sabemos que lloverá. También sabemos que después de la tormenta el agua de desagüe caerá en ríos y lagunas a kilómetros de distancia, y que el cielo estará despejado para mañana. Todos estos acontecimientos están distanciados en el espacio y en el tiempo, pero todos están conectados dentro del mismo patrón. Cada cual influye sobre el resto, y, la influen-



cia está habitualmente oculta. Sólo se comprende el sistema de la tormenta al contemplar el todo no cada elemento individual.

Los negocios y otras empresas humanas también son sistemas. También están ligados por tramas invisibles de actos interrelacionados, que a menudo tardan años en exhibir plenamente sus efectos mutuos. Como nosotros mismos formamos parte de esa urdimbre, es doblemente difícil ver todo el patrón de cambio. Por el contrario, solemos concentrarnos en fotos instantáneas, en partes aisladas del sistema, y nos preguntamos por qué nuestros problemas más profundos nunca se resuelven. El pensamiento sistémico es un marco conceptual, un cuerpo de conocimientos y herramientas que se ha desarrollado en los últimos cincuenta años, para que los patrones totales resulten más claros, y para ayudarnos a modificarlos.

Aunque las herramientas son nuevas, suponen una visión del mundo extremadamente intuitiva; experimentos realizados con niños demuestran que ellos aprenden rápidamente el pensamiento sistémico.

### **2.1.2. DOMINIO PERSONAL**

Dominio puede sugerir la dominación de personas o cosas. Pero dominio también alude a un nivel muy especial de habilidad. Un maestro artesano domina la alfarería o el tejido, pero no "ejerce dominación" sobre estas actividades. La gente con alto nivel de dominio personal es capaz de alcanzar coherentemente los resultados que más le importan: aborda la vida como un artista abordaría una obra de arte. Lo consigue consagrándose a un aprendizaje incesante.

El dominio personal es la disciplina que permite aclarar y ahondar continuamente nuestra visión personal, concentrar las energías, desarrollar paciencia y ver la realidad objetivamente. En cuanto tal, es

una piedra angular de la organización inteligente, su cimiento espiritual. El afán y la capacidad de aprender de una organización no pueden ser mayores que las de sus miembros. Las raíces de esta disciplina se nutren de tradiciones espirituales de Oriente y Occidente, así como de tradiciones seculares.

Asombrosamente, sin embargo, pocas organizaciones alientan el crecimiento de sus integrantes. Esto genera un gran derroche de recursos. "Las personas ingresan en los negocios como individuos brillantes, cultos y entusiastas, rebosantes de energías y deseos de introducir cambios - dice Bill O'Brien, de Hanover Insurance-. Cuando llegan a los treinta años, algunos se concentran sólo en su propia promoción y los demás reservan su tiempo para hacer lo que les interesa en el fin de semana. Pierden el compromiso, el sentido de misión y el estímulo con que iniciaron su carrera. Aprovechamos muy poco de sus energías y casi nada de su espíritu."

Muy pocos adultos se afanan por desarrollar rigurosamente su dominio personal. Cuando preguntamos a los adultos qué quieren de la vida, la mayoría habla primero de aquello que querrían quitarse de encima: "Ojalá mi suegra se mudara a otra parte", "Ojalá se me fuera esta molestia de la espalda". La disciplina del dominio personal, en cambio, comienza por aclarar las cosas que de veras nos interesan, para poner nuestra vida al servicio de nuestras mayores aspiraciones.

Aquí interesan ante todo las conexiones entre aprendizaje personal y aprendizaje organizacional, los compromisos recíprocos entre individuo y organización, el espíritu especial de una empresa constituida por gentes capaces de aprender.

### **2.1.3.    *MODELOS MENTALES***

Los "modelos mentales" son supuestos hondamente arraigados, generalizaciones e imágenes que influyen sobre nuestro modo de comprender el mundo y actuar. A menudo no tenemos conciencia de nuestros modelos mentales o los efectos que surten sobre nuestra conducta. Por ejemplo, notamos que una compañera del trabajo se viste con elegancia, y nos decimos: "Ella es típica de un club campestre". Si vistiera con desaliño, diríamos: "No le importa lo que piensan los demás". Los modelos mentales de conducta empresarial también están profundamente arraigados. Muchas percepciones acerca de mercados nuevos o de prácticas organizacionales anticuadas no se llevan a la práctica porque entran en conflicto con poderosos y tácitos modelos mentales.

Royal Dutch/Shell, una de las primeras organizaciones grandes que comprendió las ventajas de acelerar el aprendizaje organizacional, llegó a reparar en la profunda influencia de los modelos mentales ocultos, sobre todo los compartidos por gran cantidad de personas. El extraordinario éxito administrativo de Shell durante los drásticos cambios en el imprevisible mundo petrolero de los años 70 y 80 se debió en gran medida a que aprendió a revelar y desafiar los modelos mentales de los directivos. (A principios de los 70 Shell era la más débil de las siete grandes compañías petroleras: a fines de los 80 era la más fuerte.) El retirado Arie de Geus, ex coordinador de Planificación de Grupo de Shell, declara que la adaptación continua y el crecimiento en un ámbito cambiante dependen del "aprendizaje institucional, que es el proceso mediante el cual los equipos de management modifican modelos mentales compartidos acerca de la compañía sus mercados y sus competidores. Por esta razón pensamos que la planificación es aprendizaje y la planificación empresarial es aprendizaje institucional.

La disciplina de trabajar con modelos mentales empieza por volver el espejo hacia adentro: aprender a exhumar nuestras imágenes internas del mundo, para llevarlas a la superficie y someterlas a un riguroso escrutinio. También incluye la aptitud Para entablar conversaciones abiertas donde se equilibre la indagación (actitud inquisitiva) con la persuasión, donde la gente manifieste sus pensamientos para exponerlos a la influencia de otros.

#### **2.1.4. CONSTRUCCION DE UNA VISIÓN COMPARTIDA**

Si una idea sobre el liderazgo ha inspirado a las organizaciones durante miles de años, es la capacidad para compartir una imagen del futuro que se procura crear. Cuesta concebir una organización que haya alcanzado cierta grandeza, sin metas, valores y misiones que sean profundamente compartidos dentro de la organización. IBM tenía "servicio"; Polaroid tenía fotografía instantánea; Ford tenía transporte público para las masas, Apple tenía informática para las masas. Aunque muy diferentes en especie y contenido, estas organizaciones lograron unir a la gente en torno de una identidad y una aspiración común.

Cuando hay una visión genuina (muy opuesta a la familiar "formulación de *visión*"), la gente no sobresale ni aprende porque se lo ordenen sino porque lo desea. Pero muchos líderes tienen visiones personales que nunca se traducen en visiones compartidas y estimulantes. Con frecuencia, la visión compartida de una compañía gira en torno del carisma del líder, o de una crisis que acicatea a todos temporariamente. Pero, dada la opción, la mayoría de la gente prefiere perseguir una meta elevada, no sólo en tiempos de crisis sino en todo momento. Lo que faltaba era una disciplina para traducir la visión individual en una visión

compartida: no un "recetario", sino un conjunto de principios y prácticas rectoras.

La práctica de la visión compartida supone aptitudes para configurar "visiones del futuro" compartidas que propicien un compromiso genuino antes que un mero acatamiento. Al dominar esta disciplina, los líderes aprenden que es contraproducente tratar de imponer una visión, por sincera que sea.

### **2.1.5. APRENDIZAJE EN EQUIPO**

¿Cómo puede un equipo de managers talentosos con un cociente intelectual de 120 tener un cociente intelectual colectivo de 63? La disciplina del aprendizaje en equipo aborda esta paradoja. Sabemos que los equipos pueden aprender; en los deportes, en las artes dramáticas, en la ciencia y aun en los negocios, hay sorprendentes ejemplos donde la inteligencia del equipo supera la inteligencia de sus integrantes, y donde los equipos desarrollan aptitudes extraordinarias para la acción coordinada. Cuando los equipos aprenden de veras, no sólo generan resultados extraordinarios sino que sus integrantes crecen con mayor rapidez.

La disciplina del aprendizaje en equipo comienza con el "diálogo", la capacidad de los miembros del equipo para "suspender los supuestos" e ingresar en un auténtico "pensamiento conjunto". Para los griegos, diálogos significaba el libre flujo del significado a través del grupo, lo cual permitía al grupo descubrir percepciones que no se alcanzaban individualmente. Es interesante señalar que la práctica del diálogo se ha preservado en muchas culturas "primitivas", tales como las del indio norteamericano, pero se ha perdido totalmente en la sociedad moderna. Hoy se están redescubriendo los principios y la práctica del diálogo, y se procura integrarlos a un contexto contemporáneo. (Diálogo difiere de "discusión", que tiene las mismas raíces que

"percusión" y "concusión", y literalmente consiste en un "peloteo" de ideas en una competencia donde el ganador se queda con todo.)

La disciplina del diálogo también implica aprender a reconocer los patrones de interacción que erosionan el aprendizaje en un equipo. Los patrones de defensa a menudo están profundamente enraizados en el funcionamiento de un equipo. Si no se los detecta, atentan contra el aprendizaje. Si se los detecta y se los hace aflorar creativamente, pueden acelerar el aprendizaje.

El aprendizaje en equipo es vital porque la unidad fundamental de aprendizaje en las organizaciones modernas no es el individuo sino el equipo. Aquí es donde "la llanta muerde el camino ": si los equipos no aprenden, la organización no puede aprender.

Si la organización inteligente fuera una innovación en ingeniería, como el aeroplano o el ordenador personal, los componentes se denominarían "tecnologías". Para una innovación en conducta humana, es preciso ver los componentes como disciplinas. Por "disciplina" no aludo a un "orden impuesto" o un "medio de castigo", sino un corpus teórico y técnico que se debe estudiar y dominar para llevarlo a la práctica. Una disciplina es una senda de desarrollo para adquirir ciertas aptitudes o competencias. Al igual que en cualquier disciplina, desde la ejecución del piano hasta la ingeniería eléctrica, algunas personas tienen un "don" innato, pero con la práctica cualquiera puede desarrollar un grado de habilidad.

La práctica de una disciplina supone un compromiso constante con el aprendizaje. "Nunca se llega": uno se pasa la vida dominando disciplinas. Nunca se puede decir: "Somos una organización inteligente", así como nadie puede decir "Soy una persona culta". Cuanto más aprendemos, más comprendemos nuestra ignorancia. Una empresa

no puede ser "excelente", en el sentido de haber alcanzado una excelencia permanente; siempre está practicando las disciplinas del aprendizaje, al borde de ser mejor o peor.

No es novedad que las organizaciones se puedan beneficiar merced a las disciplinas. A fin de cuentas, las disciplinas de administración -tales como la contabilidad- existen desde hace tiempo. Pero las cinco disciplinas de aprendizaje difieren de las disciplinas más tradicionales de la administración por ser "personales". Cada cual se relaciona con nuestro modo de pensar, con lo que queremos y con nuestra manera de interactuar y aprender mutuamente. En este sentido, se parecen más a las disciplinas artísticas que a las disciplinas administrativas tradicionales. Más aún, aunque la contabilidad es buena para "contar el puntaje", nunca hemos abordado las tareas más sutiles de construir organizaciones, de realzar su aptitud para la innovación y la creatividad, de modelar la estrategia y diseñar políticas y estructuras mediante la asimilación de disciplinas nuevas. Por ello las grandes organizaciones son a menudo fugaces: disfrutan su momento bajo el sol y luego se repliegan en silencio hacia las filas de los mediocres.

Practicar una disciplina es diferente de emular un "modelo". A menudo las innovaciones en administración se describen haciendo referencia a las "mejores prácticas" de las llamadas empresas líderes. Aunque estas descripciones son interesantes, causan más daños que beneficios y generan una copia fragmentaria y el afán de alcanzar a los demás. No creo que las grandes organizaciones se construyan mediante el intento de emular a otras, así como la grandeza individual no se logra tratando, de copiar a otra "gran persona".

Cuando las cinco disciplinas que componen el aprendizaje hayan confluido, no crearán

la organización inteligente, sino una nueva oleada de experimentación y progreso.

## **2.2. LA QUINTA DISCIPLINA**

Es vital que las cinco disciplinas se desarrollen como un conjunto. Esto representa un desafío porque es mucho más difícil integrar herramientas nuevas que aplicarlas por separado. Pero los beneficios son inmensos.

Por eso el pensamiento sistémico es la quinta disciplina. Es la disciplina que integra las demás disciplinas, fusionándolas en un cuerpo coherente de teoría y práctica. Les impide ser recursos separados o una última moda. Sin una orientación sistémica, no hay motivación para examinar cómo se interrelacionan las disciplinas. Al enfatizar cada una de las demás disciplinas, el pensamiento sistémico nos recuerda continuamente que el todo puede superar la suma de las partes.

Por ejemplo, la visión sin pensamiento sistémico termina por pintar seductoras imágenes del futuro sin conocimiento profundo de las fuerzas que se deben dominar para llegar allá. Esta es una de las razones por las cuales muchas firmas que en los últimos años se han entusiasmado con las "visiones", descubren que estas no bastan para modificar la suerte de una empresa. Sin pensamiento sistémico, la semilla de la visión cae en un terreno árido. Si predomina el pensamiento asistémico, no se satisface la primera condición para el cultivo de una visión: la creencia genuina de que en el futuro podremos concretar nuestra visión. Aunque declamemos que podemos al nuestra visión (la mayoría de los directivos norteamericanos están condicionados para profesar esta creencia), nuestra visión tace de la realidad actual como un conjunto de condiciones creadas por los demás nos traiciona.

Pero el pensamiento sistémico también requiere las disciplinas concernientes a la visión compartida, los modelos mentales, el aprendizaje en equipo y el dominio personal para realizar su potencial. La construcción de una visión compartida alienta un compromiso a largo plazo. Los modelos Mentales enfatizan la apertura necesaria para desnudar las limitaciones de nuestra manera actual de ver el mundo. El aprendizaje en



equipo desarrolla las aptitudes de grupos de personas para buscar una figura más amplia que trascienda las perspectivas individuales. Y el dominio personal alienta la motivación personal para aprender continuamente cómo nuestros actos afectan el mundo. Sin dominio de sí mismas, las personas se afincan tanto en un marco mental reactivo ("alguien/algo está creando mis problemas") que resultan profundamente amenazadas por la perspectiva sistémica.

Por último, el pensamiento sistémico permite comprender el aspecto más sutil de la organización inteligente, la nueva percepción que se tiene de sí mismo y del mundo. En el corazón de una organización Inteligente hay un cambio de perspectiva: en vez de considerarnos separados del mundo, nos consideramos conectados con el mundo-, en vez de considerar que un factor "externo" causa nuestros problemas, vemos que nuestros actos crean los problemas que experimentamos. Una organización inteligente es un ámbito donde la gente descubre continuamente cómo crea su realidad. Y cómo puede modificarla. Como dijo Arquímedes, "Dadme una palanca y moveré el mundo".

### ***2.3. UN CAMBIO DE ENFOQUE***

Las herramientas sofisticadas de pronóstico y análisis, así como elegantes planes estratégicos, a menudo fracasan en el intento de generar mejoras rápidas en la administración de una empresa. Están diseñadas para manipular la complejidad donde hay muchas variables: complejidad en los detalles. Pero hay dos tipos de complejidad. El segundo tipo es la complejidad dinámica, situaciones donde la, causa y el efecto son sutiles, y donde los efectos de la intervención a través del tiempo no son obvios. El pronóstico, la planificación y los métodos analíticos convencionales no están equipados para afrontar la complejidad dinámica.

Cuando la misma acción tiene efectos drásticamente distintos a corto y a largo plazo, hay complejidad dinámica. Cuando una acción tiene un conjunto de consecuencias locales y otro conjunto de consecuencias distintas en otra parte del sistema, hay complejidad dinámica. Cuando las intervenciones obvias producen consecuencias no obvias, hay complejidad dinámica.

Para hallar un punto de apalancamiento en la mayoría de las situaciones empresariales hay que comprender la complejidad dinámica, no la complejidad de los detalles.

La esencia de la disciplina de pensamiento sistémico radica en un cambio de enfoque:

- ver las interrelaciones en vez de concatenaciones lineales de causa efecto; y
- ver procesos de cambio en vez de "instantáneas".

La práctica del pensamiento sistémico comienza con la comprensión de un concepto simple llamado feedback o "realimentación", que muestra cómo los actos pueden reforzarse o contrarrestarse (equilibrarse) entre sí.

El pensamiento sistémico ofrece un rico lenguaje para describir una vasta gama de interrelaciones y patrones de cambio. En última instancia simplifica la vida porque ayuda a ver los patrones más profundos que subyacen a los acontecimientos y los detalles.

### **2.3.1. CIRCULOS DE CAUSALIDAD**

La realidad está constituida por círculos pero vemos líneas rectas. Aquí radica el comienzo de nuestra limitación como pensadores sistémicos.

Una de las razones de esta fragmentación de nuestro pensamiento surge del lenguaje. El lenguaje modela la percepción. Lo que vemos depende de cómo estemos preparados para verlo.

Si queremos ver interrelaciones sistémicas, necesitamos un lenguaje de interrelaciones, un lenguaje constituido por círculos. En el pensamiento sistémico, realimentación es un concepto más amplio. Alude a todo un flujo recíproco de influencia. En el pensamiento sistémico es un axioma que toda la influencia es causa y efecto. Nunca hay influencias en una sola dirección.

El concepto de realimentación complica el problema ético de la responsabilidad. Una visión lineal siempre sugiere un solo lugar de responsabilidad. La perspectiva de la realimentación sugiere que todos comparten la responsabilidad por los problemas generados por un sistema. Además el concepto de realimentación ilumina las limitaciones de nuestro lenguaje.

Hay muchas situaciones donde las descripciones lineales simples bastan y buscar procesos de realimentación es una pérdida de tiempo. Pero no cuando afrontamos problemas de complejidad dinámica.

### **Refuerzo y equilibrio de la realimentación y las demoras: los ladrillos del pensamiento sistémico**

Hay dos tipos de procesos de realimentación: de refuerzo y equilibrio. Los procesos de realimentación reforzadora (o amplificadora) son los motores del crecimiento. Cuando estamos en una situación donde las cosas crecen, está operando la realimentación reforzadora. La realimentación reforzadora también puede generar la aceleración de la decadencia: un patrón de deterioro donde gotas pequeñas se amplifican formando gotas cada vez mayores, como el deterioro de los patrimonios bancarios cuando hay pánico financiero.

La realimentación compensadora (o estabilizadora) opera cuando hay una conducta orientada hacia las metas. Si la meta consiste en no moverse, la realimentación compensadora actúa como los frenos de un coche. Si la meta es moverse a noventa kilómetros por hora, la realimentación compensadora nos acelera hasta noventa por hora, pero no más. La "meta" puede ser un objetivo explícito, como cuando una firma procura determinada participación en el mercado, o implícito, como un hábito perjudicial al cual nos apegamos contra nuestra voluntad.

Además, muchos procesos de realimentación pueden contener demoras, interrupciones en el flujo de influencia que hacen que las consecuencias de los actos emerjan gradualmente.

### **Realimentación reforzadora: cómo crecen los cambios pequeños**

Si estamos en un sistema de realimentación reforzadora, quizá no veamos cómo los actos pequeños pueden redundar en consecuencias grandes, para mejor o para peor. Ver el sistema a menudo nos permite influir en su funcionamiento.

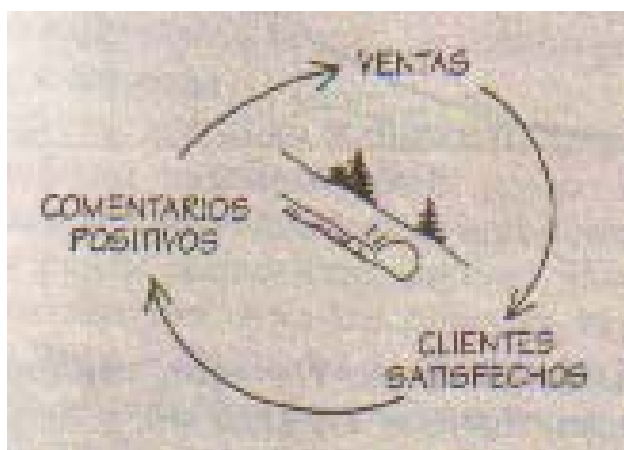
Por ejemplo, muchos gerentes no llegan a apreciar en qué medida sus expectativas influyen sobre el desempeño de los subordinados. Si ven que un individuo tiene mucho potencial, le dedican atención especial para desarrollar dicho potencial. Cuando evoluciona, entienden que su evaluación original era correcta y lo ayudan aún más. Inversamente, los individuos a quienes consideran dotados con menor potencial languidecen desprovistos de consideraciones, se desempeñan con desinterés y justifican aún más la falta de atención.

En los *procesos reforzadores* un cambio pequeño se alimenta de sí mismo. Todo movimiento es amplificado, produciendo más movimiento en la misma dirección. Un acto pequeño crece como una bola de nieve, repitiéndose una y otra vez, como el interés compuesto. Algunos procesos reforzadores (amplificadores) son "círculos viciosos" donde las cosas empiezan mal y terminan peor. La "crisis de la gasolina" es un ejemplo clásico. El rumor de que la gasolina iba a escasear indujo a mucha gente a ir a la gasolinera local para llenar el tanque. Cuando la gente empezó a ver hileras de coches, se convenció de que la crisis era real. Luego sobrevinieron el pánico y el acaparamiento. Todos llenaban el tanque

apenas vaciaban la cuarta parte, para no ser sorprendidos por surtidores vacíos.

Pero no hay nada inherentemente malo en los rizos reforzadores. También hay "círculos virtuosos", ciclos que se refuerzan en direcciones deseadas. Por ejemplo, el crecimiento de cualquier producto nuevo implica espirales reforzadoras. Por ejemplo, muchos productos crecen a partir de la fama propagada de boca en boca. Esto crea una bola de nieve a medida que los clientes satisfechos hablan con otros, que se transforman en clientes satisfechos, que luego hablan con otros.

He aquí un diagrama de ese proceso:



### **Procesos compensadores: estabilidad y resistencia**

Un sistema compensador es un sistema que busca la estabilidad. Si nos agrada la meta del sistema seremos felices. De lo contrario, todos nuestros esfuerzos para cambiar la situación quedarán frustrados, hasta que podamos cambiar la meta o debilitar su influencia.

A la naturaleza le agrada el equilibrio, pero muchas veces los humanos actúan contra

el equilibrio y pagan el precio. Por ejemplo, los gerentes que sufren presiones presupuestarias a menudo reducen el personal para bajar los costes, pero eventualmente descubren que el personal restante trabaja más de la cuenta y los costes no se han reducido, porque muchas tareas se han delegado en consultores o porque las horas extra consumen la diferencia. Los costes no descienden porque el *sistema tiene su propio orden*. Hay una meta implícita, tácita pero muy real: la cantidad de trabajo que se espera realizar.

En un sistema compensador (estabilizador), la autocorrección procura mantener una meta u objetivo. Contratar nuevos empleados es un proceso compensador con la meta de tener determinada fuerza laboral o tasa de crecimiento.

Hay procesos de realimentación compensadora, en todas partes. Subyacen a toda conducta orientada hacia una meta.

Las organizaciones y las sociedades semejan organismos complejos porque también tienen miles de procesos de realimentación compensadora. En las empresas, el proceso de producción y pedido de material se ajusta constantemente en respuesta a cambios en los pedidos entrantes: los precios de corto plazo (descuentos) y de largo plazo (lista) se ajustan en respuesta a cambios en la demanda o los precios de los competidores; el pedido de préstamos se ajusta con cambios en los balances de caja o las necesidades financieras.



La planificación crea procesos compensadores de largo plazo. Un plan de recursos humanos establece objetivos de crecimiento de largo plazo en la cantidad y las aptitudes de los empleados, de acuerdo con las necesidades previstas. Los planes de estudio de mercado y los planes de investigación y desarrollo modelan el desarrollo de nuevos productos e inversiones en personal, tecnologías y planta de capitales para elaborar una ventaja competitiva.

Los procesos compensadores son dificultosos en administración porque las metas a menudo son implícitas, y nadie reconoce que el proceso compensador existe.

Para comprender cómo funciona un organismo debemos sus procesos compensatorios explícitos e implícitos.

Dos hospitales de Boston, ambos con una destacada tradición en la atención a los pacientes, se fusionaron hace varios años; el nuevo hospital, más grande, tenía instalaciones flamantes pero perdió el espíritu de atención al paciente y lealtad de los empleados que caracterizaban a las instituciones originales. En el hospital nuevo, nuevas estructuras y procedimientos administrativos desquiciaron sutiles procesos compensatorios que controlaban la calidad, satisfacían las necesidades de los emplea-

dos y mantenían relaciones amistosas con los pacientes.

Los procesos compensadores pueden generar conductas asombrosas y problemáticas si pasan inadvertidos.

En general, los rizados compensadores son más difíciles de ver que los rizados reforzadores porque a menudo parece que no está pasando nada.

Los dirigentes que intentan cambios organizacionales a menudo se sorprenden atrapados en procesos compensadores. Ellos tienen la impresión de que sus esfuerzos se topan con una resistencia repentina de origen misterioso. La resistencia es una reacción del sistema, que procura mantener una meta implícita. Mientras esta meta no se reconozca, el esfuerzo en pos del cambio está condenado al fracaso.

Cuando hay "resistencia al cambio", sin duda hay uno o más procesos compensadores "ocultos". En vez de presionar más para superar la resistencia al cambio, los dirigentes astutos discernen el origen de esa resistencia y atacan las normas implícitas y las relaciones de poder donde están encastradas las normas.

### **Demoras: la clave es "finalmente"**

Como hemos visto, los sistemas parecen tener una mente propia. Esto es muy evidente en las demoras, las pausas entre nuestros actos y sus consecuencias. Las demoras pueden inducirnos a grandes yerros, o tener un efecto positivo si las reconocemos o trabajamos con ellas.

Uno de los puntos de apalancamiento más relevantes para mejorar el desempeño de un sistema es la minimización de demoras en el sistema. Las demoras entre los actos y consecuencias están por doquier en los siste-



mas humanos. Invertimos ahora para cosechar un beneficio en el futuro distante; contratamos a una persona hoy pero pueden pasar meses hasta que sea plenamente productiva; comprometemos recursos en un proyecto nuevo sabiendo que pasarán años antes que resulte provechoso.

Pero las demoras a veces pasan inadvertida y conducen a la inestabilidad. Cuando el efecto de una variable sobre otra lleva tiempo provoca demoras. Las demoras no reconocidas también pueden conducir a la inestabilidad y el colapso, especialmente cuando son prolongadas.

La perspectiva sistémica enfatiza el largo plazo. Por eso las demoras y los rizos de realimentación son tan importantes. En el corto plazo, a menudo podemos ignorarlos porque no tienen relevancia. Sólo regresan para acecharnos en el largo plazo.

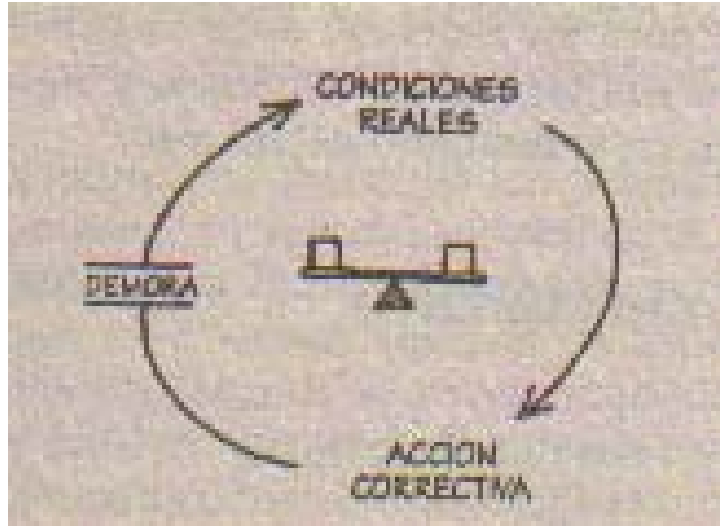
## **2.4. ARQUETIPOS SISTÉMICOS**

Aprender a ver las estructuras dentro de las cuales operamos, activamos un proceso de liberación respecto de fuerzas invisibles y adquirimos capacidad para trabajar con ellas y modificarlas. Uno de los conceptos más importantes y decisivos en el joven campo del pensamiento sistémico es la idea de que ciertos patrones estructurales son recurrentes. Estos "arquetipos sistémicos" o "estructuras genéricas" constituyen la clave para aprender a ver estructuras en nuestra vida personal y laboral.

En las organizaciones inteligentes, el pensamiento sistémico se transforma en un agente cotidiano activo, que continuamente revela cómo creamos nuestra realidad, sólo cuando los gerentes comienzan a pensar en términos de arquetipos sistémicos. El propósito de los arquetipos sistémicos es reacondicionar nuestras percepciones para que sepamos ver las estructuras en juego, y ver el punto de apalancamiento de esas estructuras.

### 2.4.1. COMPENSACIÓN ENTRE PROCESO Y DEMORA

**Estructura:**



**Descripción:** Una persona, un grupo o una organización, actuando con miras a una meta, adaptan su conducta en respuesta a la realimentación demorada. Si no son conscientes de la demora, realizan más acciones correctivas de las necesarias o a veces desisten porque no ven ningún progreso.

**Síntoma de advertencia:** "Creímos que estábamos en equilibrio, pero luego tomamos una medida excesiva". (Luego podemos tomar una medida excesiva en sentido contrario.)

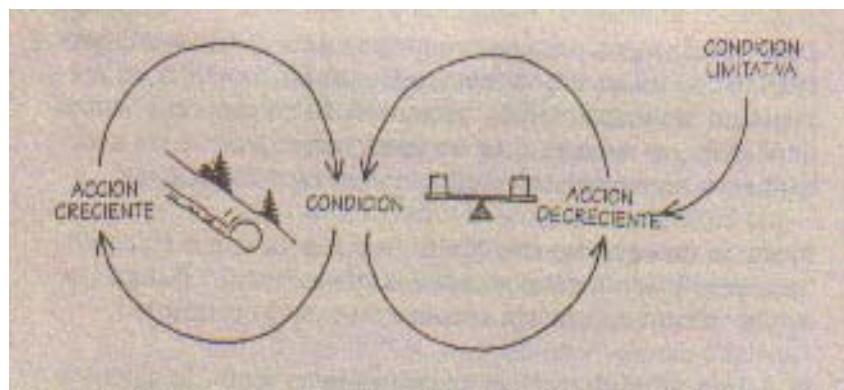
**Principio administrativo:** En un sistema lento, la agresividad produce inestabilidad. Debes ser paciente o lograr que el sistema reaccione mejor.

**Ejemplo:** Los agentes de bienes raíces siguen construyendo nuevas propiedades hasta saturar el mercado, pero para entonces hay más propiedades en construcción de las que el mercado necesita.

**Otros ejemplos:** Una ducha donde el agua caliente reacciona con lentitud ante los cambios en la posición del grifo; ciclos de saturación y escasez en producción/distribución; ciclos en las tasas de producción e inventario en proceso debidos a largos ciclos de manufacturación; la matanza de la plaza Tiananmen, donde el gobierno demoró su reacción ante la protesta y luego actuó con inesperada ferocidad; ascensos y descensos repentinos y excesivos en el mercado de valores.

#### **2.4.2.    *LIMITES DEL CRECIMIENTO***

**Estructura:**



**Descripción:** Un proceso se alimenta de sí mismo para producir un periodo de crecimiento o expansión acelerada. Luego el crecimiento se vuelve más lento (a menudo en forma inexplicable para quienes participan en el sistema) y pueda detenerse o se revierte e inicia un colapso acelerado.

La fase de crecimiento es causada por uno o varios procesos de realimentación reforzadora. La desaceleración surge por un proceso compensador que se activa cuando se llega a un "límite". El limite puede ser una restricción en los recursos o una reacción externa o interna ante el crecimiento. El colapso acelerado (cuando ocurre) surge

del proceso reforzador que se revierte, generando cada vez más contracción.

**Síntoma de advertencia:** "¿Por qué preocuparnos por problemas que no tenemos? Estamos creciendo muchísimo". (Poco después: "Claro que hay algunos problemas, pero sólo debemos volver a lo que antes funcionaba". Más tarde: "Cuanto más corremos más permanecemos en el mismo lugar".)

**Principio administrativo:** No presiones el proceso reforzador (de crecimiento), elimina (o debilita) el factor limitativo.

**Ejemplo:** Una compañía instituyó un programa de "acción afirmativa" que ganó en respaldo y actividad cuando se introdujeron empleados bien calificados pertenecientes a minorías étnicas en diversos equipos de trabajo. Pero, más tarde surgió una resistencia; se percibía que los nuevos empleados no se habían "ganado" el puesto compitiendo con otros aspirantes calificados. Cuanto más se presionaba a los equipos para aceptar nuevos miembros, más se resistían.

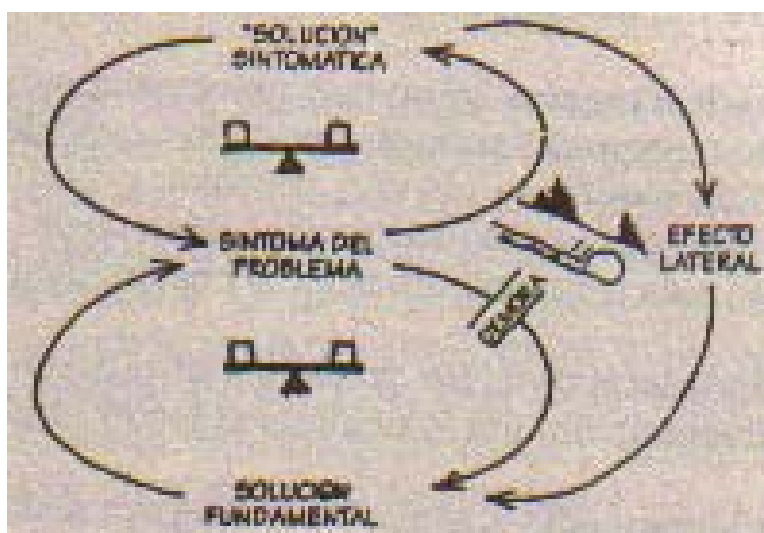
**Otros ejemplos:** Al adquirir una nueva destreza, como el tenis, progresamos rápidamente al principio, al ganar competencia y confianza, pero luego nos topamos con límites a nuestra aptitud natural, los cuales sólo se pueden superar aprendiendo nuevas técnicas que al principio se adquieren con "Menos naturalidad".

Una firma nueva que crece rápidamente hasta alcanzar un tamaño que requiere aptitudes administrativas más profesionales y mejor organización formal; un equipo de productos que trabaja magníficamente hasta que el éxito le induce a contratar a demasiados integrantes nuevos que no comparten ese estilo laboral ni los valores de los fundadores; una ciudad que crece hasta cubrir las tierras disponibles, con lo cual se elevan los precios de las viviendas; un movimiento

social que crece hasta toparse con creciente resistencia de los no conversos; una población animal que crece deprisa cuando elimina a sus depredadores naturales, y luego agota las pasturas y es víctima de la hambruna.

### **2.4.3. DESPLAZAMIENTO DE LA CARGA**

**Estructura:**



**Descripción:** Se usa una "solución" de corto plazo para corregir un problema, con resultados inmediatos aparentemente positivos. A medida que esta corrección se usa cada vez más, las medidas correctivas fundamentales, se aplican cada vez menos. Con el tiempo, las aptitudes para la solución fundamental se atrofian, creando mayor dependencia respecto de la solución sintomática.

**Síntoma de advertencia:** "¡Esta solución ha funcionado hasta ahora! ¿Quién dice que nos esperan problemas?"

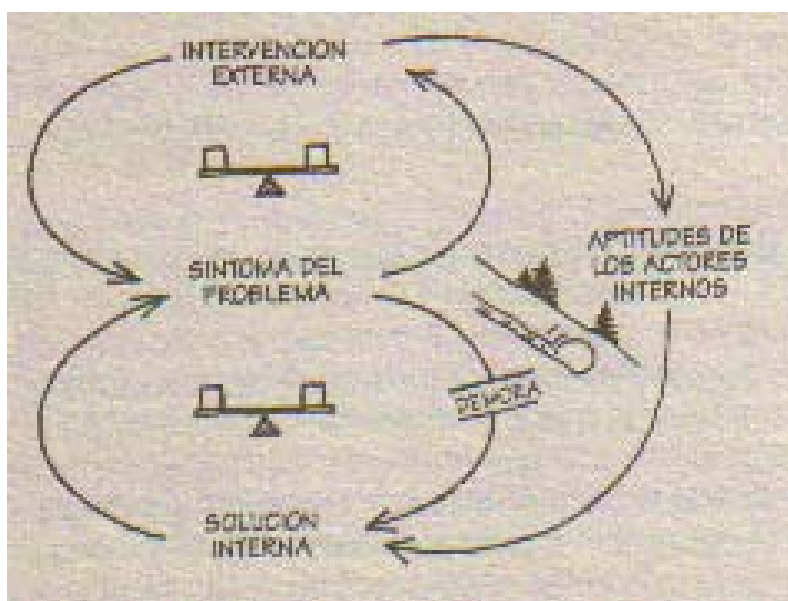
**Principio administrativo:** Concéntrate en la solución fundamental. Si la solución sintomática es imperativa (a causa de las demoras de la solución fundamental), úsala para ganar tiempo mientras trabajas en la solución fundamental.

**Ejemplo:** Un innovador tablero de circuitos se puede usar para desarrollar una funcionalidad única y ahorrar costes en muchas aplicaciones de productos, pero también puede sustituir los tableros existentes en productos actuales. Los vendedores pueden tratar de venderla a clientes especiales que aprecian las propiedades de esta tecnología y eventualmente diseñaran productos nuevos, que la explotarán plenamente ("solución fundamental") o venderla a "clientes generales" que no se interesan en dichas propiedades y simplemente la usarán como sustituto de otros tableros (solución sintomática). Dadas las presiones de los directivos para alcanzar objetivos de ventas, los vendedores venden a quien esté dispuesto a comprar, habitualmente "clientes generales", pues hay más de ellos y las demoras en el ciclo de ventas son más cortas. Con el tiempo, la nueva tecnología no obtiene una clientela leal y queda sujeta a las presiones de precios y de márgenes que caracterizan a los productos de consumo.

**Otros ejemplos:** Vender más a clientes existentes en vez de ampliar la clientela; pagar cuentas mediante pedidos de préstamos, en vez de someterse a la disciplina de un presupuesto; usar alcohol, drogas o incluso algo tan benéfico como el ejercicio para aliviar el estrés laboral, sin enfrentar la necesidad de controlar la carga laboral; y cualquier adicción a cualquier cosa en cualquier parte.

#### 2.4.4. CASO ESPECIAL DE LA CARGA HACIA LA INTERVENCION

**Estructura:**



Las estructuras de desplazamiento de la carga son tan comunes y perniciosas en caso de intervención externa que merecen una atención especial. La intervención procura aliviar síntomas de problemas obvios, y lo hace tan bien que los integrantes del sistema jamás aprenden a afrontar los problemas.

**Principio administrativo:** "Enseña a la gente a pescar, en vez de darle pescado". Concéntrate en afinar las aptitudes del "organismo huésped" para resolver sus propios problemas. Si se necesita ayuda externa, se debe limitar estrictamente a una intervención única (y todos deben saberlo de antemano) o ayudar a la gente a desarrollar su propia capacidad, recursos e infraestructura para que sea más capaz en el futuro.

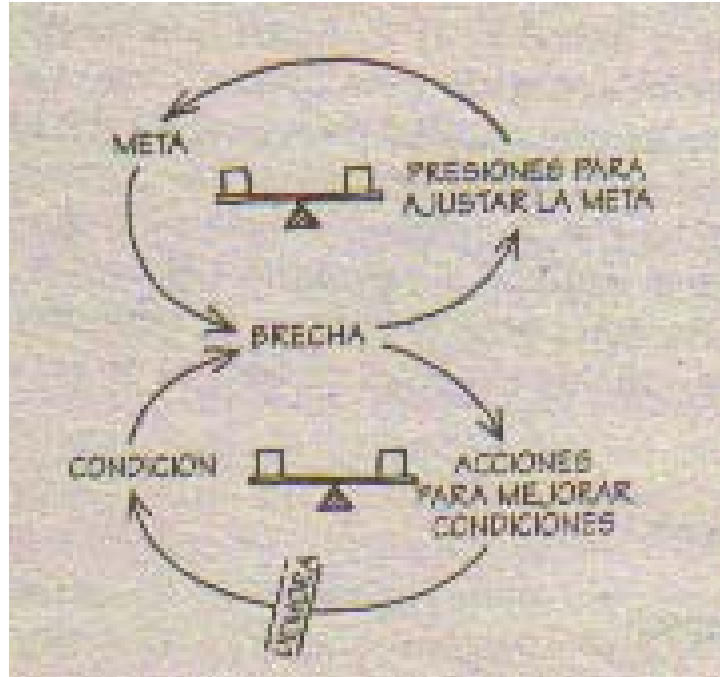
**Ejemplo:** Una innovadora compañía de seguros estaba comprometida con el concepto de filiales locales independientes que podían pedir asistencia ocasional al personal central. Inicialmente el concepto funcionaba bien, hasta que la industria sufrió una crisis. Afrontando graves pérdidas repentinas, las oficinas locales llamaron a gerentes centrales con mayor experiencia para que les ayudaran a reorganizar las estructuras de tasación, un proceso que llevaba meses. Entretanto, los gerentes locales se concentraron en administrar la crisis. La crisis se resolvió, pero la próxima vez que las estructuras de tasación se cuestionaron, las oficinas locales habían perdido confianza. Llamaron a los gerentes centrales "para mayor seguridad". Al cabo de varios años de esta conducta, las oficinas locales se encontraron sin gente que pudiera manejar independientemente las estructuras de tasación.

**Otros ejemplos:** Dependencia respecto de contratistas externos y no de personal interno. Muchas formas de asistencia gubernamental que procuran resolver problemas urgentes y sólo alientan la dependencia y la necesidad de incrementar la asistencia: sistemas de "bienestar" que alientan viviendas de una sola familia; programas de vivienda o educación laboral que atraen a los necesitados hacia las ciudades con los mejores programas; asistencia alimentaria a países en desarrollo, la cual reduce las muertes e incrementa el crecimiento demográfico; sistemas de seguridad social que reducen los ahorros personales y alientan la ruptura de la familia extendida.



#### 2.4.5. *EROSION DE METAS*

**Estructura:**



**Descripción:** Una estructura de desplazamiento de la carga donde la solución de corto plazo significa el deterioro de una meta fundamental de largo plazo.

**Síntoma de advertencia:** "No importa que nuestras pautas de desempeño se deterioren un poco, sólo hasta que termine la crisis".

**Principio administrativo:** Sostén la visión.

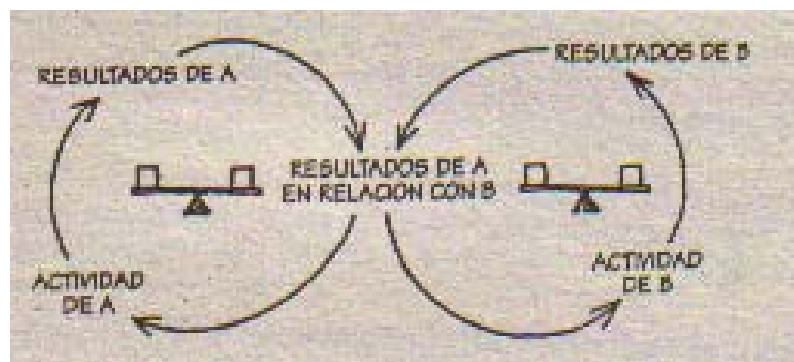
**Ejemplo:** Una fábrica de alta tecnología pierde participación en el mercado, a pesar de un producto magnífico y continuas mejoras. Pero la firma, orientada hacia sus "genios" del diseño, nunca tiene los planes

de producción bajo control. Un investigador externo descubrió que los clientes estaban cada vez más insatisfechos con los retrasos, y compraban productos de la competencia. La compañía se mantuvo en sus trece: "Hemos mantenido un éxito de 90 por ciento en satisfacer el tiempo de entrega prometido al cliente". Por lo tanto, buscó el problema en otra parte. Sin embargo, cada vez que la compañía sufría retrasos en la entrega, reaccionaba alargando el tiempo prometido. El tiempo de entrega prometido se volvía cada vez más largo.

**Otros ejemplos:** Personas de éxito que reducen sus expectativas sobre sí mismas y gradualmente tienen menos éxito. Firmas que tácitamente reducen sus pautas de calidad mediante reducciones de presupuesto, en vez de invertir en el desarrollo de una calidad más elevada (quizá con costes más reducidos) para hacer las cosas, proclamando entretanto su compromiso con la calidad. Objetivos reducidos del gobierno para "pleno empleo" o equilibrio del déficit nacional. Objetivos deteriorados para el control de contaminantes peligrosos o la protección de especies en peligro de extinción.

#### 2.4.6. **ESCALADA**

**Estructura:**



**Descripción:** Dos personas u organizaciones entienden que su bienestar depende de una ventaja relativa de una sobre la otra. Cuando una se adelanta, la otra se siente amenazada y actúa con mayor agresividad para recobrar su ventaja, lo cual amenaza a la primera, aumentando su agresividad y así sucesivamente. A menudo cada parte ve su conducta agresiva como una reacción defensiva ante la agresión de la otra; pero la "defensa" de cada parte deriva en una escalada que escapa a la voluntad de ambas.

**Síntoma de advertencia:** "Si nuestro oponente se aplacara, podríamos dejar de librar esta batalla para hacer otras cosas".

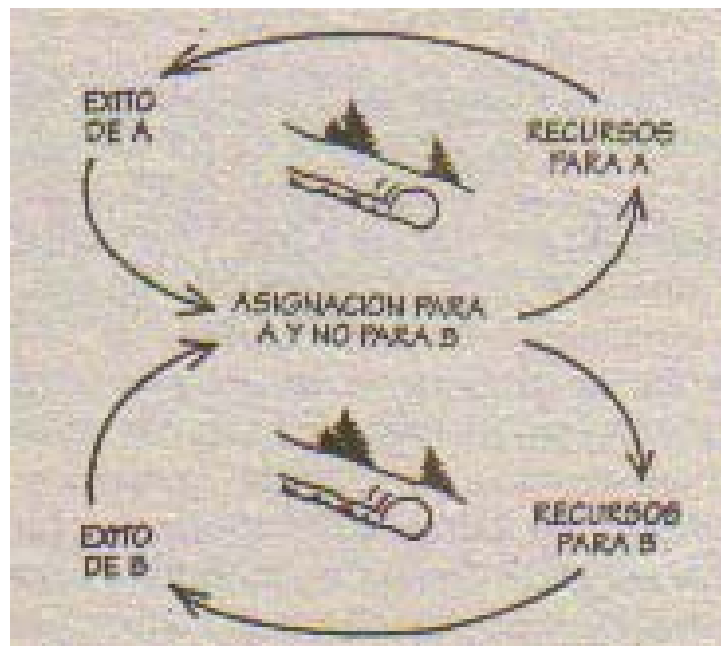
**Principio administrativo:** Busca el modo, de que ambas partes "ganen" o alcancen sus objetivos. En muchos casos, una parte puede revertir unilateralmente la espiral viciosa al realizar "agresivos" actos pacíficos que hagan sentir al otro menos amenazado.

Ejemplo: Una compañía desarrolló un ingenioso diseño para un cochecito que llevaba tres bebés al mismo tiempo pero era liviano y cómodo para los viajes. Fue un éxito inmediato entre familias con varios hijos. Casi simultáneamente surgió un competidor con un producto similar. Al cabo de varios años, envidiando la participación en el mercado de la otra compañía, la primera redujo el precio en 20 por ciento. La segunda compañía notó una merma en las ventas y también rebajó los precios. La primera compañía, todavía interesada en recobrar su parte en el mercado, bajó los precios aún más. La segunda compañía la imitó a regañadientes, aunque sus ganancias empezaban a ser afectadas. Varios años después, ambas compañías apenas lograban mantenerse a flote, y la supervivencia del cochecito triple era dudosa.

**Otros ejemplos:** Guerras de publicidad. Creciente recurrencia a los abogados para resolver disputas. Guerras de pandillas. La ruptura de un matrimonio. Estimaciones infladas de presupuesto: algunos grupos inflan sus estimaciones y otros los imitan para obtener su "trozo de pastel" lo cual induce a todos a inflar sus estimaciones aún más. La batalla para ser escuchado por el presidente de una compañía. Y, por cierto, la carrera armamentista.

#### **2.4.7. EXITO PARA QUIEN TIENE EXITO**

**Estructura:**



**Descripción:** Dos actividades compiten por recursos limitados. A mayor éxito, mayor respaldo, con lo cual la otra se queda sin recursos.

**Síntoma de advertencia:** Una de las dos actividades, grupos o individuos interrelacionados comienza a andar muy bien mientras el otro apenas subsiste.

**Principio administrativo:** Busca la meta abarcadora de logro equilibrado de ambas opciones. En algunos casos, rompe o debilita el eslabonamiento entre ambas, para que no compitan por el mismo recurso limitado (esto es deseable en casos donde ese eslabonamiento pasa inadvertido y crea una insalubre competencia por los recursos).

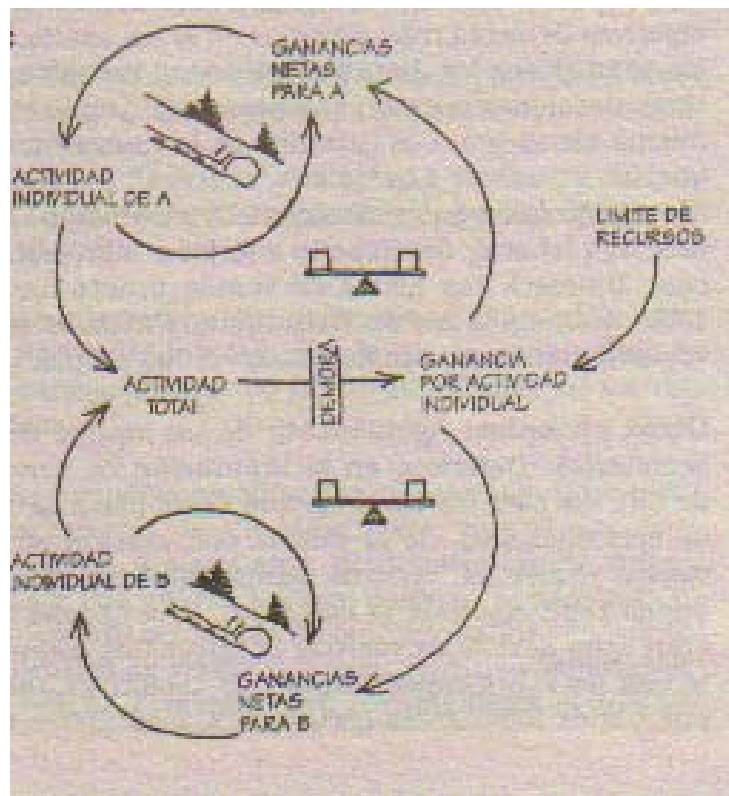
**Ejemplo:** Un manager tiene dos protegidos y desea que ambos progresen en la empresa. Sin embargo, uno empieza a recibir trato preferencial cuando el otro falta una semana por razones de salud. Cuando el segundo protegido regresa al trabajo, el manager se siente culpable y elude a esa persona, dando así aún más oportunidades al primer protegido. El primer protegido, intuyendo cierta aprobación, prospera, y así recibe más oportunidades. El segundo protegido, sintiéndose inseguro, realiza una labor menos efectiva y recibe aún menos oportunidades, aunque ambas personas tenían aptitudes similares al comienzo. Finalmente, el segundo protegido se va de la empresa.

**Otros ejemplos:** Equilibrio entre la vida familiar y laboral donde alguien dedica horas excesivas al trabajo y las relaciones familiares se deterioran, con lo cual se vuelve más "doloroso" regresar a casa, lo cual aumenta las posibilidades de seguir descuidando la vida familiar. Dos productos compiten por recursos financieros y administrativos limitados dentro de una empresa; uno obtiene un éxito inmediato en el mercado y recibe mayor inversión, lo cual agota los recursos disponibles para el otro, activando una espiral reforzadora que alimenta el crecimiento del primero y el abandono del segundo. Un alumno tímido em-

pieza mal en la escuela (quizá por trastornos emocionales o por un problema de aprendizaje que no se detectó), es calificado de "lento" y recibe cada vez menos aliento y atención que sus pares más avisados.

#### 2.4.8. **TRAGEDIA DEL TERRENO COMUN**

**Estructura:**



**Descripción:** Los individuos utilizan un recurso común pero limitado reparando únicamente en las necesidades individuales. Al principio son recompensados, pero eventualmente hay una disminución en las ganancias, lo cual les induce a intensificar los esfuerzos. Al final agotan o erosionan el recurso.

**Síntoma de advertencia:** "Había en abundancia para todos. Ahora las cosas están di-

EL ENFOQUE DE DINÁMICA DE SISTEMAS

fíciles. Si deseo sacar provecho este año, tendré que trabajar más”.

**Principio administrativo:** Administra el “terreno común” educando a todos y creando formas de autorregulación y presión de pares, o mediante un mecanismo de regulación oficial, idealmente diseñado por los participantes.

**Ejemplo:** Varias divisiones de una compañía acordaron compartir una fuerza de ventas al minorista. Cada gerente de distrito temía que la fuerza compartida no prestara suficiente atención a su área y el volumen declinara. Un gerente muy agresivo aconsejó a sus gerentes de cuentas que fijaran objetivos de venta más elevados de lo necesario, de modo que los vendedores les dieran al menos el respaldo mínimo. Las otras divisiones notaron esa presión y decidieron emplear la misma estrategia. Los gerentes de la nueva fuerza de ventas querían satisfacer a todos sus “clientes”, así que continuaron aceptando los requerimientos de las divisiones. Esto creó sobrecarga laboral, desempeño inferior e incremento de renunciaciones. Unirse a esa fuerza de ventas pronto fue tan popular como unirse a la Legión Extranjera, y cada división tuvo que volver a mantener una fuerza de ventas propia.

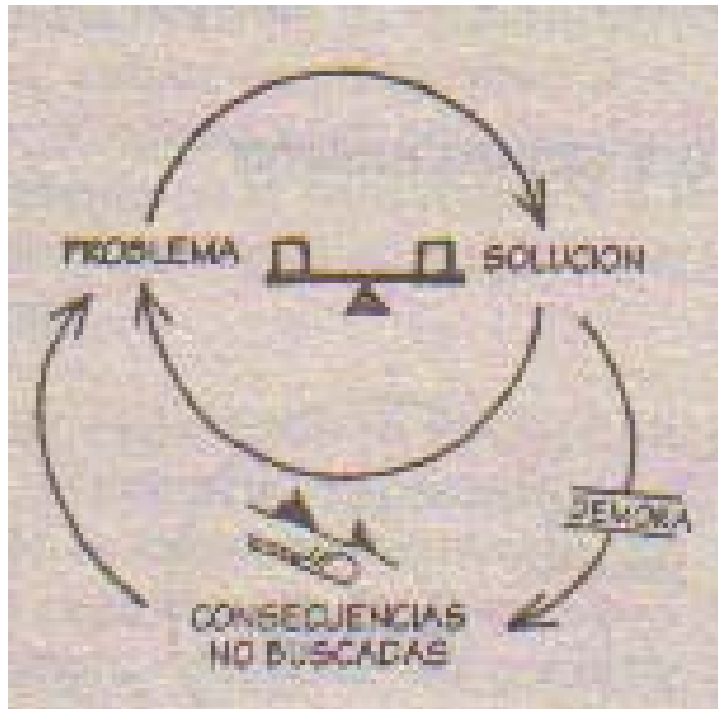
**Otros ejemplos:** Agotamiento de un equipo compartido de secretarías. Deterioro en la **reputación** de servicio después de que los clientes tuvieron que escuchar a seis vendedores de seis divisiones de la misma corporación, ofreciendo productos rivales (el “recurso compartido”, en este caso, era la buena reputación de la empresa). Una cadena minorista de gran éxito desiste de realizar promociones conjuntas de venta con los fabricantes después de recibir un diluvio de propuestas de fabricantes entusiasmados, o establece términos para *joint ventures* que dejan poca ganancia para los fabri-

cantes. El agotamiento de un recurso natural cuando varias compañías rivales lo explotan. Y desde luego, todos los problemas de contaminación, desde la lluvia ácida hasta el agotamiento del ozono y el efecto invernáculo.



#### 2.4.9. SOLUCIONES RAPIDAS QUE FALLAN

Estructura:



**Descripción:** Una solución eficaz en el corto plazo tiene consecuencias de largo plazo imprevistas que requieren más uso de la misma solución.

**Síntoma de advertencia:** "Siempre funcionó antes. ¿Por qué no funciona ahora?"

**Principio administrativo:** No descuides el largo plazo. De ser posible no recurras a las soluciones de corto plazo, o úsalas sólo para ganar tiempo mientras trabajas en un remedio duradero.

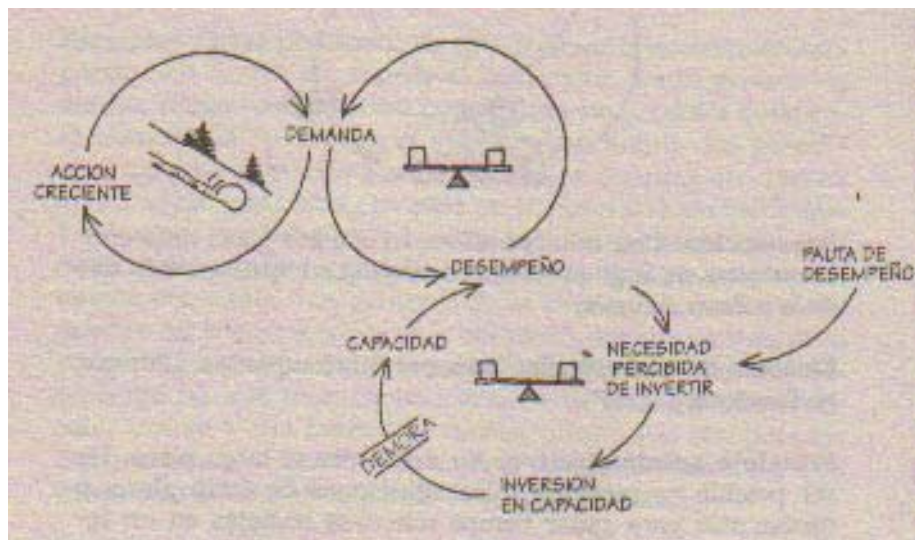
**Ejemplo:** Una compañía manufacturera lanzó un nuevo conjunto de componentes de alto desempeño, que al principio tuvieron gran éxito. Sin embargo, el directivo estaba empeñado en reducir sus gastos, así que postergó la adquisición de nuevas y costosas máquinas de producción. La calidad de la

manufacturación se resintió, lo cual creó una reputación de mala calidad. La demanda cayó abruptamente el año siguiente, lo cual redujo las ganancias y dejó al directivo con menos ganas de invertir en un nuevo equipo de producción.

**Otros ejemplos:** Personas y organizaciones que piden préstamos para pagar el interés de otros préstamos, con lo cual tendrán que pagar más intereses más tarde. Reducción de planes de mantenimiento para ahorrar en costes, lo cual conduce eventualmente a más fallos y costes más elevados, creando más presiones para reducir costes.

#### 2.4.10. *CRECIMIENTO Y SUBINVERSION*

**Estructura:**



**Descripción:** El crecimiento se aproxima a un límite que se puede eliminar o desplazar hacia el futuro si la empresa o individuo invierte en "capacidad" adicional. Pero la inversión debe ser intensa y rápida para impedir la reducción del crecimiento, pues de lo contrario no se hará nunca. A menudo las metas decisivas o las pautas de desem-

peño se rebajan para justificar la subinversión. Cuando esto ocurre, hay una profecía autocorrectiva donde las metas más bajas conducen a expectativas más bajas, que luego se traducen en un mal desempeño causado por la subinversión.

**Síntoma de advertencia:** "Bien, éramos los mejores y lo seremos de nuevo, pero ahora tenemos que conservar los recursos y no invertir en exceso".

**Principio administrativo:** Si hay un potencial genuino para el crecimiento, construye capacidad anticipándote a la demanda, como estrategia para generar demanda. Sostén la visión, especialmente en lo concerniente a la evaluación de las pautas de desempeño y la capacidad para satisfacer la demanda potencial.

**Ejemplo:** People Express Airlines no pudo construir capacidad de servicio para mantener el ritmo de la explosiva demanda. En vez de poner más recursos en la capacitación del personal o de crecer más despacio (por ejemplo, elevando un poco los precios), la firma trató de superar sus problemas mediante el crecimiento excesivo. El resultado fue el deterioro de la calidad del servicio y el aumento de la competencia, mientras la moral decaía. Ante la creciente tensión, la compañía recurrió cada vez más a la "solución" de subinvertir en capacidad de servicio, hasta que los clientes dejaron de volar en People Express.

**Otros ejemplos:** Compañías que dejan decaer la calidad de los servicios o los productos, culpando a la competencia o la gerencia de ventas por no empeñarse en mantener las ventas. Personas con magníficas visiones que no evalúan de modo realista el tiempo y el esfuerzo que deben dedicar al logro de la visión.



---

# ***PARTE II***

# ***MODELAMIENTO DE***

# ***SISTEMAS DINÁMICOS***

---



---

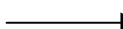
## CAPITULO TRES

---

### HERRAMIENTAS DE MODELAMIENTO

#### ***3.1. DIAGRAMA CAUSAL***

Un diagrama causal es una relación de causa y efecto, que indica la acción de una variable sobre otra, es decir, como el comportamiento de una variable influye sobre el comportamiento de otra.

Variable causa       Variable efecto

La idea de Causa: es la clave para organizar un estudio de dinámica de sistemas. Típicamente un analista aísla factores causales claves y dibuja el diagrama causal antes de proceder a construir un modelo de simulación por computadora. Sin embargo, la noción de causalidad puede ser sutil, y usar este concepto requiere de atención cuidadosa.

Los ejemplos más claros de causalidad son los que involucran las leyes físicas. En los postulados de las leyes que rigen el movimiento de objetos, Newton afirmó que una "fuerza de empuje" puede ocasionar que un objeto inicialmente en reposo, comience a moverse en la dirección de la fuerza, y una fuerza continua aplicada al objeto puede ocasionar una aceleración continua. En un diagrama causal esta relación puede mostrarse como:

Fuerza de empuje —————> Movimiento acelerado

donde la flecha entre las dos frases puede leerse como "ocasiona".

De aquí en adelante, una fuerza de empuje ocasiona un movimiento de aceleración. Los ejemplos de este tipo de relación causal abundan. Un motor de automóvil ejerce una fuerza sobre un automóvil en reposo para que pueda ponerse en movimiento; y la fuerza continua del motor produce una aceleración continua (hasta un punto donde la fricción y resistencia al aire impiden el aumento de aceleración).

El brazo de un jugador de Béisbol ejerce una fuerza que hace que la pelota se ponga en movimiento. Sin embargo, igualar estos ejemplos de las ciencias físicas tienen sutilezas. Por ejemplo, un ser humano aplica una fuerza contra la pared de un edificio, con seguridad, el edificio no se mueve (por lo menos no se percibe). Las fuerzas aplicadas a los objetos no siempre causan aceleración. ¿Por qué la causa no produce el efecto previsto en este caso? La respuesta a este aparente acertijo no es difícil descubrir. La ley causal involucra la provisión: "otras cosas son iguales". Cuando un ser humano ejerce una fuerza contra el lado de un edificio, no todos los objetos en la realidad tienen "la misma resistencia".

En sistemas económicos y sociales, las declaraciones causales comúnmente incluyen la provisión: "otras cosas son iguales". Para diagnosticar correctamente la influencia de una causa, hay que hacer un experimento mental, que conteste que sucede si la causa bajo estudio es la única que actúa sobre el objeto. Por ejemplo, considere la relación causal, "los nacimientos ocasionan el crecimiento de la población". Esta declaración causal no siempre es cierta, un país con una tasa de natalidad positiva puede mostrar disminución de su población. En este caso, los nacimientos no es la única influencia causal sobre la población, la muerte es otra causa y los nacimientos no logran igualar el efecto de las otras causas.

### **3.1.1. SÍMBOLOS**

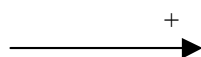
Variable causa —————> Variable efecto



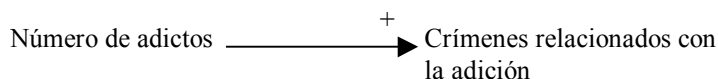
Para mostrar la acción de una variable sobre otra se utiliza una flecha, pero además es necesaria indicar la polaridad. La polaridad indica como el crecimiento o decrecimiento de una variable hace que la otra variable aumente o disminuya.

### 1) Polaridad positiva

La polaridad positiva indica que el cambio en la variable causa hace que la variable efecto varié en el mismo sentido. Es decir que al aumentar la variable causa aumenta la variable efecto y al disminuir la variable causa disminuye la variable efecto.

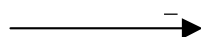


El aumento / disminución del número de adictos causa el aumento / disminución de los crímenes relacionados con la adicción.

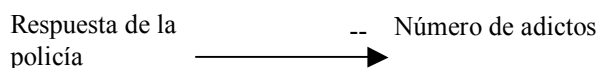


### 2) Polaridad negativa

La polaridad negativa indica que el cambio en la variable causa hace que la variable efecto varié en sentido contrario. Es decir que al aumentar la variable causa disminuye la variable efecto y al disminuir la variable causa aumenta la variable efecto.



En el mismo problema de la adicción, la respuesta o acciones que la policía toma para luchar contra este problema relacionado con el número de adictos se puede representar por la siguiente relación:



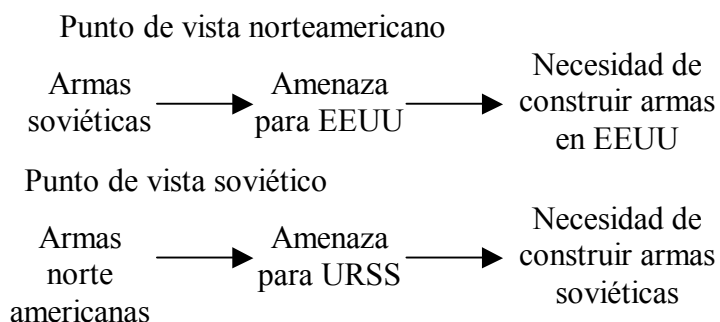
Al aumentar / disminuir la respuesta de la policía disminuye / aumenta el número de adictos. Con este ejemplo no se pretende decir que para solucionar el problema se tiene que solamente incrementar la acción de la policía, lo que se pretende es dar un ejemplo con una de las tantas relaciones, que existen para solucionar este problema.

### **3.1.2. RELACIÓN LINEAL Y CICLOS DE REALIMENTACION**

Peter Senge<sup>1</sup> nos muestra con algunos ejemplos la diferencia entre la perspectiva lineal y de ciclos de realimentación.

La carrera armamentista desarrollado por Estados Unidos y la Unión de Republicas Socialistas Soviéticas, que cegados por un análisis de perspectiva individual, "lineal", asistémico de ambas naciones drenó la economía de los Estados Unidos y desbastó la economía soviética.

La raíz del problema se encuentra en el modo de pensar compartido por ambos bandos, que se resume así:

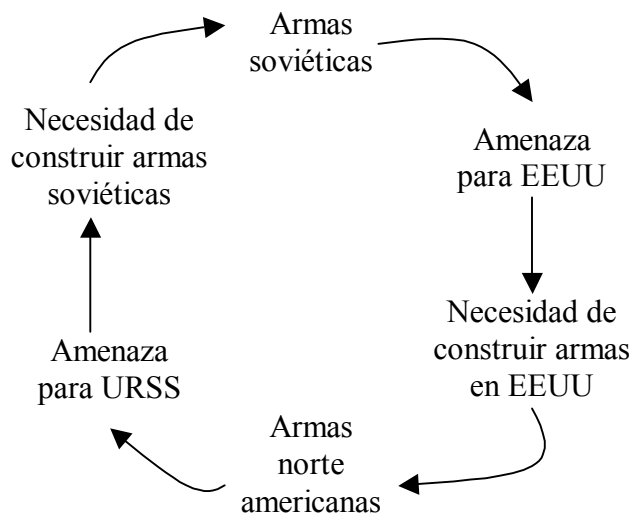


Desde la perspectiva americana, los soviéticos eran los agresores, y la expansión en armas nucleares era una respuesta defensiva a la amenaza soviética. Desde la perspectiva soviética, los americanos eran los agresores, y la expansión en armas nucleares

<sup>1</sup> Peter M. Senge, "La Quinta Disciplina" (Barcelona: Granítica S. A., 1992, 93, 94, 95, 96, 97, 98), págs. 93-100.

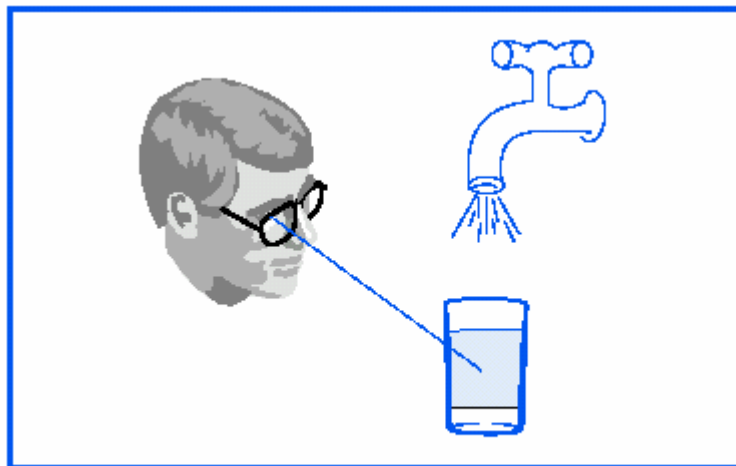
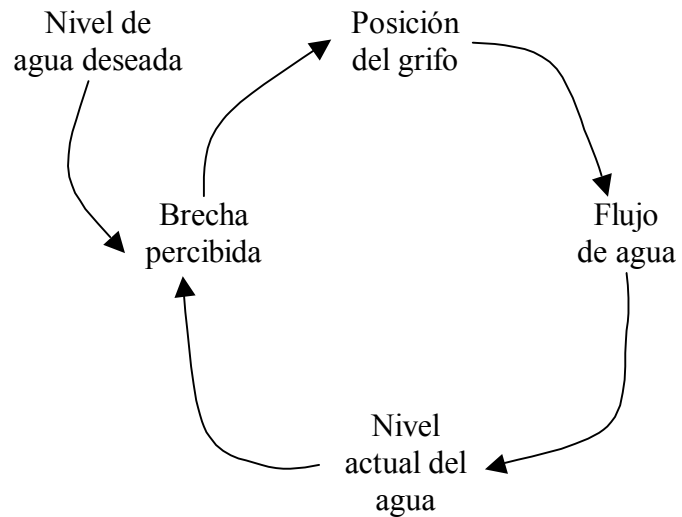
era una respuesta defensiva a la amenaza americana.

Desde la perspectiva sistémica de la carrera armamentista es un ciclo perpetuo de agresión. Estados Unidos responde a una presunta amenaza para los norteamericanos construyendo más armas, lo cual aumenta la amenaza para los soviéticos, lo cual produce más armas soviéticas, lo cual aumenta la amenaza para los Estados Unidos, lo cual conduce a más armas norteamericanas, lo cual aumenta la amenaza para los soviéticos... El ciclo es interminable. Desde sus perspectivas individuales, ambos bandos alcanzan su meta de corto plazo. Ambos bandos responden a una presunta amenaza. Pero sus actos terminan por crear el resultado contrario en el largo plazo: el aumento de la amenaza.



Otro ejemplo de la perspectiva lineal se da cuando llenamos un vaso de agua y muchos piensan tan simplistamente como "estoy llenado un vaso de agua", pero el proceso es un ciclo de causalidad. En realidad al llenar un vaso, estamos observando el nivel del agua en el vaso. Monitoreando la brecha entre el nivel deseado y el nivel de agua en el vaso. Cuando el nivel se aproxima al nivel deseado, ajustamos la posición del grifo para reducir el flujo de agua, ce-

rrándolo cuando el vaso alcanza el nivel deseado. Cuando llenamos un vaso de agua, operamos en un sistema de "regulación de agua" que involucra 5 variables: el nivel de agua deseado, el nivel actual del agua, la brecha entre ambos, la posición del grifo y el flujo de agua.





**- PROCESO DE LLENAR UN VASO -**

Para elaborar los diagramas causales de un problema en estudio debemos buscar los ciclos de causalidad presentes en el sistema. Además, debemos buscar que las variables representadas en estos diagramas sean las más significativas.

### 3.1.3. **REALIMENTACIÓN**

Para definir si un lazo es de realimentación positiva o negativa se cuenta la cantidad de relaciones que tienen polaridad negativa. Si la cantidad es par o cero tiene un ciclo con realimentación positiva (ciclo reforzador) y si la cantidad es impar la realimentación es negativa (ciclo compensadora).

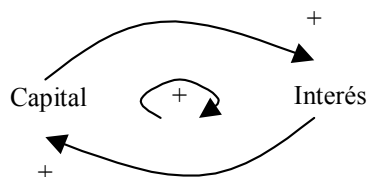
El símbolo  indica que es un ciclo reforzador y  indica que es un ciclo compensador.

Conocer como actúa la realimentación nos permite inferir el comportamiento del sistema.

#### 1) *Realimentación positiva (Ciclo reforzador)*

##### a) Sistema de inversión

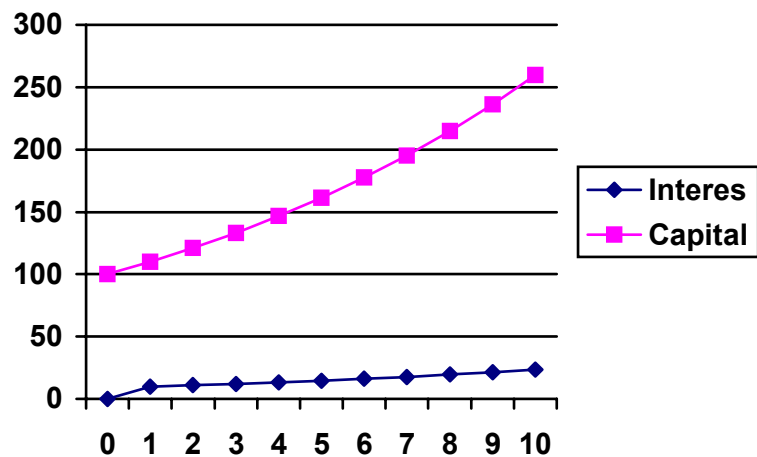
Considere el sistema de inversión más simple posible. Se colocan 100 dólares en una cuenta de ahorros a una tasa de interés compuesto anual del 10%. Cada año el interés es reinvertido y añadido a la cantidad original. La estructura causal de este sistema se representa en la siguiente figura.



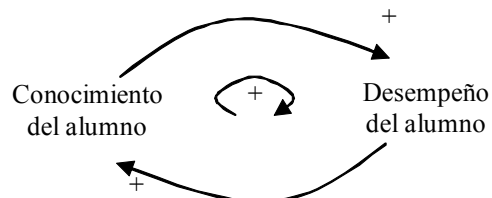
Al construir la tabla de interés y capitales para 10 años tenemos:

<i>Deposito</i>	<i>Año</i>	<i>Interés pagado</i>	<i>Capital</i>
100.00	0	-	100.00
	1	10.00	110.00
	2	11.00	121.00
	3	12.10	133.10
	4	13.31	146.61
	5	14.66	161.27
	6	16.12	177.39
	7	17.73	195.12
	8	19.51	214.64
	9	21.46	236.10
	10	23.61	259.71

Se puede observar que el interes que se generan en cada año hace que el capital acumulado crezca. Al graficar el capital y el interes en los 10 años, se confirma la afirmación:



b) Desempeño de un estudiante



El diagrama causal del desempeño de un alumno, sugiere que la cantidad de conocimiento del alumno afectará el

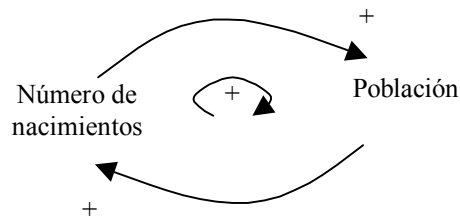
desempeño del alumno, y el desempeño del alumno afectará su adquisición de conocimiento.

Este diagrama causal sugiere que a mayor conocimiento de un alumno, mayor o mejor será su desempeño. Un incremento en su conocimiento causará un incremento en su desempeño. El diagrama también puede ser leído: "Si el conocimiento disminuye, luego el desempeño también disminuirá".

Un incremento en el desempeño del alumno causará un incremento en el conocimiento del alumno. El enlace también indica que una disminución en el desempeño del alumno llevará a una eventual disminución de la cantidad de conocimiento acumulado por el alumno.

c) Problema de la población

En el diagrama se representa: al aumentar el número de nacimientos aumenta la población y al aumentar la población aumenta el número de nacimientos.



El patrón general los ciclos reforzadores procucen el efecto llamado de la bola de nieve. Es decir que si la variable causa se incrementa la variable efecto tambien se incrementa, y esta a su vez ocasiona el crecimiento de la variable causa, repitiendosé de esta manera indefidimante el ciclo.

Una clase especial de comportamiento que involucra un crecimiento ilimitado a una tasa cada vez más alta se conoce como un

crecimiento exponencial positivo. El crecimiento exponencial positivo se caracteriza por una cantidad bajo estudio que se duplica repetidamente, en un intervalo de tiempo llamado "tiempo de duplicación". Si un país tiene una población inicial de 1 millón de personas y un "tiempo de duplicación" de 15 años, luego después de 15 años la población será de 2 millones; después de 15 años más será de 4 millones; etc. Obviamente ningún sistema puede continuar creciendo ilimitadamente, pero muchos sistemas muestran el crecimiento exponencial al menos por un periodo de tiempo.

El efecto "bola de nieve" de un bucle positivo también puede ir en reversa. Si una cantidad en un bucle positivo comienza a disminuir, esto puede llevar a una continua disminución a una tasa acelerada. En el ejemplo del alumno, si el desempeño del alumno comienza a decaer, esta será progresivamente peor.

¿Cuándo un bucle positivo particular llevará a un crecimiento acelerado y cuándo a una disminución acelerada? ¿El estudiante del Ejemplo mejorará su desempeño aceleradamente o el estudiante empeorará aceleradamente? La respuesta depende del nivel de conocimiento y desempeño de este al momento que el analista comenzó el estudio. Si el desempeño del estudiante está sobre un punto particular, llamado punto de equilibrio, el desempeño mostrará un crecimiento acelerado. Si el estudiante comienza por debajo del punto de equilibrio, entonces su desempeño mostrará una disminución acelerada. Si el estudiante comienza en el punto de equilibrio, su desempeño se mantendrá constante. Desgraciadamente, el valor del punto de equilibrio usualmente no puede ser determinado desde un bucle causal solamente. Este requiere del análisis de las ecuaciones del modelo

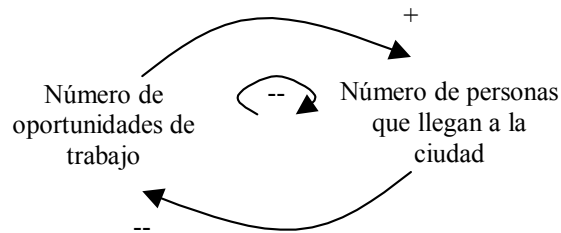


Inferir el comportamiento de un sistema total a través de un sólo diagrama, aun uno simple que solo emplea un bucle causal, puede ser difícil. Una situación común es que los bucles positivos son frecuentemente realizados para analizar ciertas influencias estabilizantes que pueden estar fuera del análisis inicial.

## 2) Realimentación negativa (Ciclo compesador)

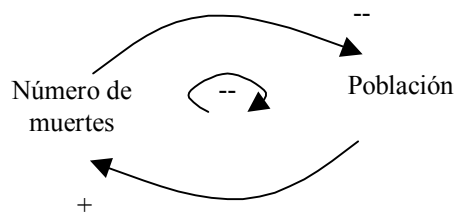
### a) Problema de migración

En el problema de la migración, a más trabajos disponibles en una ciudad hace que más personas lleguen a la ciudad. Sin embargo, a más personas que lleguen a la ciudad, el número de trabajos disponibles disminuye.



### b) Problema de la población

En el diagrama se representa: al aumentar el número de muertes disminuye la población y al aumentar la población aumenta el número de muertes.



Los ejemplos previos han indicado que los bucles de retroalimentación negativa tienden a producir un comportamiento que es "estable" y "que busca una meta". Por ejemplo un sistema de calefacción en una casa siempre trata de mantener la casa a una misma temperatura a pesar de las am-

plias variaciones en la temperatura exterior. El bucle migración - oportunidades de trabajo descrito anteriormente tiende a mantener un balance entre el número de oportunidades de trabajo en una región y el número de personas que buscan empleo. La situación puede fluctuar sobre algún rango de escasez o exceso de oportunidades de trabajo mientras se encuentra el balance.

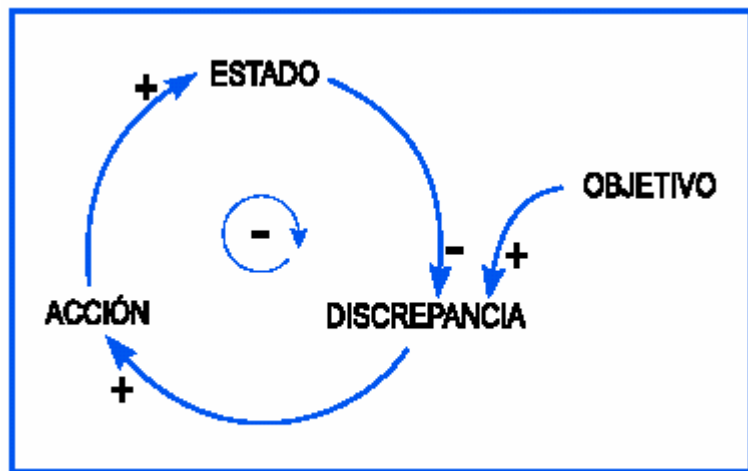
El comportamiento de un bucle de retroalimentación negativa puede ser descrito más fácilmente al referirnos al punto de equilibrio del sistema. En un bucle positivo el punto de equilibrio es inestable. Un pequeño cambio que empuje al sistema fuera del equilibrio lo llevará cada vez más lejos del punto de equilibrio.

En un bucle de retroalimentación negativa, la situación es a la inversa. Consideremos el sistema Trabajo - Migración. Si el número de oportunidades de trabajo esta por encima del punto de equilibrio, la gente migra hacia esa ciudad, causando que el número de oportunidades de trabajo vaya hacia el punto de equilibrio. Similarmemente, si el número oportunidades de trabajo esta por debajo del punto de equilibrio, la gente se irá de la ciudad, ocasionando que las oportunidades de trabajo se incrementen hacia el punto de equilibrio. Por lo tanto el punto de equilibrio en un bucle negativo es estable. En un bucle negativo, el sistema tiende a retornar al punto de equilibrio siguiendo una perturbación, aunque algunas veces esas fluctuaciones suceden alrededor del punto de equilibrio.

Las generalizaciones acerca de este tipo de bucles se deben de ver con mucho cuidado. Porque el analista puede deducir aproximadamente (raras veces, exactamente) como ese sistema se comportará a través del tiempo. En los ejemplos los bucles causales no tienen información específica relacionado al punto de equili-

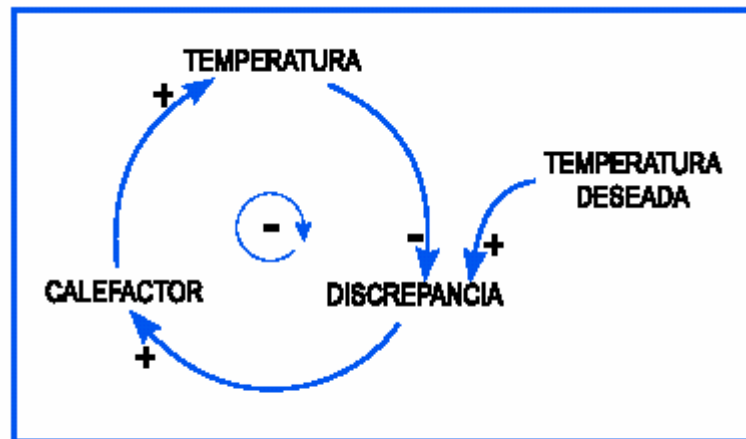
brio. Además los diagramas no explican cuan rápido el sistema buscará su equilibrio o que camino seguirá para esto.

El diagrama de la figura siguiente recibe la denominación de bucle de realimentación negativa, y representa un tipo de situación muy frecuente en el que se trata de decidir acciones para modificar el comportamiento con el fin de alcanzar un determinado objetivo.



- DIAGRAMA BÁSICO DE UN BUCLE DE REALIMENTACIÓN NEGATIVA -

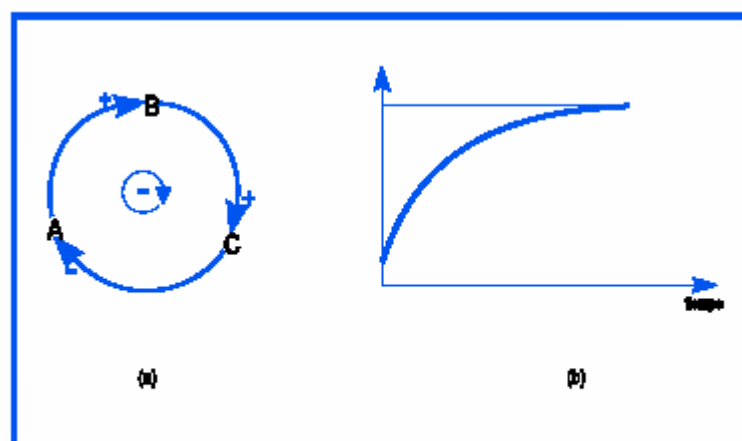
Un diagrama de esta naturaleza se puede aplicar tanto al sencillo acto de coger un lápiz, detectando mediante la vista la discrepancia entre las posiciones de la mano y del lápiz; al proceso de regulación de la temperatura en una habitación, en el que la discrepancia entre la temperatura deseada y la considerada confortable determina la actuación de un calefactor (si estamos en invierno) para corregir esa discrepancia (ver Figura siguiente); y tantos otros procesos de naturaleza semejante.



**ESTRUCTURA DE REALIMENTACIÓN NEGATIVA DEL PROCESO DE REGULACIÓN DE TEMPERATURA -**

El diagrama de un bucle de realimentación negativa aporta el esquema básico de todo comportamiento orientado a un objetivo.

Un bucle de realimentación negativa tiene la notable propiedad de que si, por una acción exterior, se perturba alguno de sus elementos, el sistema, en virtud de su estructura, reacciona tendiendo a anular esa perturbación. En efecto, consideremos el bucle de la figura siguiente, en el que los elementos se han representado, de forma general, mediante las letras **A**, **B** y **C**.



**- ESTRUCTURA DE REALIMENTACIÓN NEGATIVA EN (a)  
COMPORTAMIENTO CORRESPONDIENTE EN (b) -**

Supongamos que uno cualquiera de ellos, por ejemplo el **B**, se incrementa. En virtud de las relaciones de influencia, el incremento de **B** determinará el de **C**, ya que la relación de influencia correspondiente es positiva. A su vez, el incremento de **C** determinará el decrecimiento de **A**, ya que así lo determina el carácter negativo de la influencia. El decrecimiento de **A** dará lugar al de **B**, pues la relación es positiva. Por tanto, el incremento inicial de **B** le «vuelve», a lo largo de la cadena de realimentación, como un decremento; es decir, la propia estructura de realimentación tiende a anular la perturbación inicial, que era un incremento, generando un decremento. De este modo se comprende que los bucles de realimentación negativa son bucles estabilizadores, que tienden a anular las perturbaciones exteriores. Por ello, los ingenieros que diseñan sistemas de regulación automática los incorporan en sus proyectos como elementos básicos para conseguir la acción reguladora (lo que logran mediante la adición de bucles de realimentación negativa a los procesos que diseñan). El efecto de un bucle de realimentación negativa es, por tanto, el tratar de conseguir que las cosas continúen como están, que no varíen. Son bucles que estabilizan los sistemas. Es conveniente observar que en un bucle de realimentación negativa lo que se realimenta es información. El agente necesita información sobre los resultados de sus decisiones para adaptarlas a los resultados que esas acciones van produciendo.

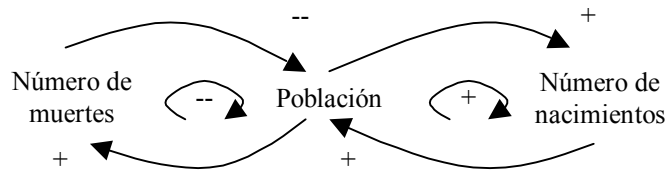
#### **3.1.4. SISTEMAS QUE TIENEN MAS DE UN CICLO DE REALIMENTACIÓN**

Aunque los ciclos positivo y negativo forman bloques de construcción básicos de sistemas complejos, estos raramente están aislados. Los sistemas relacionados con problemas sociales y económicos complejos, contienen múltiples ciclos asociados. En un

estudio completo de sistemas dinámicos, los analistas comienzan tentativamente proponiendo un conjunto de ciclos realimentados que parecen ser los más importantes para explicar el comportamiento del sistema. Luego la simulación por computadora será utilizada para analizar con detenimiento el comportamiento de los ciclos identificados inicialmente. Frecuentemente se encuentra que la primera estructura es incompleta o errónea, y el analista debe regresar a la fase conceptual de la construcción del modelo y reexaminar la estructura causal. El proceso de construcción del modelo es iterativo, comenzando con una hipótesis preliminar referente a los ciclos causales más importantes, luego empleando la simulación por computadora, y frecuentemente retornando muchas veces al proceso de hipótesis acerca de los ciclos causales importantes.

### **3.1.5. *CICLO DOMINANTE***

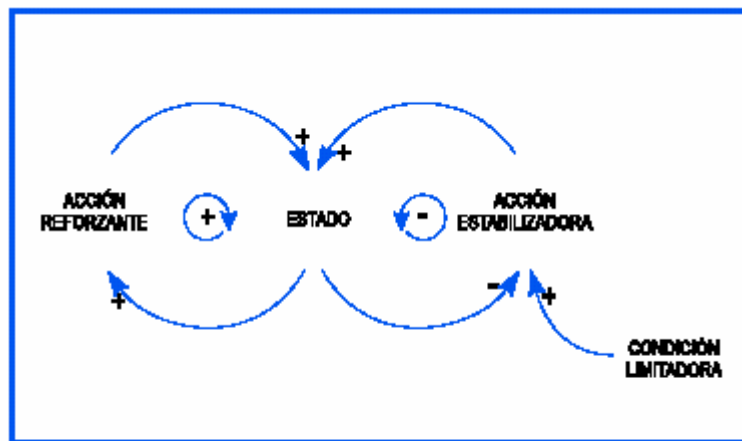
La palabra "dominante" sugiere que un ciclo particular del sistema, que tiene múltiples ciclos, es el que tiene la mayor responsabilidad por el comportamiento total del sistema en un determinado momento. El ciclo que domina puede cambiar a través del tiempo. Por ejemplo, mucha gente está preocupada porque el crecimiento de la población no puede crecer por siempre. Los términos "espacio terrestre" o nuestro "mundo finito" expresan la idea que existen límites de la tierra para soportar la vida humana. Comprender la estructura fundamental de los sistemas y ser capaz de sugerir cuando o porque un cambio en el dominio de un ciclo puede ocurrir, es crucial para resolver problemas desde la perspectiva sistémica. Obviamente el diagrama causal que se muestra a continuación necesita ser mejorado para tener mayor aproximación con la realidad y que sirva de ayuda a resolver este problema.



En el diagrama, el ciclo conformado por la población y el número de nacimientos será dominante cuando la población esta en aumento, pero si la población disminuye el ciclo dominante sería el ciclo formado por el numero de muertes y la población.

Los bucles de realimentación positiva y negativa constituyen los ejemplos más simples de estructura de un sistema capaces de generar comportamiento de forma autónoma. Sin embargo, los sistemas con los que habitualmente nos encontramos no es frecuente que admitan una descripción en la que aparezca exclusivamente una de esas estructuras. Por el contrario, lo habitual es que nos encontremos con sistemas complejos en los que coexistan múltiples bucles de realimentación, tanto positivos como negativos. En tal caso el comportamiento resultante dependerá de cuáles de los bucles sean dominantes en cada momento.

El ejemplo más simple de un sistema con varios bucles de realimentación es el que se muestra en la figura siguiente, en el que se tiene una estructura en la que coexisten un bucle de realimentación positiva con uno negativo.

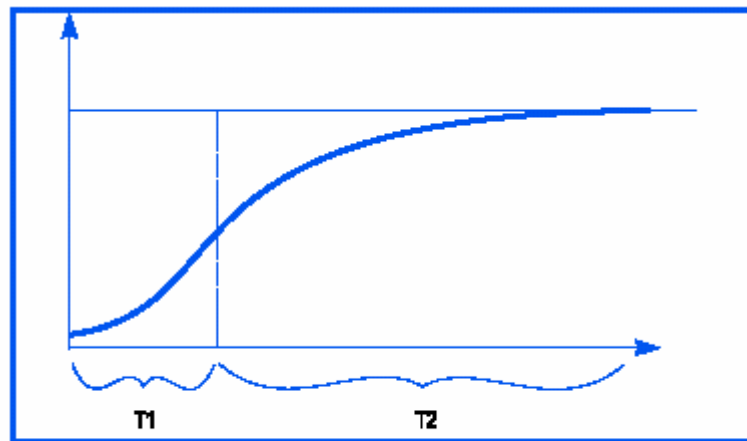


**- ESTRUCTURA FORMADA POR DOS BUCLES DE REALIMENTACIÓN, UNO POSITIVO Y OTRO NEGATIVO -**

Existen muchos procesos en la realidad a los que es aplicable este diagrama. Se trata de procesos en los que inicialmente se produce un crecimiento; es decir, al principio el bucle de realimentación positiva es el dominante. Sin embargo, sabemos que todo proceso de crecimiento tarde o temprano debe cesar. No hay un crecimiento indefinido. Este efecto limitador del crecimiento se incorpora mediante un bucle de realimentación negativa, como el que se muestra a la derecha de la figura anterior. Cuando el estado ha alcanzado un considerable nivel de crecimiento, como consecuencia de que el bucle de realimentación positiva es dominante, se invierte la dominancia de los bucles, de modo que el nuevo bucle dominante es el negativo y se produce la limitación del crecimiento.

En la figura siguiente se muestra la combinación de estos dos modos de comportamiento, que da lugar a la conocida curva de crecimiento logístico o sigmoidal.



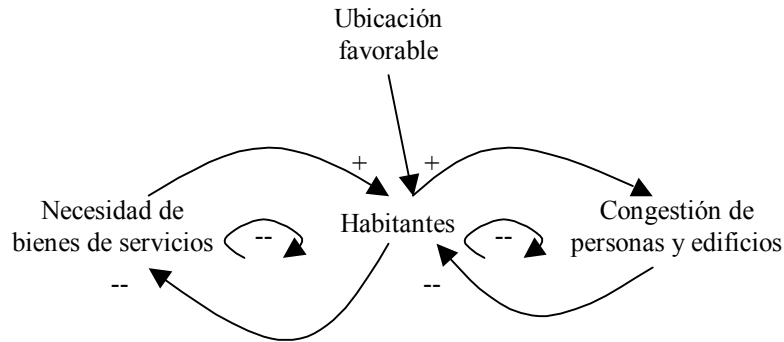


**· COMPORTAMIENTO SIGMOIDAL DE UN PROCESO CON DOS BUCLES DE REALIMENTACIÓN, UNO POSITIVO Y OTRO NEGATIVO ·**

El número de procesos a los que se puede aplicar esta estructura de dos bucles es muy amplio y comprende desde la introducción de un nuevo producto en un mercado (con una fase inicial de implantación y gran crecimiento, y una fase final de saturación) hasta la introducción de una nueva población en un hábitat en el que inicialmente estaba ausente.

### **3.1.6. ELEMENTOS EXÓGENOS**

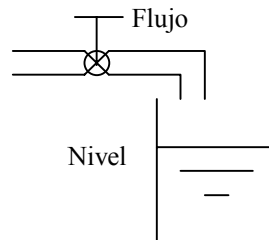
La mayoría de los diagramas causales incluyen algunos elementos que afectan otros elementos en el sistema, pero estos no son afectados por nada en el sistema. En otras palabras, las flechas son dibujadas desde estos elementos a otras partes del diagrama, pero no existen flechas dibujadas hacia estos elementos. Estos son llamados elementos exógenos. Una ubicación favorable, quizá una puerto o una llanura de pastizales atraen a la gente a establecerse en un área geográfica particular. La siguiente figura muestra como el elemento Ubicación Favorable inicia el crecimiento de una ciudad. Este diagrama representa parcialmente como una ciudad crece y declina.



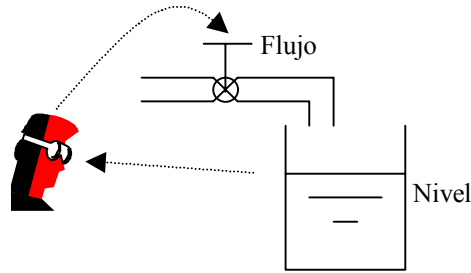
### 3.2. DIAGRAMA DE NIVELES Y FLUJOS

Para comprender mejor una situación complicada es llevar el diagrama causal a un diagrama de niveles y flujos, también conocido como diagrama de forrester. En este diagrama se representa al sistema mediante un símil hidrodinámico principalmente compuesto por niveles y flujos.

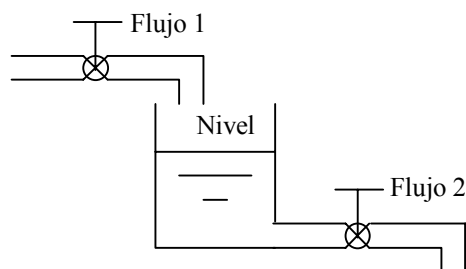
La idea del símil hidrodinámico consiste en representar mediante un tanque los niveles y los flujos, mediante una válvula se controla el flujo de agua. El nivel del agua se incrementa debido al flujo y cuando más se abre la válvula mayor será el flujo. Dependiendo de las unidades del nivel, el flujo se encontrará en unidades de nivel sobre unidad de tiempo. Por ejemplo, si el nivel está en metros el flujo podría estar en metros/segundo.



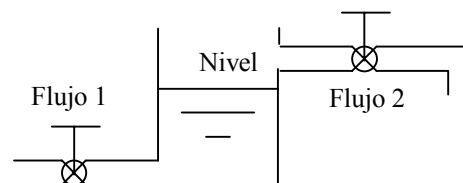
Si al símil le añadimos un persona que se encargue de controlar el flujo de agua, es decir que la persona tendrá que estar monitoreando el nivel de agua y con esa información abrirá o cerrará la válvula para que aumente o disminuya el flujo. Cualquier información del sistema que se usada para modificar su comportamiento se le conoce como flujo de información.



El flujo 1 que llega al tanque proviene de algún lugar que no es importante para el sistema (fuera del sistema), llamado fuente. El flujo 2 que sale del sistema se va a un lugar llamado sumidero. Tanto las fuentes como los sumideros tienen una capacidad infinita.



Si la válvula del flujo 1 se cierra, el flujo 2 todavía sigue siendo mayor que cero porque existe agua en el tanque. Después de un cierto tiempo, si no se restablece el flujo 1 y se acaba el agua del tanque, el flujo 2 será cero. A este efecto se le llama Integrador o retraso de primer orden, porque las variaciones en el flujo de entrada son integradas matemáticamente, y en el efecto de la variación se siente el retardo. Este efecto también se enuncia como: cualquier variación brusca en el suministro de agua es atenuada por el tanque.



Ahora se invierten las tuberías, el flujo 2 será cero hasta que el tanque se llene. Si inicialmente el tanque está lleno y se disminuye ligeramente el flujo 1, el nivel de agua baja en el tanque e inmediatamente el flujo 2 será cero, a pesar que el tanque está casi lleno. A este efecto se le llama derivador, pues las variaciones en el flujo de entrada son derivadas matemáticamente, y el efecto de variación se siente inme-

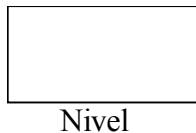
diatamente amplificado. Este efecto también se enuncia como: cualquier disminución ligera en el suministro de agua es amplificada por el tanque, dejando al sumidero sin agua.

### **3.2.1. SÍMBOLOS**

Los símbolos que se presentan a continuación son los que se usan con el programa Stella<sup>2</sup>.

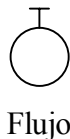
#### *1) Nivel*

Representa la acumulación de una variable. Se representa por un rectángulo.



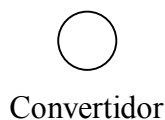
#### *2) Flujo*

También llamado tasa. Cantidad de material que fluye en una unidad de tiempo. Identifica la velocidad con que un material entra o sale de un nivel. Se representa por una válvula.



#### *3) Convertidor*

Es usado para almacenar constantes, efectuar operaciones con los flujos que llegan al convertido, el resultado se puede enviar a otro convertidor o flujo. Se representa mediante un círculo.



---

<sup>2</sup> STELLA II - Software for Education. Hanover, NH: High Performance Systems.

#### 4) Conector

Es usado para tomar datos de entrada y manipularlo o convertir la entrada en una señal de salida. En los diagramas de Forrester se le conocen como flujo de información. Se representa mediante un flecha que indica el sentido del movimiento de la información.



Conector

#### 5) Sumidero o fuente

Representan variables externas, cuyo comportamiento no se ve influido por el modelo. Pueden suministrar o recibir material infinitamente. La cantidad es controlada solamente por el flujo. Se representa por una nube.



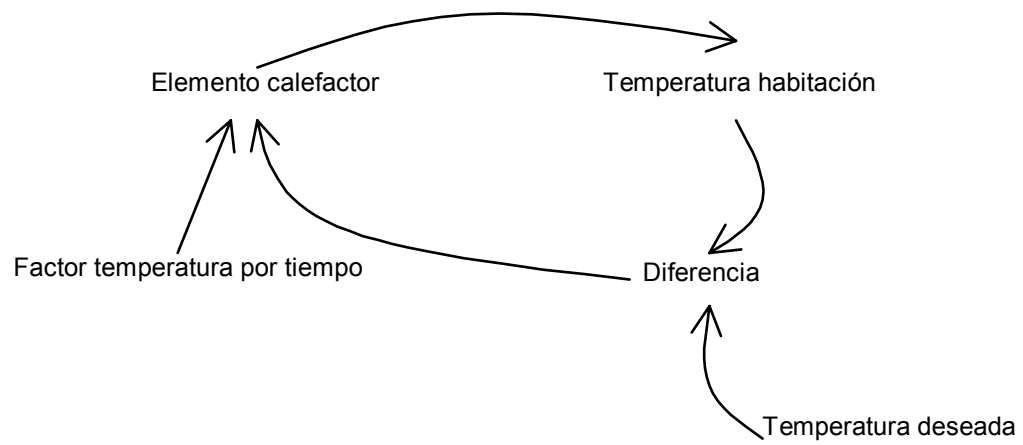
### 3.3. EJEMPLO: TERMOSTATO

Una habitación tiene un dispositivo que se encarga de mantenerla a la temperatura deseada. Si la temperatura inicial de la habitación es de 5 grados centígrados y la temperatura deseada es de 25 grados centígrados. El elemento calefactor se encarga de elevar o disminuir la temperatura según:

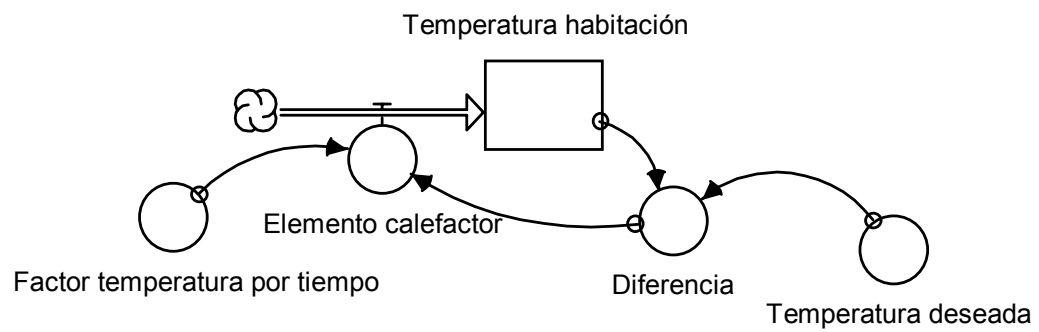
$$\text{Elemento calefactor} = \text{Diferencia} * \text{Factor temperatura por tiempo}$$

$$\text{Diferencia} = \text{Temperatura deseada} - \text{Temperatura habitación}$$

### 3.3.1. *DIAGRAMA CAUSAL*



### 3.3.2. *DIAGRAMA NIVELES Y FLUJOS*



---

## CAPITULO CUATRO

---

### MODELAMIENTO EN COMPUTADORA

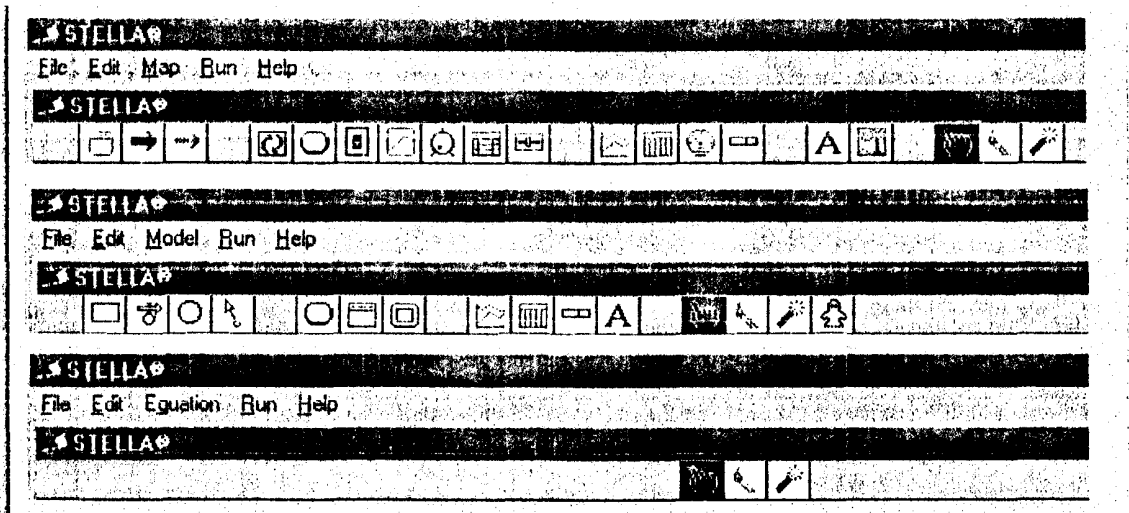
#### *4.1. INTRODUCCIÓN AL MODELAMIENTO EN COMPUTADORA*

Los sistemas dinámicos ofrecen una fuente de realimentación directa e inmediata, donde los usuarios pueden probar sus suposiciones de su modelo mental de la realidad, a través del uso de la simulación de la computadora. La simulación por computadora es la imitación del sistema de comportamiento, a través de cálculos numéricos ejecutados en un modelo de un sistema dinámico. Un modelo de un sistema dinámico es la representación de la estructura de un sistema. Una vez que un modelo de un sistema dinámico es construido y las condiciones iniciales son especificadas, una computadora puede simular el comportamiento de las diferentes variables sobre el tiempo.

Un buen modelo intenta imitar algunos aspectos de la vida real. Sin embargo, considerando que la vida real no permite ir hacia atrás en el tiempo y cambiar la estructura del sistema, la simulación da a los usuarios el poder de cambiar la estructura del sistema y analizar el comportamiento del sistema bajo muchas condiciones diferentes

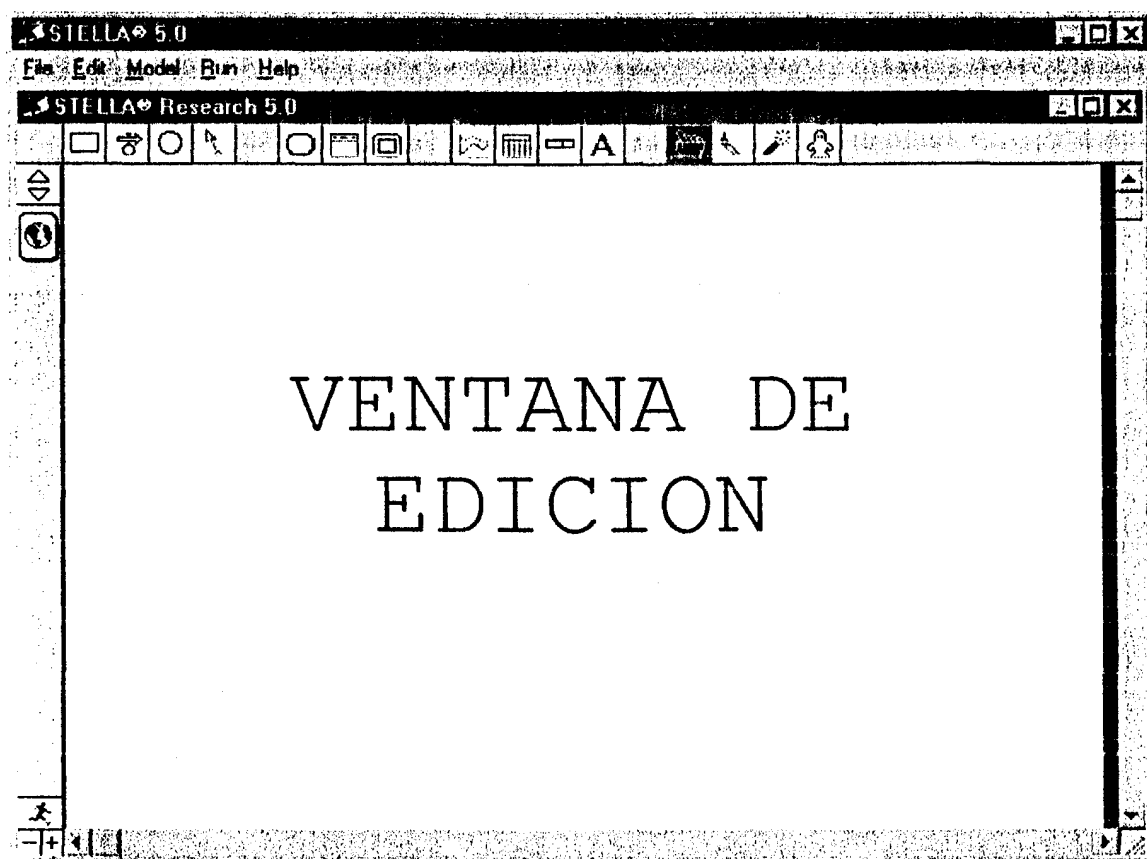
El STELLA es un programa de simulación por computadora, que proporciona una estructura e interfaz gráfica de fácil entendimiento, para observar la interacción cuantitativa de las variables dentro de un sistema. Esta interfaz puede utilizarse para describir y analizar sistemas físicos complejos, químicos, biológicos y sistemas sociales.

Los menús del STELLA se muestran a continuación (los símbolos mostrados en 3.2.1. se encuentran en el segundo menú)



Para utilizar un objeto haga clic en el símbolo y luego haga clic en la ventana de edición.



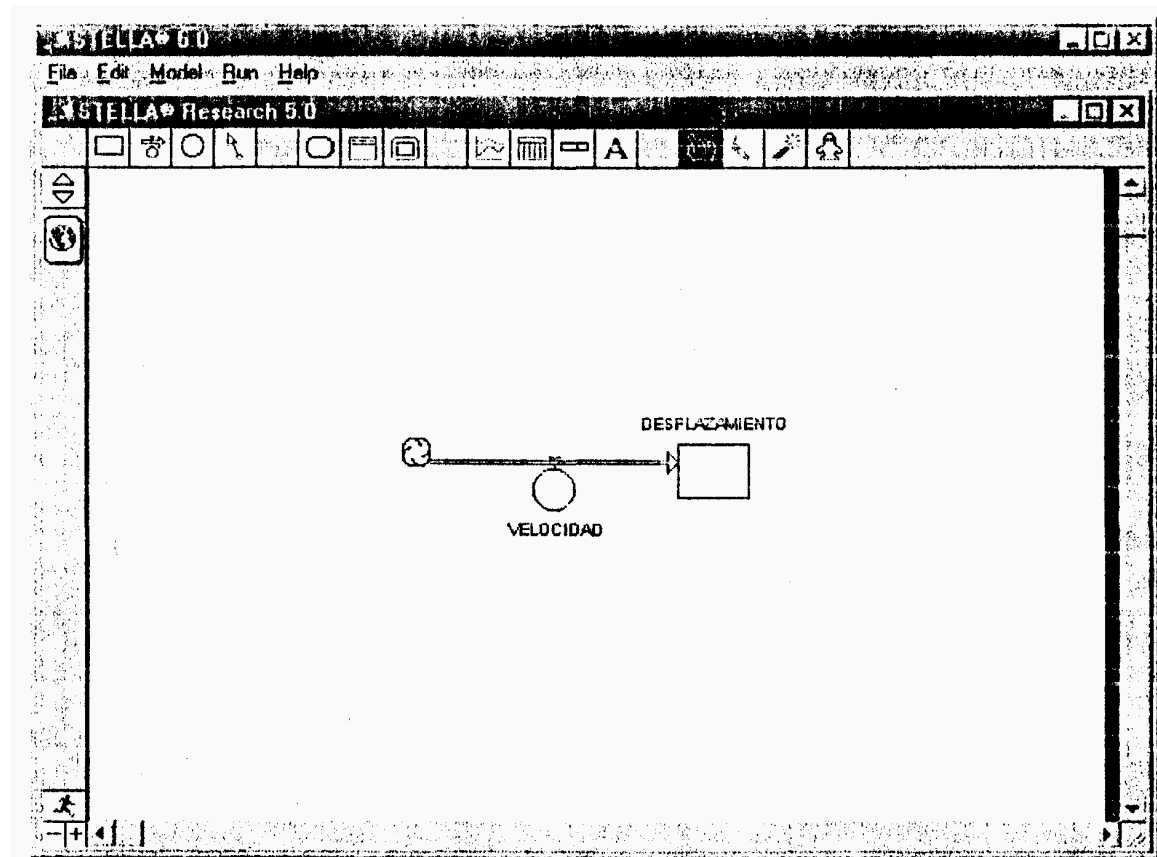


#### **4.1.1. EJEMPLO: MOVIMIENTO RECTILÍNEO UNIFORME**

El movimiento rectilíneo uniforme establece que el desplazamiento es igual a la velocidad por tiempo.

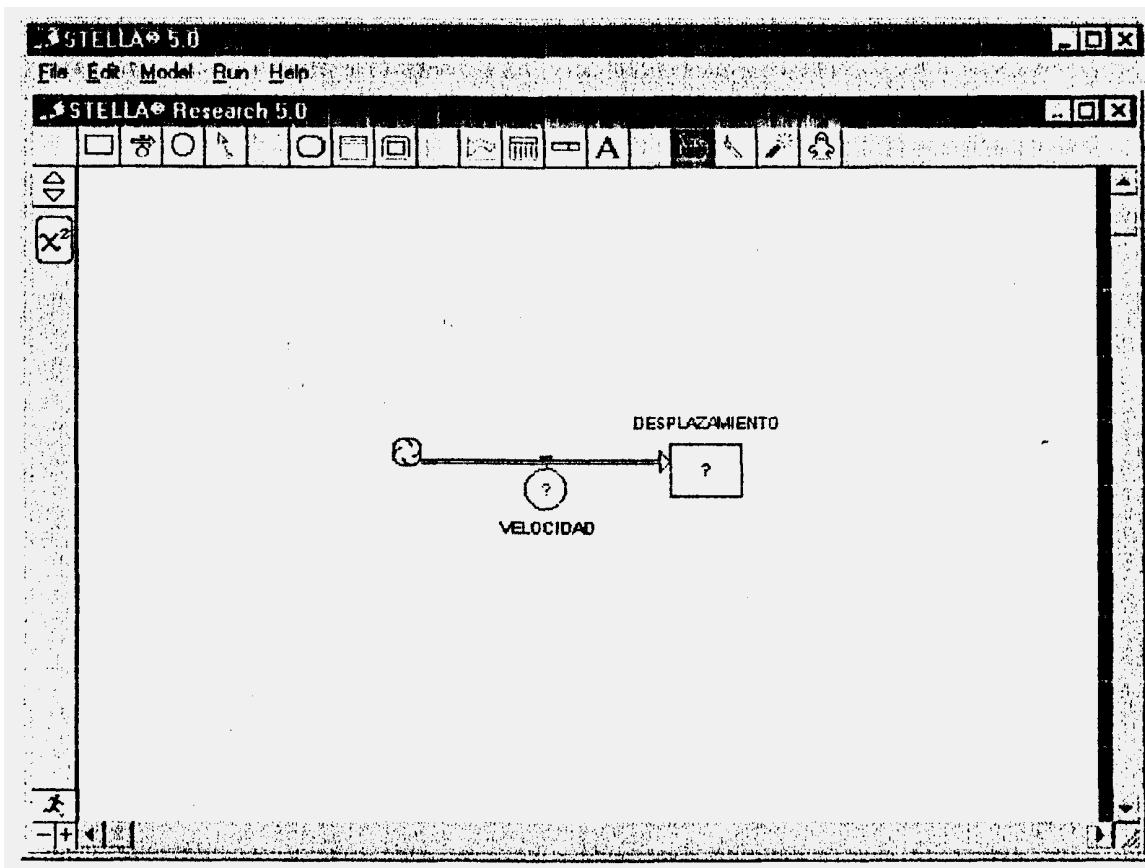
$\text{desplazamiento} = \text{velocidad} \times \text{tiempo}$

El sistema dinámico para este ejemplo se representa en la siguiente figura:



Para definir las ecuaciones del modelo haga clic en el icono que tiene la figura del mundo, y cuando tenga el signo de interrogación en cada símbolo, haga doble clic en el objeto para definir las ecuaciones.

Para el ejemplo que estamos tratando debemos encontrar la siguiente figura.



Al realizar doble clic en velocidad (es un flujo), se tiene la siguiente ventana

**VELOCIDAD**

☒ VELOCIDAD ☐ UNIFLOW ☐ BIFLOW

☐ Unit conversion

Required Inputs			

E	(	)	^
7	8	9	*
4	5	6	/
1	2	3	-
0	.	+	
			<

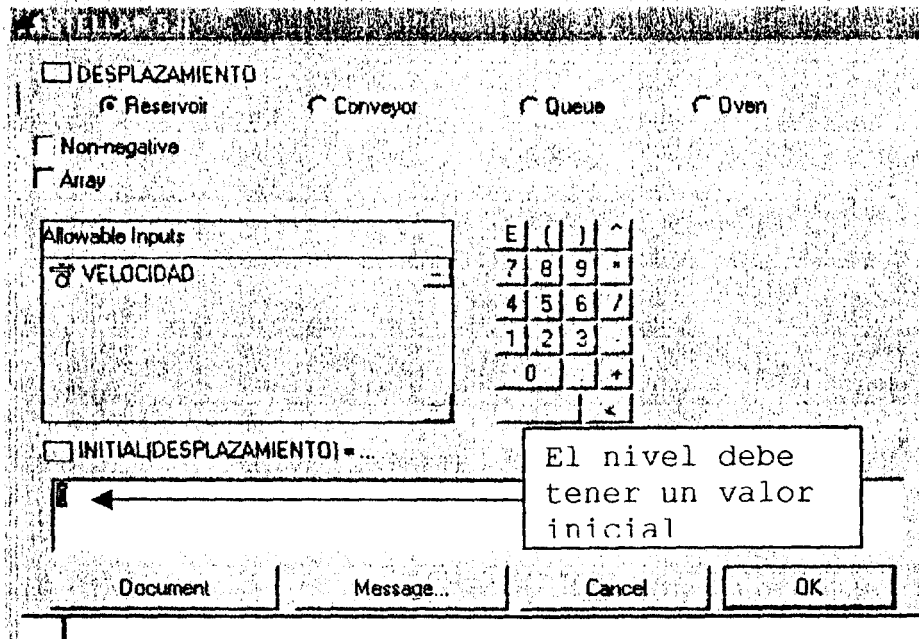
Builtins
ABS
AND
ARCTAN
ARRAYMEAN
ARRAYSTDDEV
ARRAYSUM

**VELOCIDAD =**

VALOR DEFINIDO PARA EL FLUJO VELOCIDAD (CONSTANTE)

Become Graph Document Message... Cancel OK

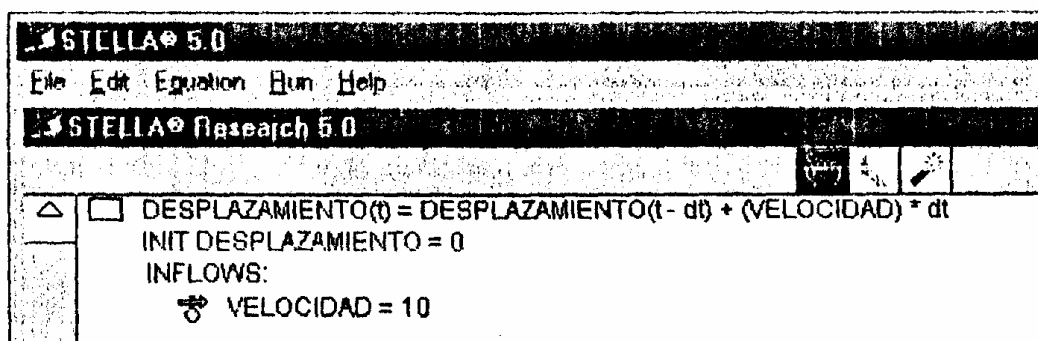
Para definir el desplazamiento (haciendo doble clic) que en este caso es un nivel se tiene la siguiente ventana:



Para obtener las ecuaciones generadas por el STELLA haga clic en el triángulo inferior de la siguiente figura:



Las ecuaciones que obtendrá serán las siguientes:



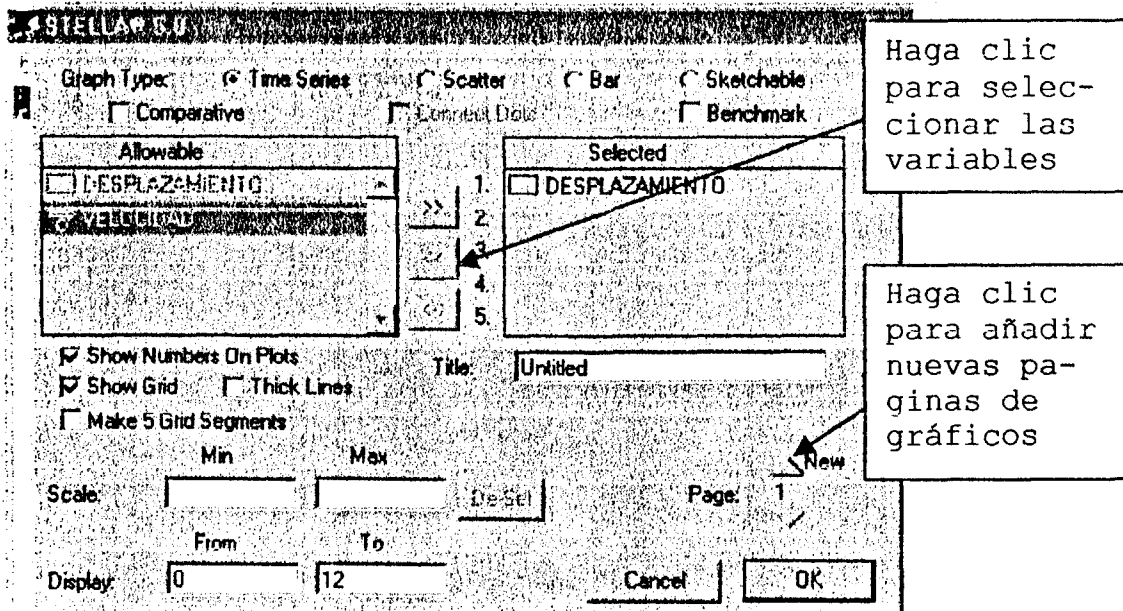
## 4.2. INTEGRACIÓN GRÁFICA

Predecir como se comportará un sistema de la vida real, es muy complejo, requiere bastante experiencia; sin embargo, la integración gráfica hace más fácil el entendimiento del comportamiento de muchos sistemas.

Para realizar un gráfico que describe el comportamiento del sistema (ejemplo 4.1.1), haga clic en el si-



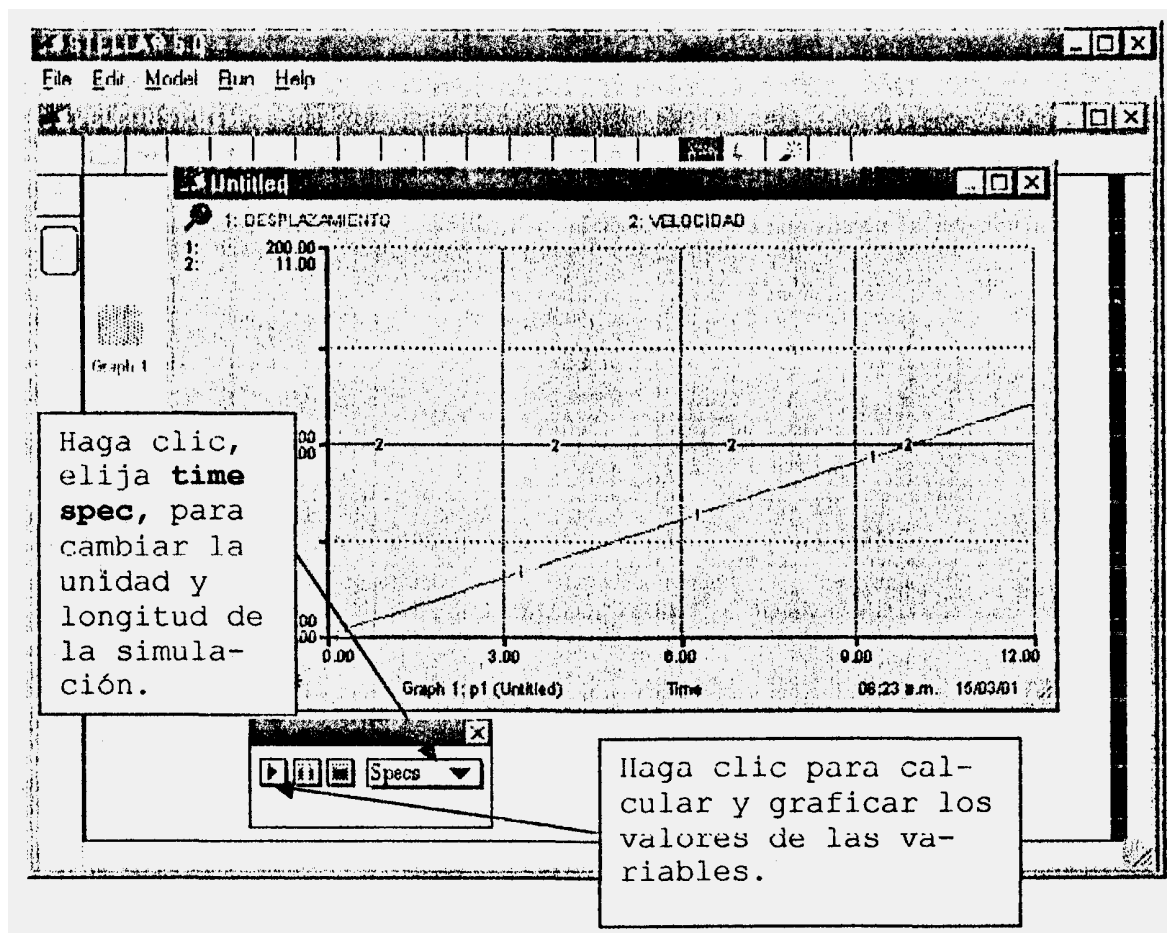
guiente icono y luego péguelo en la ventana de edición. Luego debe realizar doble clic en este objeto, para obtener el área de graficación. Para definir las variables a graficar realizar doble clic en esta área, obteniéndose la siguiente ventana:



Una vez definido las variables a graficar, ahora debemos calcular los valores de las variables utilizando

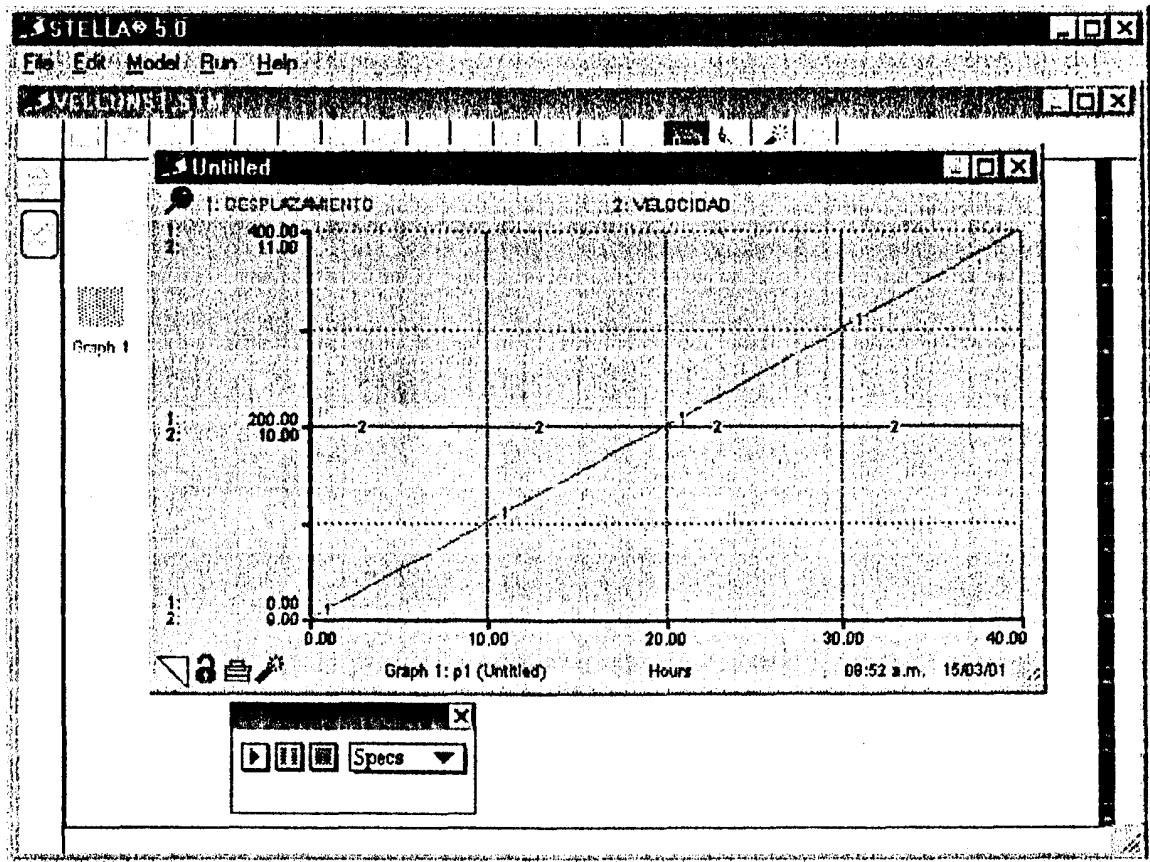


el icono (debe estar activo el área donde se muestra la gráfica).



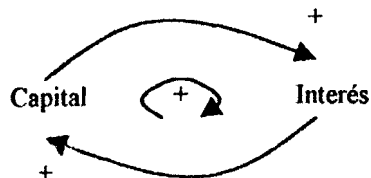
Luego de seleccionar time spec, se tiene la siguiente ventana:

Con los cambios realizados la gráfica es:

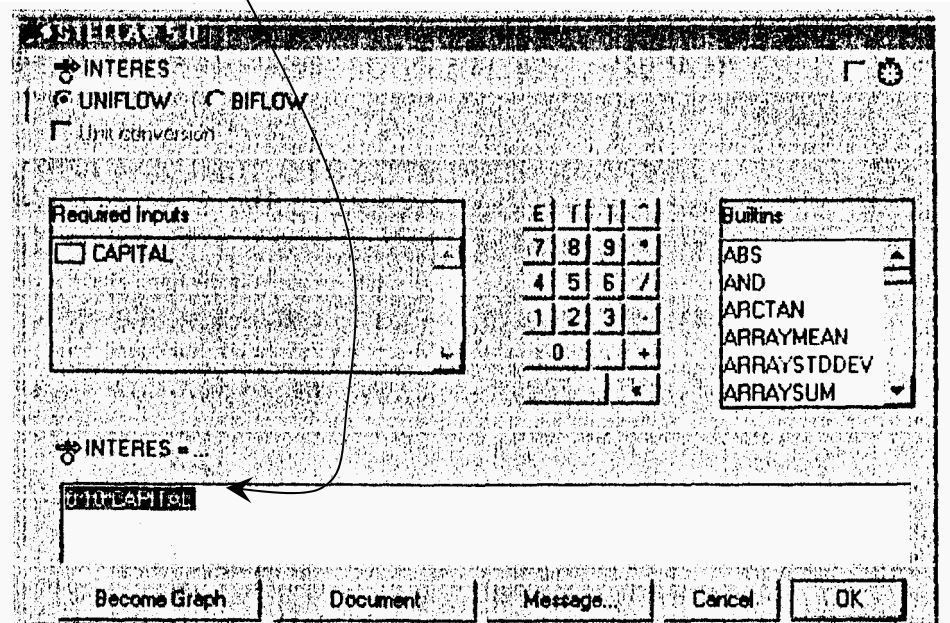


#### 4.2.1. EJEMPLO: INTERÉS COMPUESTO

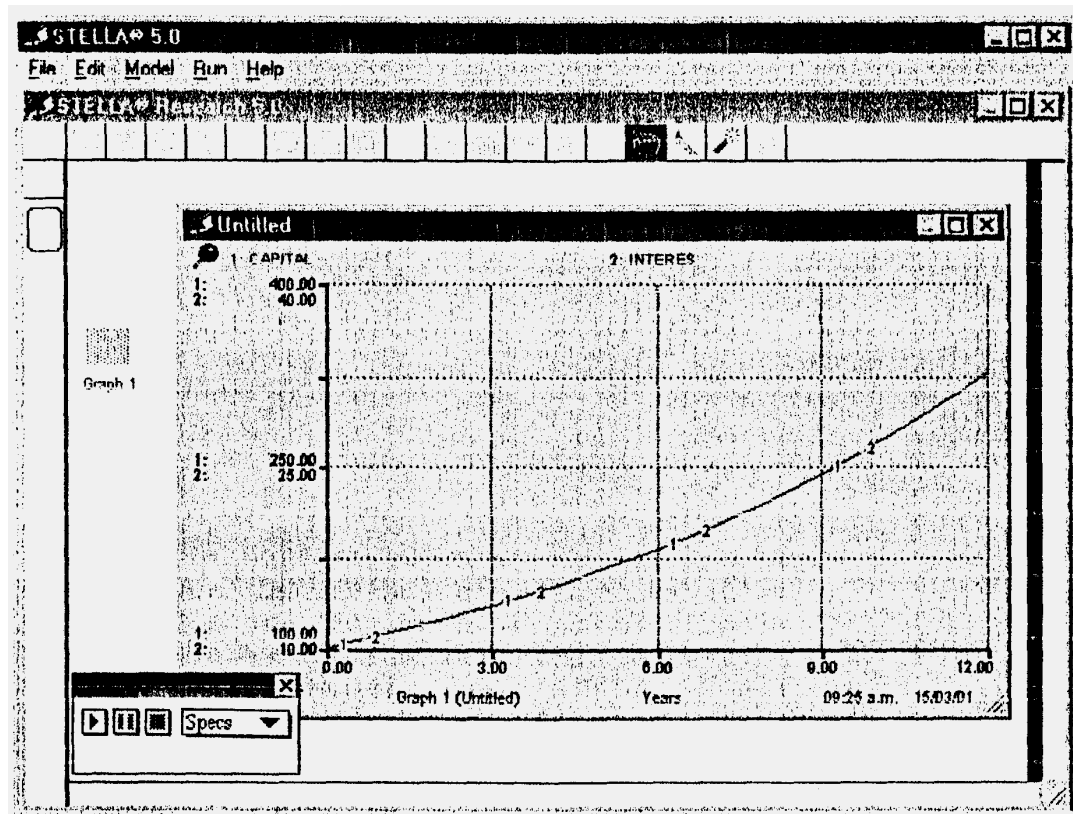
Considere el sistema de inversión más simple posible. Se colocan 100 dólares en una cuenta de ahorros a una tasa de interés compuesto anual del 10%. Cada año el interés es reinvertido y añadido a la cantidad original. La estructura causal de este sistema se representa en la siguiente figura.



La definición del flujo interés es:  
 $0.10 * \text{CAPITAL}$



La gráfica para el modelo interés compuesto es:

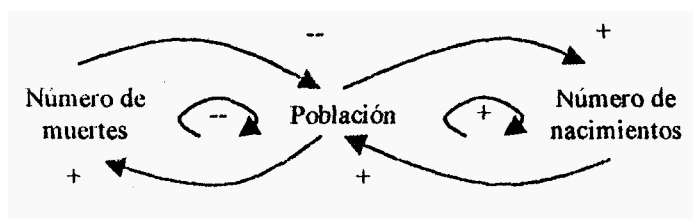




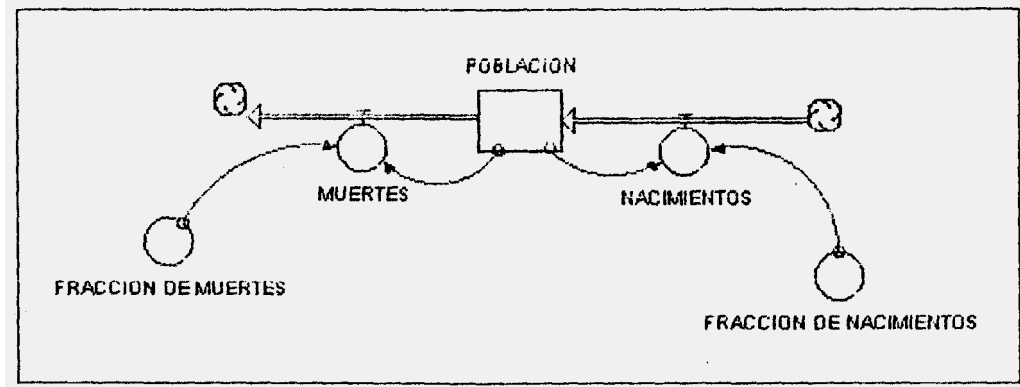
La gráfica muestra como crece el capital (curva 1) a través del tiempo; así mismo muestra como crece el interés (curva 2). Este modelo describe un ciclo de realimentación positiva.

#### 4.2.2. **EJEMPLO: CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN CONSIDERANDO NACIMIENTOS Y MUERTES**

Se desea conocer la población de una ciudad, si la fracción de nacimientos es de 22% y la fracción de muertes es de 4%. La población inicial es de 1520 personas.



El modelo en el STELLA es:



Este modelo tiene dos ciclos de realimentación, el ciclo que incluye al flujo nacimientos es un ciclo de realimentación positivo y el ciclo que incluye al flujo muertes es un ciclo de realimentación negativa (este ciclo trata de disminuir el nivel)

En el modelo se utiliza los convertidores FRACCIÓN DE MUERTES y FRACCIÓN DE NACIMIENTOS, que se utilizará para definir el flujo MUERTES y NACIMIENTOS respectivamente, tal



#### 4.2.3. EJEMPLO: REDUCCIÓN DE PERSONAL

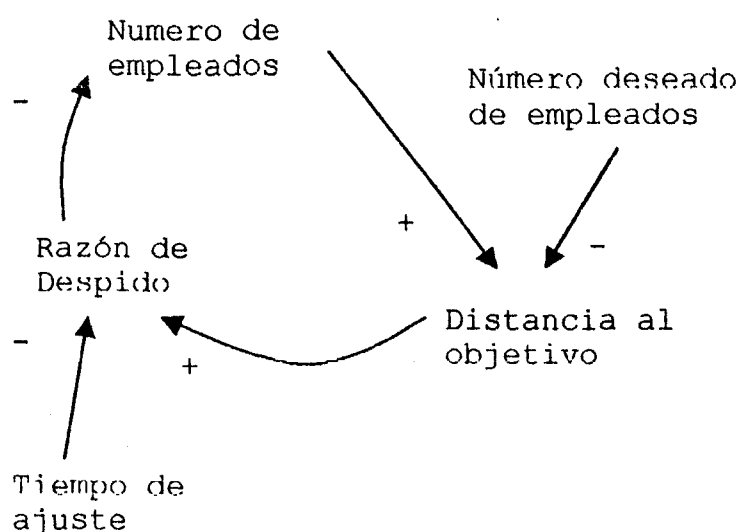
Se desea realizar la reducción de personal, de una empresa, encontrando las siguientes relaciones para el diagrama causal:

$$\text{Razón de despido} = \frac{\text{distancia al objetivo}}{\text{tiempo de ajuste}}$$

$$\text{Distancia al objetivo} = \text{Número de empleados} - \text{Número deseado de empleados}$$

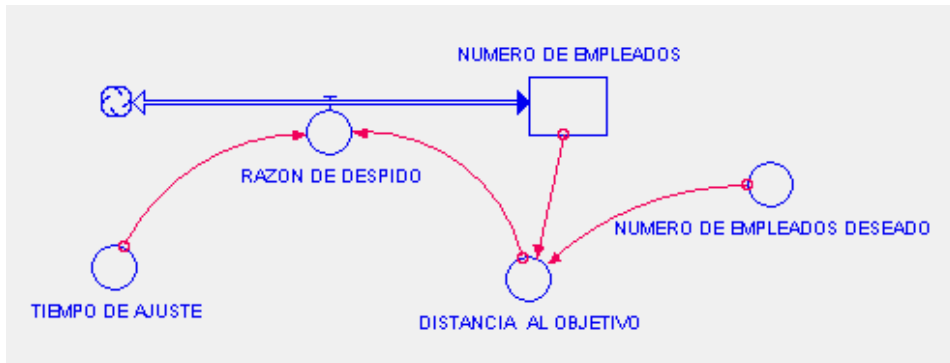
Para la reducción del personal se tomará en cuenta que el número de empleados actual es 10000, el número deseado de empleados es 2500 y el intervalo de tiempo para los despidos (tiempo de ajuste) es de cada 3 meses. Se desea saber el tiempo en el cual se llegará al número deseado de empleados.

El diagrama causal es:

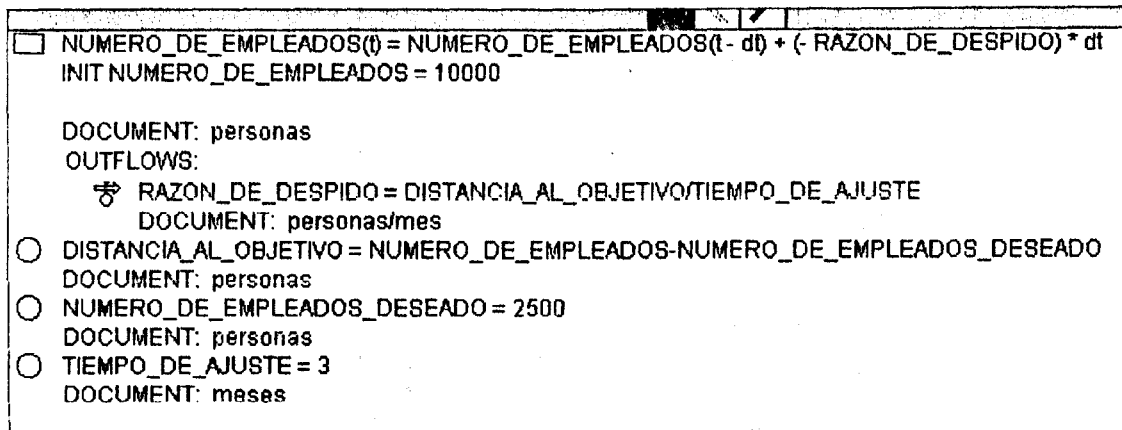


El nivel es NUMERO DE EMPLEADOS y el flujo es la RAZÓN DE DESPIDO, los demás elementos son convertidores.

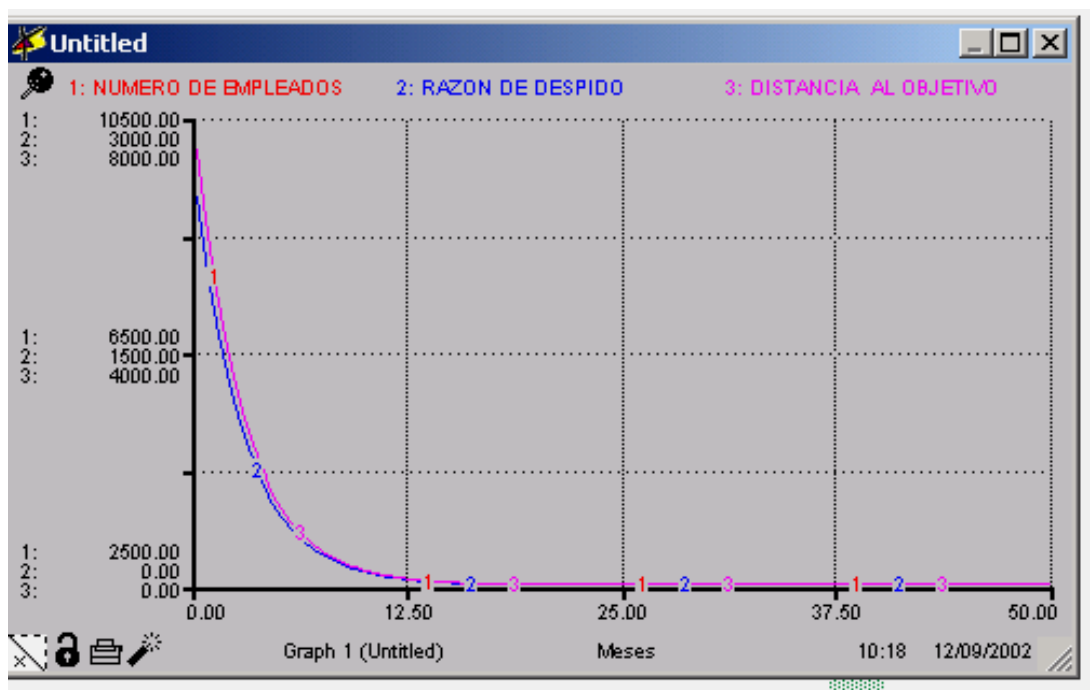
El modelo en el STELLA es:



Las ecuaciones del modelo es:



La gráfica del comportamiento del sistema es:



En la gráfica se observa que el número de empleados disminuye, así como también disminuye la razón de despido, porque cada vez existe menos empleados. La distancia al objetivo, por supuesto, también disminuye porque los empleados cada vez son menos.


Al observar la gráfica no se distingue exactamente en cuantos meses la empresa llegara al objetivo deseado. Para eso podemos utilizar el icono , que nos permite obtener una tabla con los valores calculados de los flujos y el nivel.

Table 1 (Untitled Table)						
Meses	NUMERO DE	DISTANCIA	RAZON DE D			
38.50	2,500.01	0.01	0.00			
38.75	2,500.01	0.01	0.00			
39.00	2,500.01	0.01	0.00			
39.25	2,500.01	0.01	0.00			
39.50	2,500.01	0.01	0.00			
39.75	2,500.01	0.01	0.00			
40.00	2,500.01	0.01	0.00			
40.25	2,500.01	0.01	0.00			
40.50	2,500.01	0.01	0.00			
40.75	2,500.01	0.01	0.00			
41.00	2,500.00	0.00	0.00			
41.25	2,500.00	0.00	0.00			
41.50	2,500.00	0.00	0.00			

En la tabla se observa que en 41 meses el número de empleados es 2500 (objetivo de la empresa) .

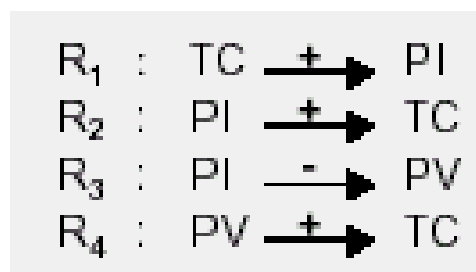
#### 4.2.4. **EJEMPLO: PROPAGACION DE UNA EPIDEMIA**

Consideremos el proceso de difusión de una infección en una población inicialmente sana. Esta población sufre el efecto de una epidemia, de modo que, mediante una tasa de contagio, la enfermedad se va propagando hasta infectar a toda la población. La descripción del proceso, en lenguaje ordinario, se puede reducir a los cuatro enunciados siguientes:

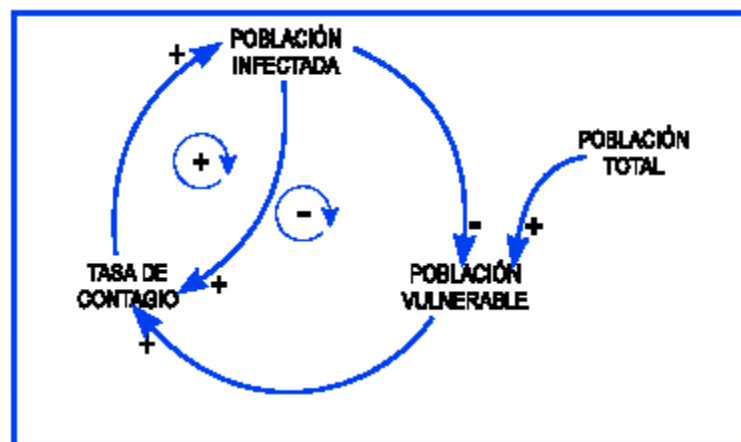
- R1: cuanto más grande es la tasa de contagio, mayor es la población infectada;
- R2: a su vez, cuanto mayor es la población infectada más grande es la tasa de contagio (la infección se difundirá a mayor velocidad);
- R3: por otra parte, cuanto mayor es la población infectada menor será la población aún vulnerable; y,

- R4: cuanto mayor sea la población vulnerable a la epidemia, mayor será la tasa de contagio.

Estos enunciados, que constituyen la descripción básica del proceso, se pueden convertir en relaciones de influencia entre las diferentes variables con las que se puede describir el proceso. Estas variables son: la población infectada **PI**, la tasa de contagio **TC** y la población vulnerable a la enfermedad **PV**. Entre estas variables, de acuerdo con los anteriores enunciados, se pueden establecer las relaciones de influencia:



El conjunto de estas relaciones conduce al diagrama integrado que se muestra en la Figura siguiente:



- DIAGRAMA DE INFLUENCIAS DEL PROCESO DE PROPAGACIÓN DE UNA EPIDEMIA -

En este diagrama se pone de manifiesto que el proceso posee una estructura con dos bucles de realimentación, uno positivo y otro negativo.

Ahora clasificaremos los distintos elementos que aparecen en el diagrama de la figura anterior en los tres tipos de variables propuestos: niveles, flujos y auxiliares (convertidores en el STELLA). Para ello, en primer lugar, deben identificarse las variables de nivel del proceso en cuestión.

En este caso es fácil ver que existe una única variable de nivel que corresponde a la población infectada **PI**. La tasa de contagio es una variable de flujo, ya que su significado es precisamente el de la variación de la población infectada con respecto al tiempo. Es decir la influencia

TASA DE CONTAGIO  $\xrightarrow{+}$  POBLACION INFECTADA

tiene una relación en la que el consecuente viene medido en unas ciertas unidades y el antecedente en esas mismas unidades partidas por tiempo.

Las ecuaciones que explican el comportamiento del sistema serán:

$POBLACION\_INFECTADA = 2$  (personas)

$POBLACION\_TOTAL = 100$  (personas)

$TASA\_DE\_CONTAGIO = \frac{PORCENTAJE\_DE\_CONTACTOS\_DIARIOS * PORCENTAJE\_DE\_CONTACTOS\_QUE\_PRODUCEN\_INFECCION * POBLACION\_VULNERABLE * POBLACION\_INFECTADA}{POBLACION\_TOTAL}$
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

(personas/día)

$POBLACION\_VULNERABLE = POBLACION\_TOTAL - POBLACION\_INFECTADA$
-------------------------------------------------------------------

Personas sanas que no tienen una infección (personas)

$PORCENTAJE\_DE\_CONTACTOS\_DIARIOS = 0.15$

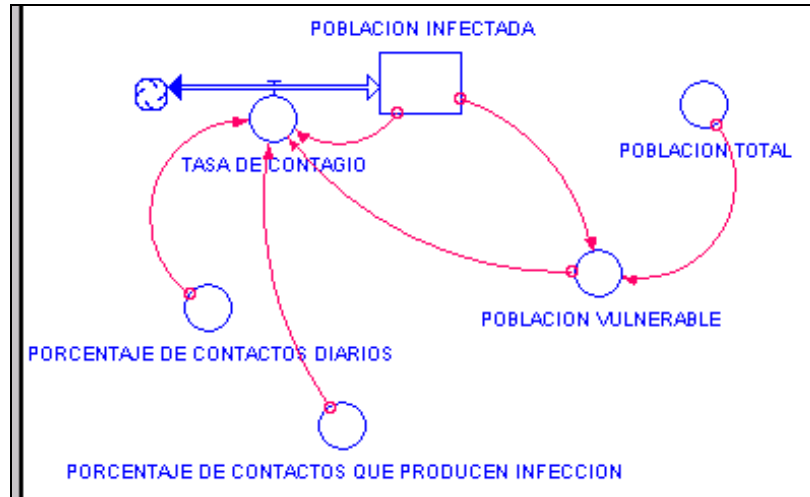
Es el porcentaje de contactos diarios que se tiene con una persona infectada

$PORCENTAJE\_DE\_CONTACTOS\_QUE\_PRODUCEN\_INFECCION = 0.025$

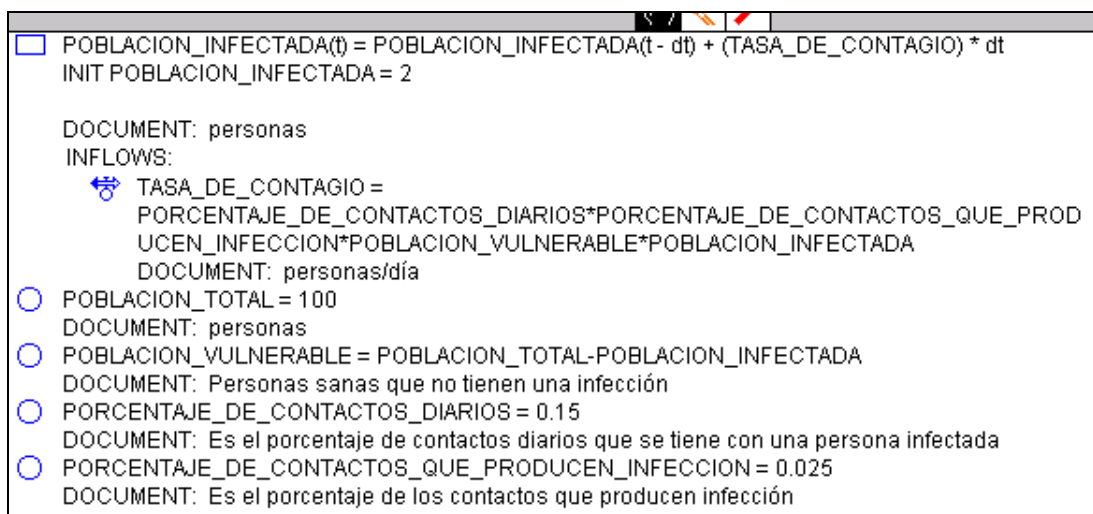


*Es el porcentaje de los contactos que producen infección*

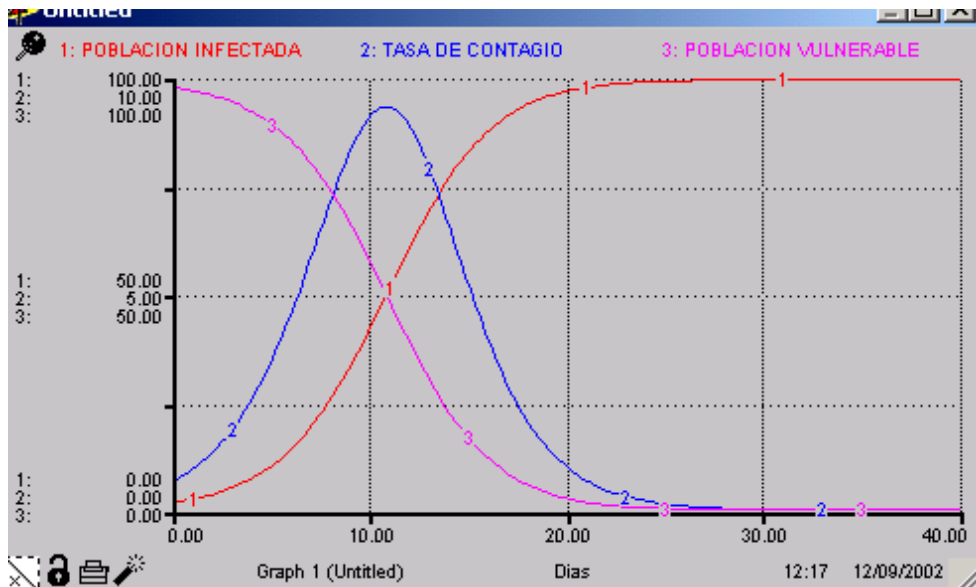
El diagrama en el STELLA es:



Las ecuaciones del modelo son:



La gráfica que muestra el comportamiento del sistema es:



La curva 1 (población infectada) inicia con 2 personas y se incrementa hasta que se infecten las 100 personas, se asume que en este periodo de infección no se curan las personas.

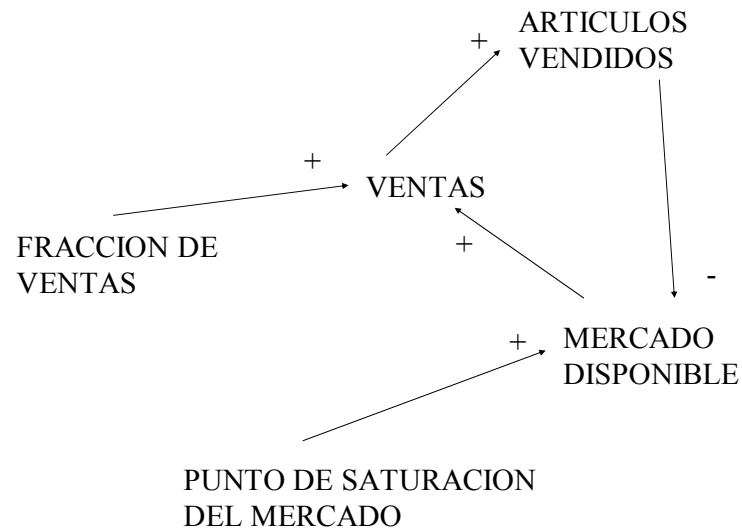
La curva 2 (Tasa de contagio) muestra un ascenso mientras la población vulnerable es grande y conforme esta disminuye la tasa de contagio tiende a disminuir.

La curva 3 (población vulnerable) inicia con 98 personas vulnerables a la infección, luego se tiene que a los 36 días aproximadamente se infectaron todas las personas y no queda ninguna persona vulnerable a la infección; debido a que todos ya fueron infectados.

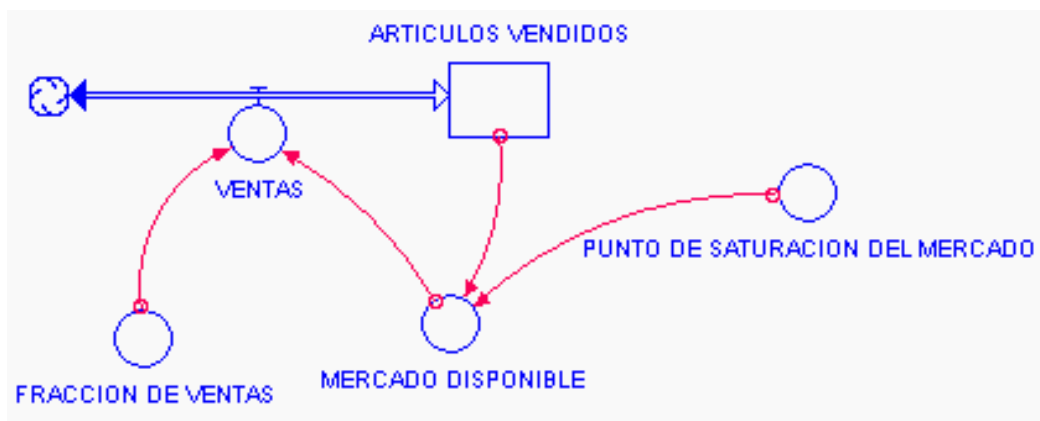
#### 4.2.5. CASO: VENTA DEL ARTÍCULO EPG

Modelar la venta del artículo EPG, creado recientemente, el cual no existe en el mercado. Asumimos que cada artículo EPG nunca tendrá que ser reemplazado y su reputación no cambia, siendo la fracción de venta constante.

El diagrama causal utilizado para la simulación es:



El modelo en el STELLA es:



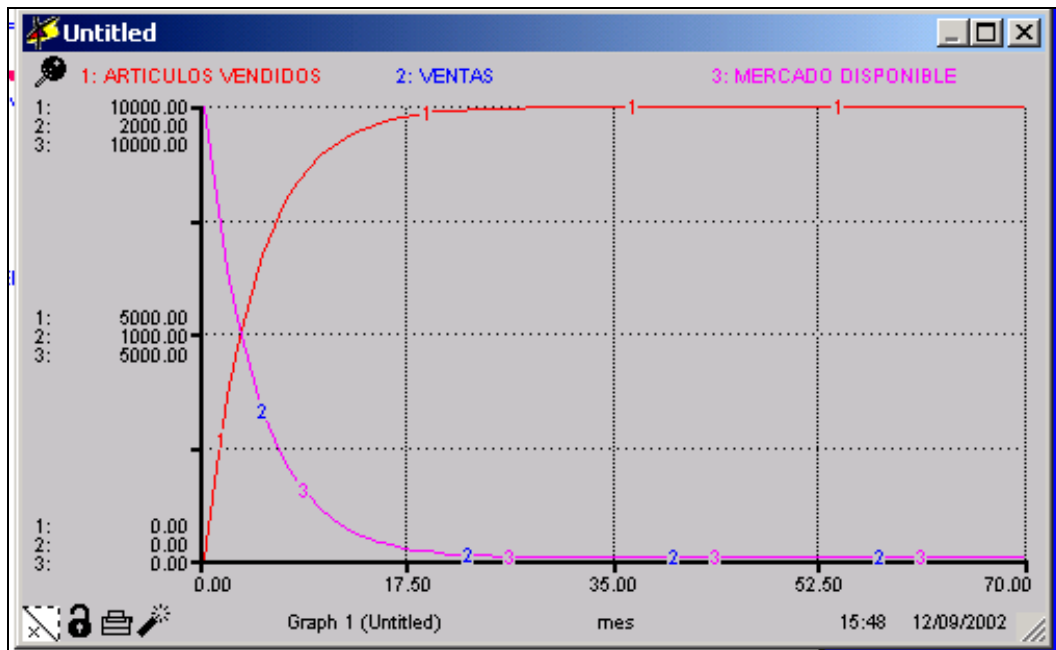
Las ecuaciones del modelo son:

```

ARTICULOS_VENDIDOS(t) = ARTICULOS_VENDIDOS(t - dt) + (VENTAS) * dt
INIT ARTICULOS_VENDIDOS = 0

DOCUMENT: EPGs
INFLOWS:
  VENTAS = MERCADO_DISPONIBLE*FRACCION_DE_VENTAS
  DOCUMENT: EPGs/mes
  FRACCION_DE_VENTAS = 0.2
  DOCUMENT: /mes
  MERCADO_DISPONIBLE = PUNTO_DE_SATURACION_DEL_MERCADO-ARTICULOS_VENDIDOS
  DOCUMENT: EPGs
  PUNTO_DE_SATURACION_DEL_MERCADO = 10000
  DOCUMENT: EPGs
  
```

La gráfica que muestra el comportamiento es:



La curva 1 (artículos vendidos) inicia con cero EPGs vendidos y la venta se incrementa hasta copar el punto de saturación del mercado (10000 EPGs vendidos). Los 10000 EPGs se llegan a vender en aproximadamente 66 meses ( $DT=1$ ), con una política de ventas del 20% del mercado disponible.

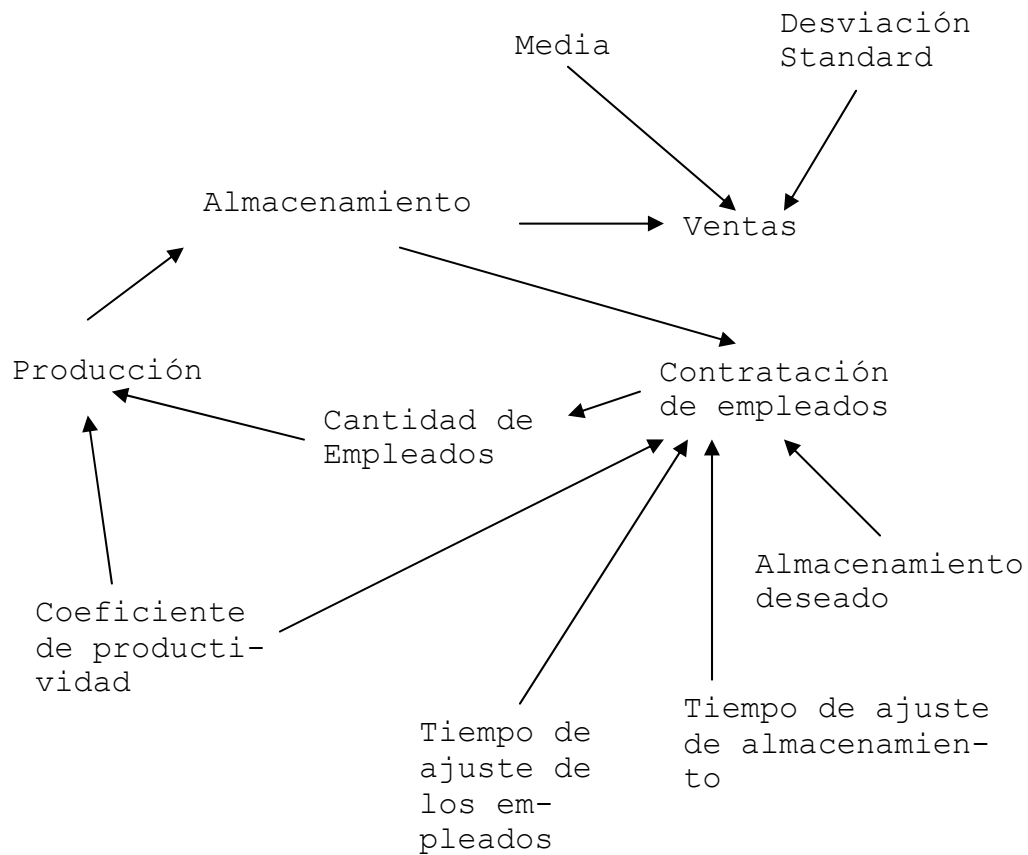
La curva 2 (ventas) tiene 2000 EPGs vendidos en el primer mes y luego se observa que disminuye la cantidad de EPGs vendidos en cada mes hasta llegar a cero.

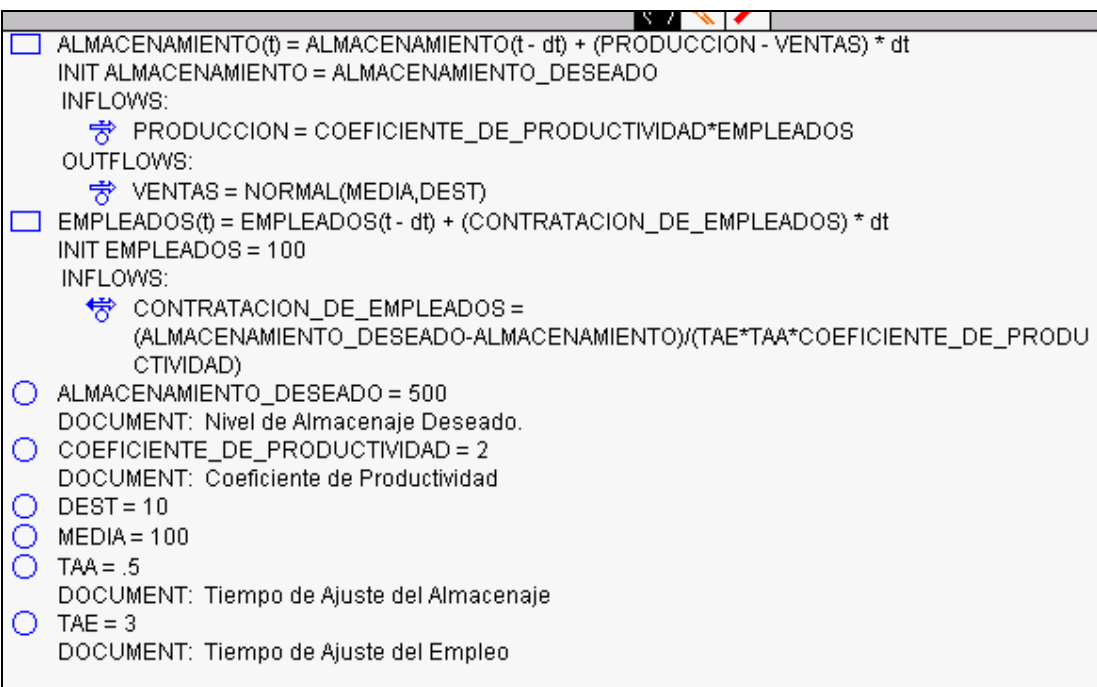
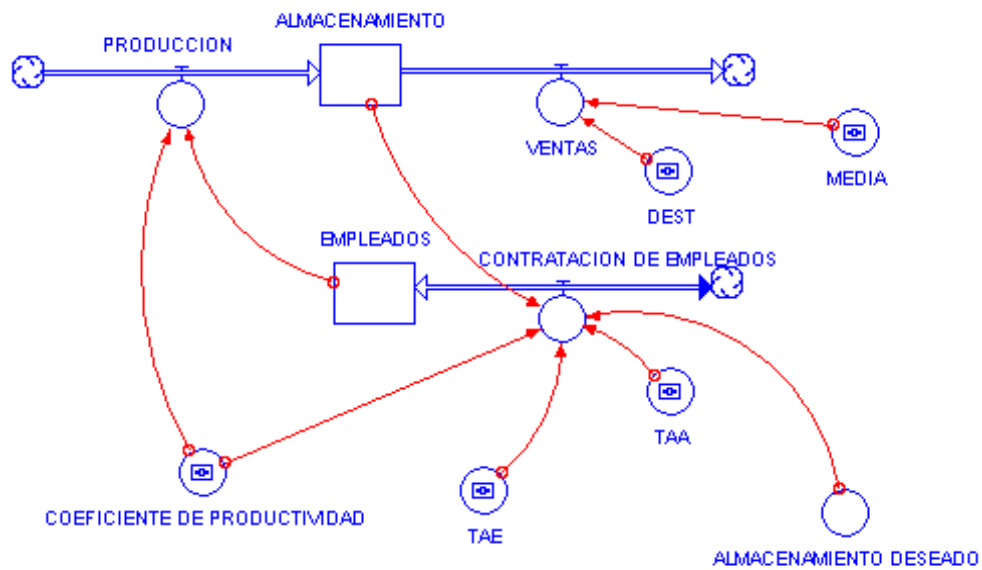
La curva 3 (mercado disponible) muestra como el mercado objetivo se satura.

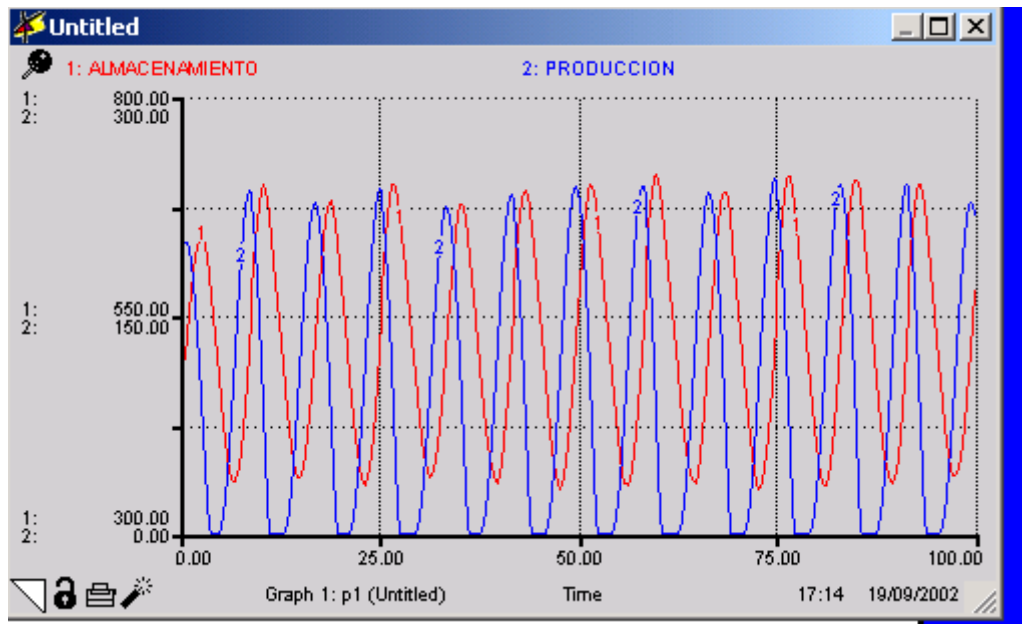
#### 4.2.6. EMPLEADOS Y ALMACEN

Este modelo elemental muestra las interacciones que se producen entre el almacenaje y el número de empleados; donde se supone que el flujo de ventas es exógeno y se rige por una distribución normal.

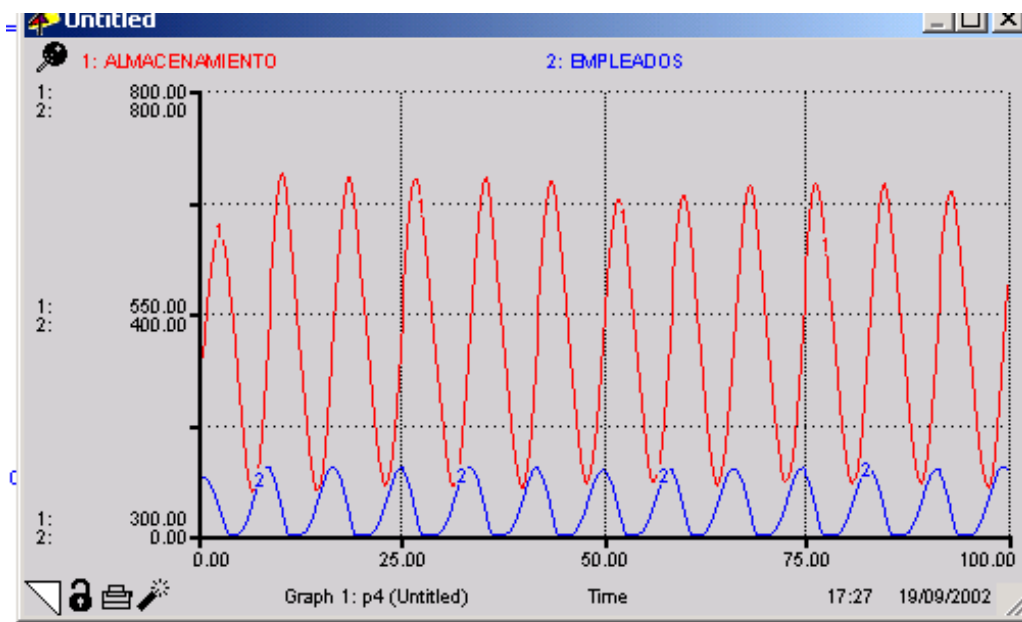
El diagrama causal, el diagrama en STELLA, las ecuaciones y los gráficos para el análisis se muestran a continuación:







El gráfico muestra que al incrementar la cantidad de artículos de almacenamiento debemos disminuir la producción, luego conforme se va disminuyendo la producción se va disminuyendo el almacenamiento, por lo cual otra vez tenemos que incrementar la producción.



El gráfico muestra como al incrementar el almacenamiento se tiene que disminuir los empleados y luego se tiene que incrementar otra vez los empleados por el nivel mínimo de almacenamiento.

#### 4.2.7. *LA DINÁMICA DE UNA SOCIEDAD AGRARIA INDUSTRIAL SIMPLE* <sup>3</sup>

##### **Modelo de Industrialización de una Sociedad Agraria Simple.**

Consideremos una población inicial de personas en una cierta isla con una determinada área geográfica, de modo que por razones extrañas hay una cierta cantidad de comida escondida, siendo esta la única fuente de nutrición y, además, controla el nivel de la población. Los miembros más viejos de la población barruntan que la comida se acabará pronto, y proponen a la comunidad que diseñen un racionamiento, mientras ellos estudian la factibilidad de encontrar o crear alimentos suplementarios de forma continua. Después de algunos años descubren que el uso de herramientas en su proceso agrícola primitivo les facilitará la labor en el campo, y además lo hará más productivo. Entonces ellos fabrican herramientas, mediante la construcción de factorías que producen estos implementos para su agricultura, se producen cambios en las actividades laborales (gente para la agricultura, gente para las factorías)... comienza la formación de las grandes ciudades del mundo.

Metodología de trabajo: ¿Cómo es posible comenzar a modelar el proceso económico de la civilización hasta la revolución industrial? Comience desde lo simple y paulatinamente lo vayamos complicando. Una vez que las características básicas de la población agrícola sean capturadas en un modelo simple, podemos refinar el modelo y extenderlo para incluir el proceso de la creación de alimentos y la construcción de herramientas.

El primer modelo: Vamos a considerar dos variables de nivel, la **población** y los **alimentos** (unidades, personas y kilos respectivamente). Supongamos que los valores ini-

---

<sup>3</sup> Eliseo Martínez. Universidad de Atacama  
106



ciales para la población y los alimentos son 10 personas y 1000 kilogramos, respectivamente. La población es regulada por dos flujos, uno de entrada, número de personas que nacen por unidad de tiempo, y uno de salida, número de personas que mueren por unidad de tiempo. Al flujo de entrada le llamaremos **flujo de nacimiento**, y al flujo de salida **flujo de muerte**. Vamos a suponer que el flujo de nacimiento está controlado por una variable llamada **razón de nacimiento**. La unidad de esta razón de nacimiento es importante y no podemos soslayarla: *nuevas personas que nacen por personas que están en la población, por unidad de tiempo*; (a estas alturas digamos que la unidad de tiempo es el año). Supongamos que la razón de nacimiento es función de la densidad de población, esto es número de habitantes por área geográfica, ahora si suponemos que el área de nuestra isla es de 1 (si es preciso la normalizamos), entonces con cierto abuso de lenguaje podemos decir que la razón de nacimiento es función de la población. Estudios antropológicos nos dicen que cuando hay suficiente espacio la razón de nacimiento alcanza su máximo valor de 0.1, y que el máximo permisible de habitantes para la isla es de 200 personas, lo que significa que necesariamente la razón de nacimiento debe ser (o estar próxima) a cero para esta densidad. En definitiva los estudiosos nos entregan el siguiente cuadro:

Población	Razón de nacimiento
2.00	0.0995
21.8	0.0975
41.6	0.091
61.4	0.0885
81.2	0.083

101	0.075
121	0.062
141	0.053
160	0.035
180	0.015
200	0

El flujo de nacimiento necesitará de esta razón de nacimiento, y además necesitará el nivel de la población para cada año, de otra forma este flujo de nacimiento (de un determinado año) es igual a la razón de nacimiento por la población (de ese año).

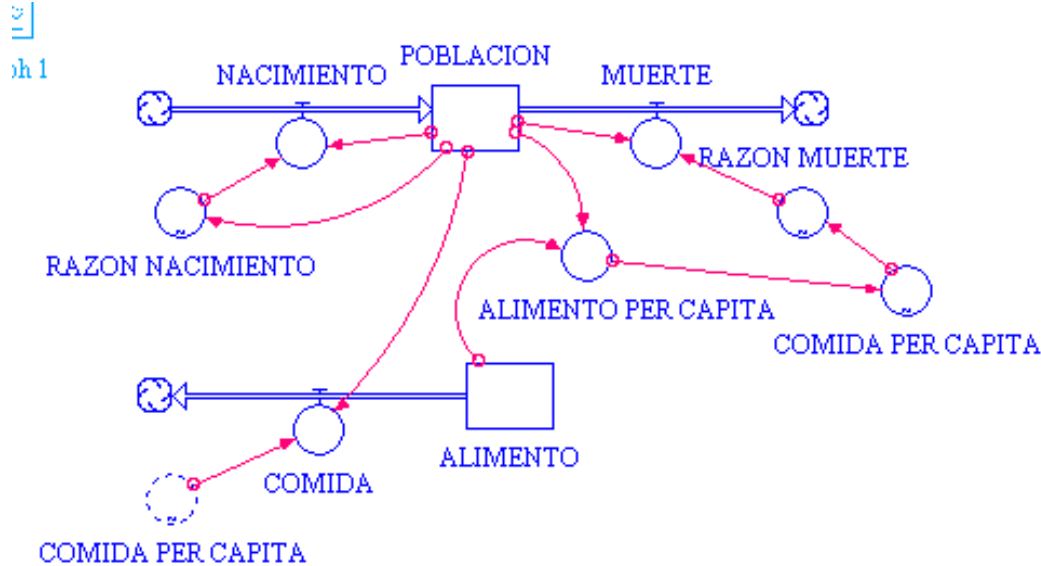
Por otro lado, el flujo de muerte depende de una **razón de muerte** (cuya unidad es personas muertas por personas de la población, por año), y de la población, pero por estudios que se han hecho se sabe que la razón de muerte es función de la **comida per capita** (kilogramos por persona), a su vez por razones de racionamiento, puesto que la comida en esta sociedad primitiva es finita, esta comida per capita es función de la **alimentación per capita**. Las relaciones anteriores se entregan en los siguientes cuadros

Comida per capita	Razón de muerte
0.00	0.187
0.1	0.19
0.2	0.184
0.3	0.173

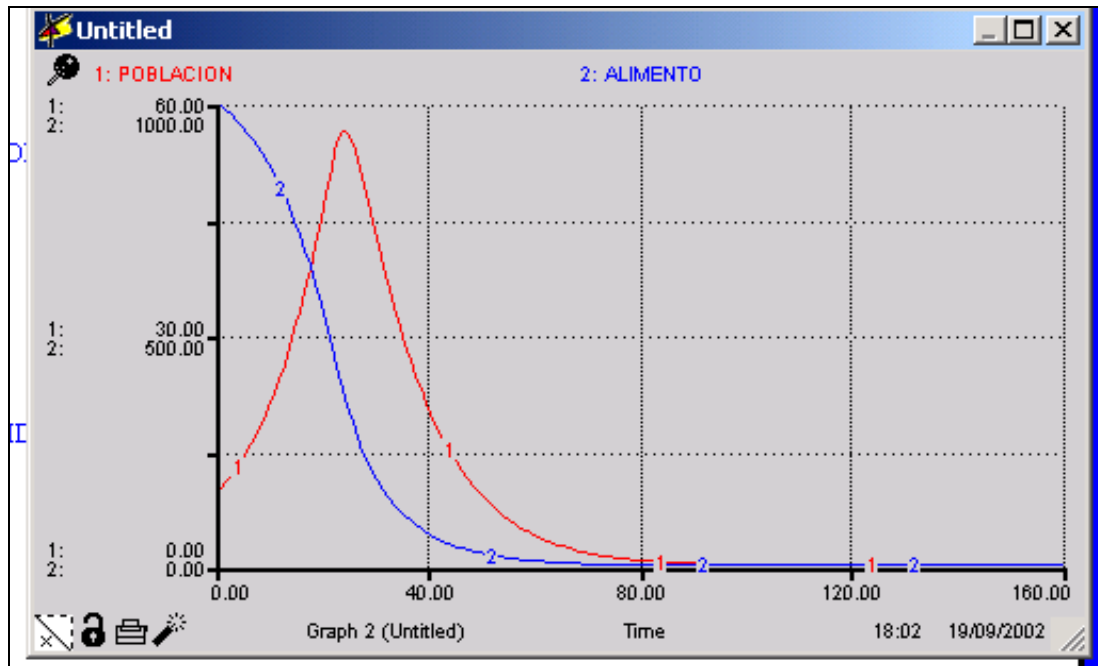
0.4	0.163
0.5	0.147
0.6	0.121
0.7	0.095
0.8	0.061
0.9	0.028
1.0	0.013

Alimentación per capita	Comida per capita
0.00	0.00
1.0	0.04
2.0	0.155
3.0	0.27
4.0	0.385
5.0	0.52
6.0	0.63
7.0	0.72
8.0	0.82
9.0	0.92
10.0	0.995

El diagrama de Forrester de este sistema, las ecuaciones dinámicas y una simulación se pueden observar a continuación:



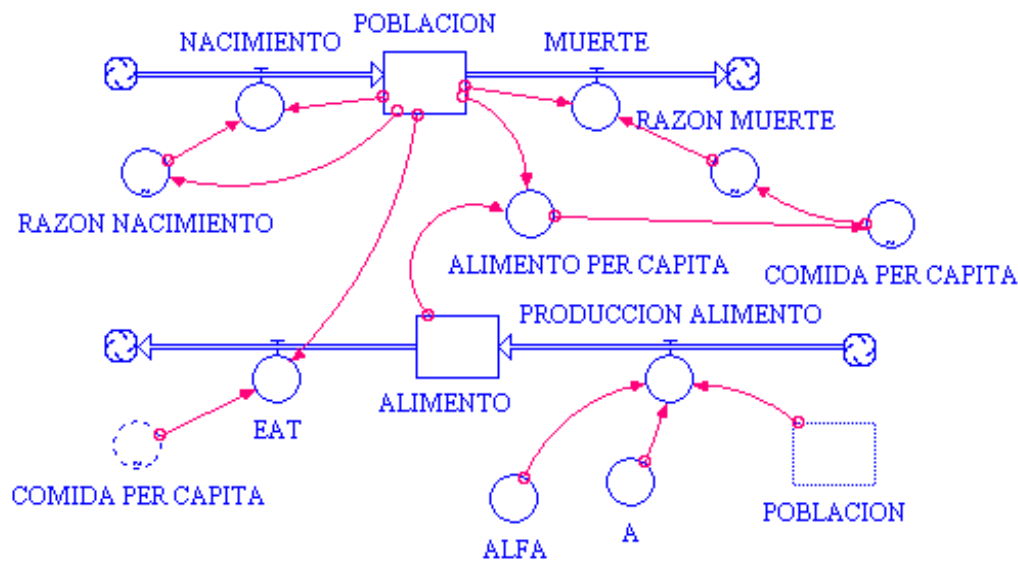
<input type="checkbox"/>	$ALIMENTO(t) = ALIMENTO(t - dt) + (- COMIDA) * dt$ INIT ALIMENTO = 1000 {Kilogramos; reducir para eliminar la primera cumbre de la población.} OUTFLOWS: $COMIDA = COMIDA\_PER\_CAPITA * POBLACION$ {Kilogramos por periodo de tiempo}
<input type="checkbox"/>	$POBLACION(t) = POBLACION(t - dt) + (NACIMIENTO - MUERTE) * dt$ INIT POBLACION = 10 {Individuos} INFLOWS: $NACIMIENTO = RAZON\_NACIMIENTO * POBLACION$ {Individuos por periodo de tiempo} OUTFLOWS: $MUERTE = RAZON\_MUERTE * POBLACION$ {Individuos por periodo de tiempo}
<input type="checkbox"/>	$ALIMENTO\_PER\_CAPITA = ALIMENTO / POBLACION$ {Kilogramos per Capita}
<input checked="" type="checkbox"/>	$COMIDA\_PER\_CAPITA = GRAPH(ALIMENTO\_PER\_CAPITA)$ (0.00, 0.00), (1.00, 0.04), (2.00, 0.155), (3.00, 0.27), (4.00, 0.385), (5.00, 0.52), (6.00, 0.63), (7.00, 0.72), (8.00, 0.82), (9.00, 0.92), (10.0, 0.995)
<input checked="" type="checkbox"/>	$RAZON\_MUERTE = GRAPH(COMIDA\_PER\_CAPITA)$ (0.00, 0.197), (0.1, 0.19), (0.2, 0.184), (0.3, 0.173), (0.4, 0.163), (0.5, 0.147), (0.6, 0.121), (0.7, 0.095), (0.8, 0.061), (0.9, 0.028), (1.00, 0.013)
<input checked="" type="checkbox"/>	$RAZON\_NACIMIENTO = GRAPH(POBLACION)$ (0.00, 0.0995), (20.0, 0.0975), (40.0, 0.091), (60.0, 0.0855), (80.0, 0.083), (100, 0.075), (120, 0.062), (140, 0.053), (160, 0.035), (180, 0.015), (200, 0.00)



Un segundo modelo mejorado: Agregando la agricultura. Esto significa que entra un flujo de **producción de alimentos** sobre la variable de nivel **alimentos**, y esta variable se regulará por el nivel de la población (exactamente por la población laboralmente activa), y por un par de coeficientes tecnológicos. El grupo de economistas de la isla concluye tímidamente que la variable de flujo producción de alimentos se rige por:

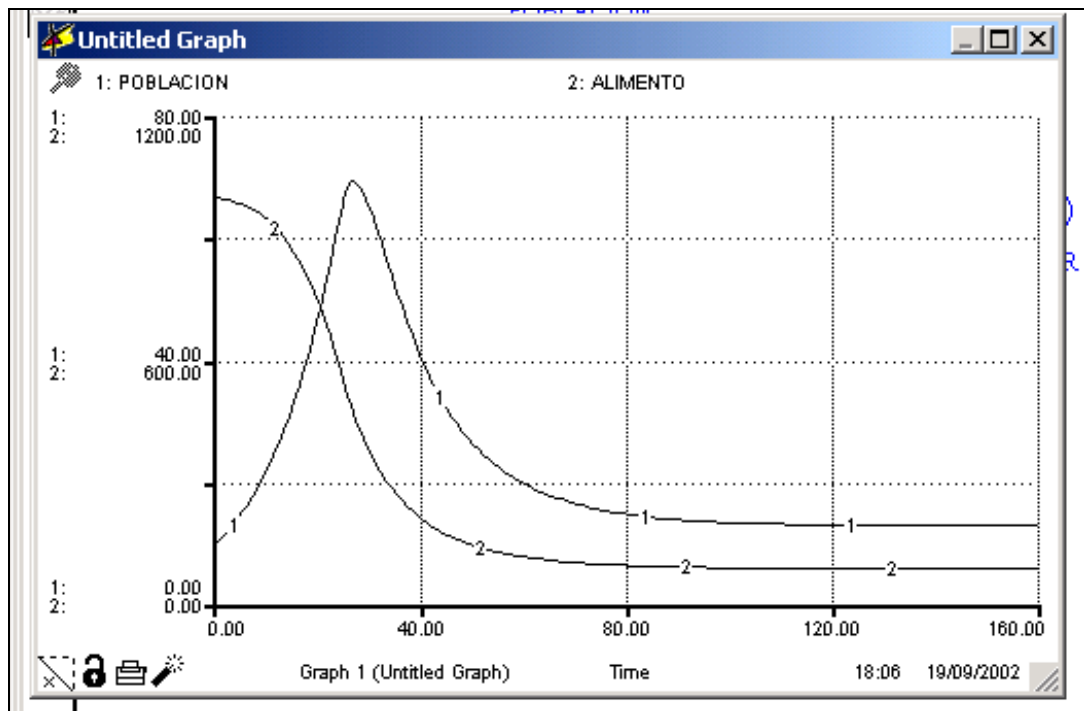
$$\text{Producción de Alimentos} = A \cdot \left( \frac{\text{Población}}{2} \right)^{\alpha}$$

El nuevo diagrama de Forrester para este modelo, las ecuaciones dinámicas y una simulación se puede observar a continuación:



```

ALIMENTO(t) = ALIMENTO(t - dt) + (PRODUCCION_ALIMENTO - EAT) * dt
INIT ALIMENTO = 1000 {Kilograms; reduce to eliminate the first peak of the population.}
INFLOWS:
    PRODUCCION_ALIMENTO = A*(POBLACION/2)^ALFA {Kilograms per Time Period}
OUTFLOWS:
    EAT = COMIDA_PER_CAPITA*POBLACION {Kilograms per Time Period}
POBLACION(t) = POBLACION(t - dt) + (NACIMIENTO - MUERTE) * dt
INIT POBLACION = 10 {Individuals}
INFLOWS:
    NACIMIENTO = RAZON_NACIMIENTO*POBLACION {Individuals per Time Period}
OUTFLOWS:
    MUERTE = RAZON_MUERTE*POBLACION {Individuals per Time Period}
A = 5 {1/Individuals}
ALFA = 3
ALIMENTO_PER_CAPITA = ALIMENTO/POBLACION {Kilograms per Individual}
COMIDA_PER_CAPITA = GRAPH(ALIMENTO_PER_CAPITA)
    (0.00, 0.00), (1.00, 0.04), (2.00, 0.155), (3.00, 0.27), (4.00, 0.385), (5.00, 0.52), (6.00, 0.63), (7.00, 0.72), (8.00, 0.82), (9.00, 0.92), (10.0, 0.995)
RAZON_MUERTE = GRAPH(COMIDA_PER_CAPITA)
    (0.00, 0.197), (0.1, 0.19), (0.2, 0.184), (0.3, 0.173), (0.4, 0.163), (0.5, 0.147), (0.6, 0.121), (0.7, 0.095), (0.8, 0.061), (0.9, 0.028), (1.00, 0.013)
RAZON_NACIMIENTO = GRAPH(POBLACION)
    (0.00, 0.0995), (20.0, 0.0975), (40.0, 0.091), (60.0, 0.0855), (80.0, 0.083), (100, 0.075), (120, 0.062), (140, 0.053), (160, 0.035), (180, 0.015), (200, 0.00)
  
```



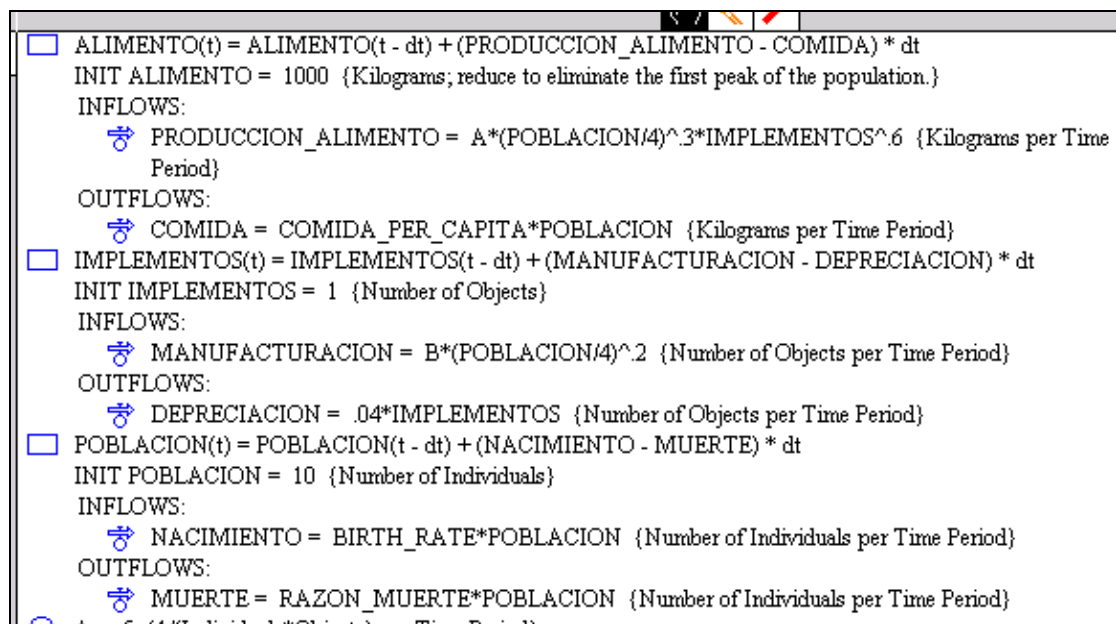
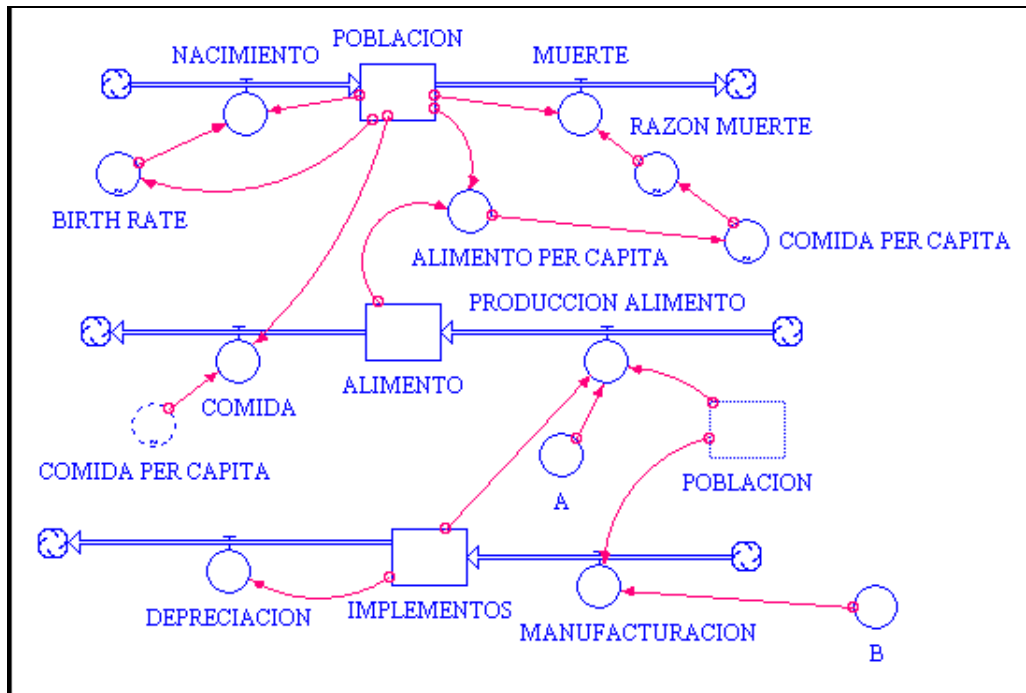
Un tercer modelo mejorado: Agregando la industria. A la luz de los resultados anteriores, introducimos la industria en esta sociedad primitiva, que se reflejará en la variable de nivel **implementos**, que servirán para mejorar la producción agrícola. Esta variable es regulada por dos flujos, el de salida llamado **depreciación** (vamos a suponer una depreciación constante de 0.04 por cada implemento), y el de entrada llamado **manufacturación** que es regulado por la población laboral dedicada a las fabricas y un par de coeficientes tecnológicos. Se propone:

$$Manufacturación = B \cdot \left( \frac{Población}{4} \right)^{0.2}$$

de manera que la (nueva) variable producción de alimentos queda como:

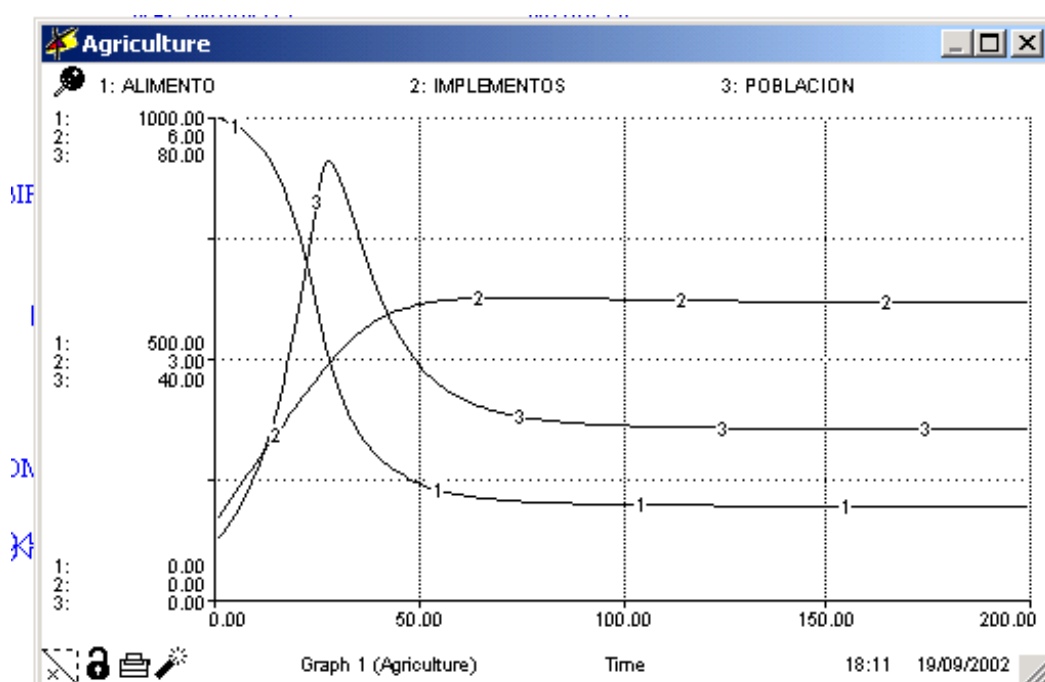
$$Producción de Alimentos = A \cdot \left( \frac{Población}{4} \right)^{\alpha} \cdot (Implementos)^{0.6}$$

El diagrama de Forrester para este modelo y su evolución en el tiempo se puede observar a continuación:





- ☐  $A = 5$  {1/(Individuals\*Objects) per Time Period}
- ☐  $ALIMENTO\_PER\_CAPITA = ALIMENTO/POBLACION$  {Kilogram per Individual}
- ☐  $B = .1$  {1/Objects per Time Period}
- ☒  $BIRTH\_RATE = GRAPH(POBLACION)$   
(0.00, 0.0995), (20.0, 0.0975), (40.0, 0.091), (60.0, 0.0855), (80.0, 0.083), (100, 0.075), (120, 0.062), (140, 0.053), (160, 0.035), (180, 0.015), (200, 0.00)
- ☒  $COMIDA\_PER\_CAPITA = GRAPH(ALIMENTO\_PER\_CAPITA)$   
(0.00, 0.00), (1.00, 0.04), (2.00, 0.155), (3.00, 0.27), (4.00, 0.385), (5.00, 0.52), (6.00, 0.63), (7.00, 0.72), (8.00, 0.82), (9.00, 0.92), (10.0, 0.995)
- ☒  $RAZON\_MUERTE = GRAPH(COMIDA\_PER\_CAPITA)$   
(0.00, 0.197), (0.1, 0.19), (0.2, 0.184), (0.3, 0.173), (0.4, 0.163), (0.5, 0.147), (0.6, 0.121), (0.7, 0.095), (0.8, 0.061), (0.9, 0.028), (1.00, 0.013)



#### 4.2.8. **BANCO DE PECES Y AGOTAMIENTO DE LOS RECURSOS RENOVABLES**

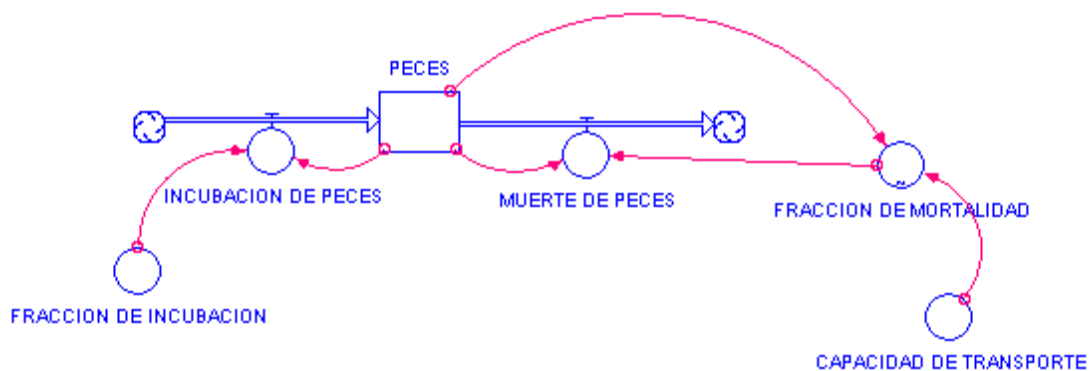
La pesca es un origen importante de los ingresos económicos para el país, de manera que las decisiones pueden asegurar un mantenimiento saludable de la población de peces y la industria de la pesca. Con este modelo se pretende probar el impacto de las diferentes políticas de pesca y como influye en su agotamiento.

Para realizar el modelamiento utilizaremos los tres subsistemas siguientes:

- Modelo del subsistema de la **población de peces**.
- Modelo del subsistema de **embarque**
- Modelo del subsistema de **conexión** de la población de peces y el embarque

### Modelo del subsistema de la población de peces

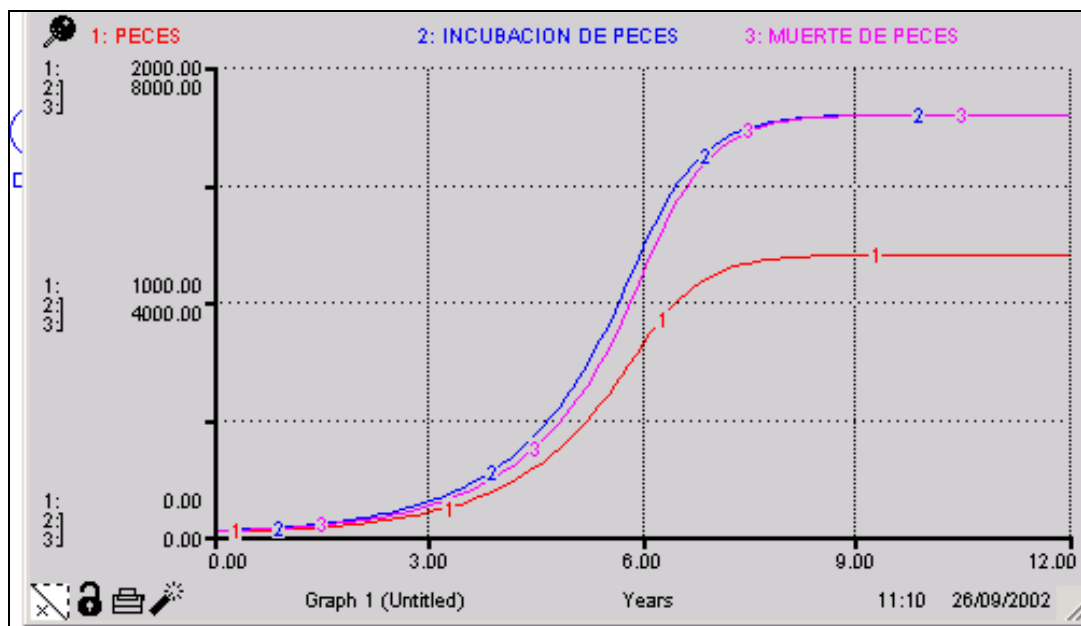
El diagrama en Stella, las ecuaciones y las gráficas que explican el comportamiento del sistema para este modelo son:



Se tiene que la pesca se realiza en un área que es óptima para 1200 peces, lo cual exige que no se debe sobrepasar de esa población.

```

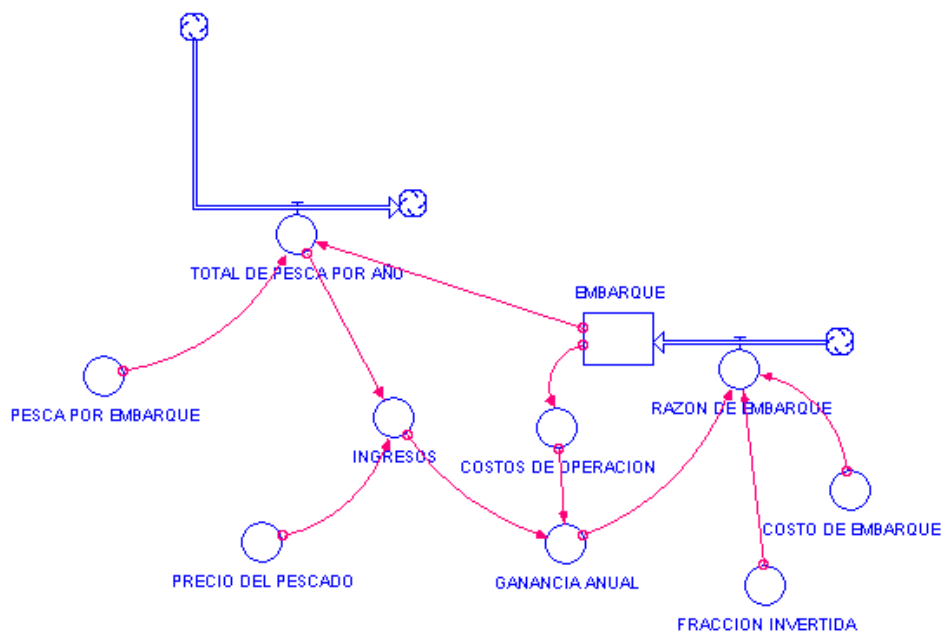
□ PECES(t) = PECES(t - dt) + (INCUBACION_DE_PECES - MUERTE_DE_PECES) * dt
INIT PECES = 10
INFLOWS:
  INCUBACION_DE_PECES = PECES*FRACCION_DE_INCUBACION
OUTFLOWS:
  MUERTE_DE_PECES = PECES*FRACCION_DE_MORTALIDAD
○ CAPACIDAD_DE_TRANSPORTE = 1200
○ FRACCION_DE_INCUBACION = 6
○ FRACCION_DE_MORTALIDAD = GRAPH(PECES/CAPACIDAD_DE_TRANSPORTE)
  (0.00, 5.22), (0.2, 5.23), (0.4, 5.26), (0.6, 5.35), (0.8, 5.67), (1.00, 6.00), (1.20, 6.44), (1.40, 7.13), (1.60, 7.97), (1.80, 9.32), (2.00, 11.0)
  
```



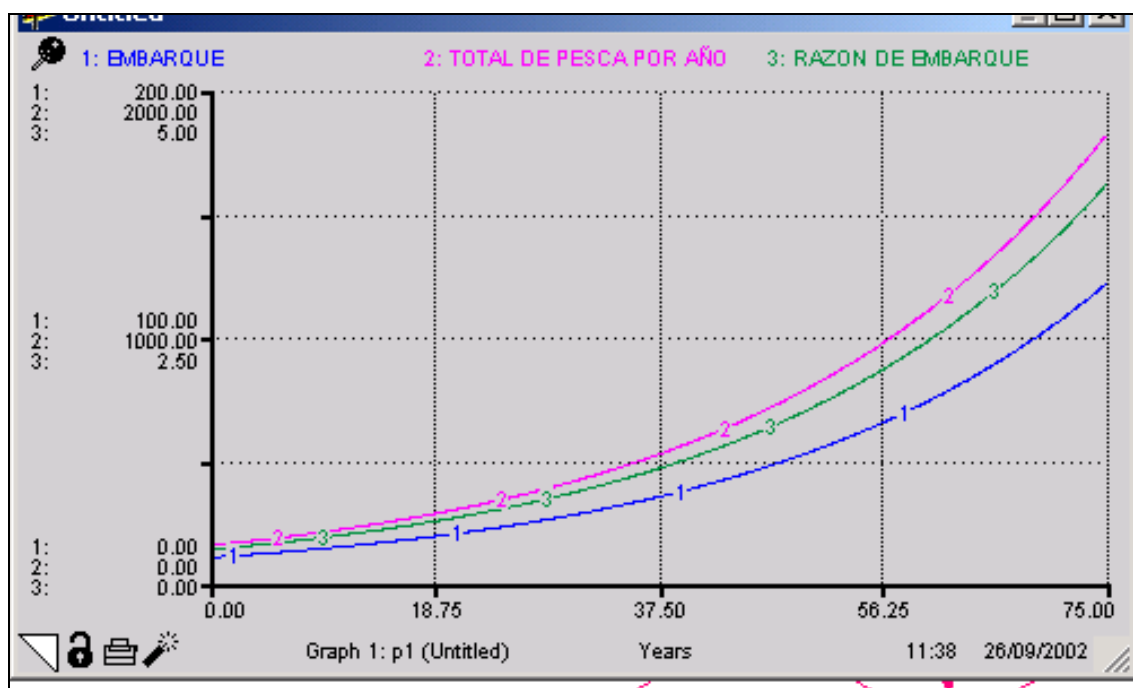
La gráfica muestra como el límite de 1200 peces es el que se alcanza para la población de peces (curva 1).

### Modelo del subsistema de embarque

El diagrama en Stella, las ecuaciones y las gráficas que explican el comportamiento del sistema para este modelo son:



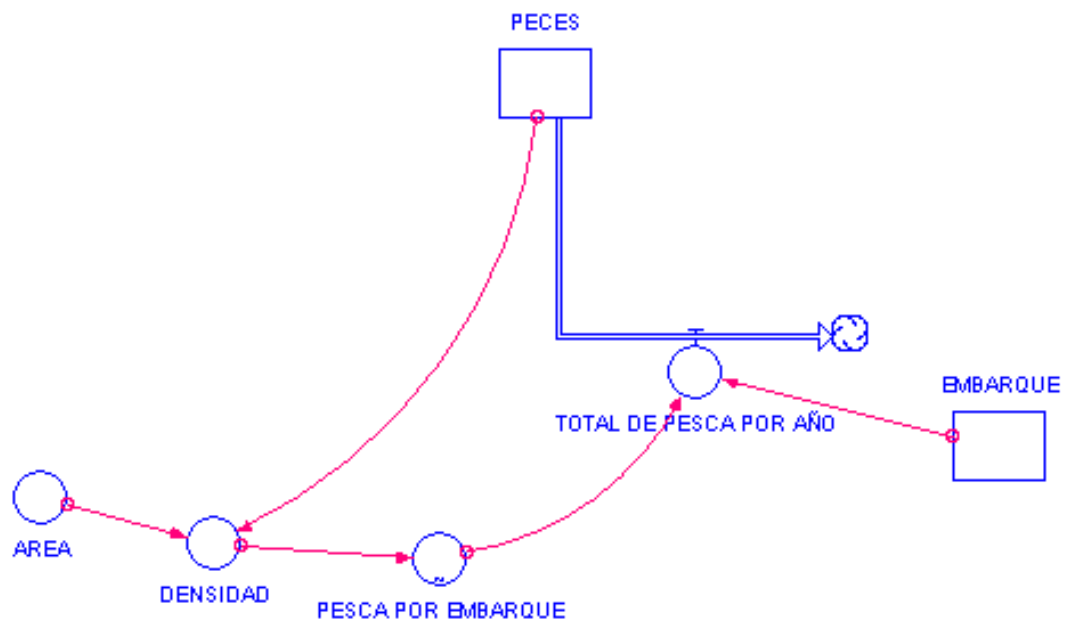
☐  $EMBARQUE(t) = EMBARQUE(t - dt) + (RAZON\_DE\_EMBARQUE) * dt$   
 INIT EMBARQUE = 10  
 INFLOWS:  
     ☞  $RAZON\_DE\_EMBARQUE = GANANCIA\_ANUAL * FRACCION\_INVERTIDA / COSTO\_DE\_EMBARQUE$   
 UNATTACHED:  
     ☞  $TOTAL\_DE\_PESCA\_POR\_AÑO = EMBARQUE * PESCA\_POR\_EMBARQUE$   
☐  $COSTOS\_DE\_OPERACION = EMBARQUE * 250$   
☐  $COSTO\_DE\_EMBARQUE = 300$   
☐  $FRACCION\_INVERTIDA = .2$   
☐  $GANANCIA\_ANUAL = INGRESOS - COSTOS\_DE\_OPERACION$   
☐  $INGRESOS = TOTAL\_DE\_PESCA\_POR\_AÑO * PRECIO\_DEL\_PESCADO$   
☐  $PESCA\_POR\_EMBARQUE = 15$   
☐  $PRECIO\_DEL\_PESCADO = 20$



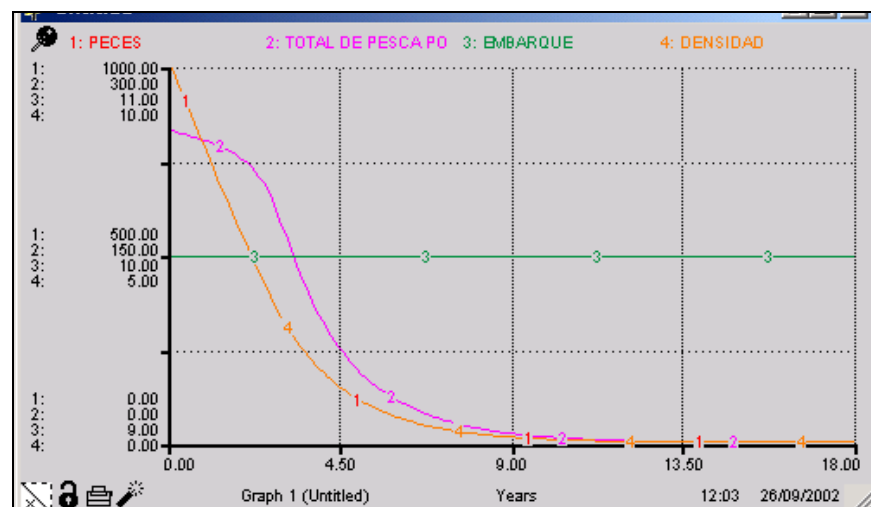
Si se toma en cuenta que la población de peces es infinita, podríamos realizar más embarques (curva 1), lo cual mejoraría la pesca total por año (curva 2).

### Modelo del subsistema de conexión de la población de peces y el embarque

El diagrama en Stella, las ecuaciones y las gráficas que explican el comportamiento del sistema para este modelo son:



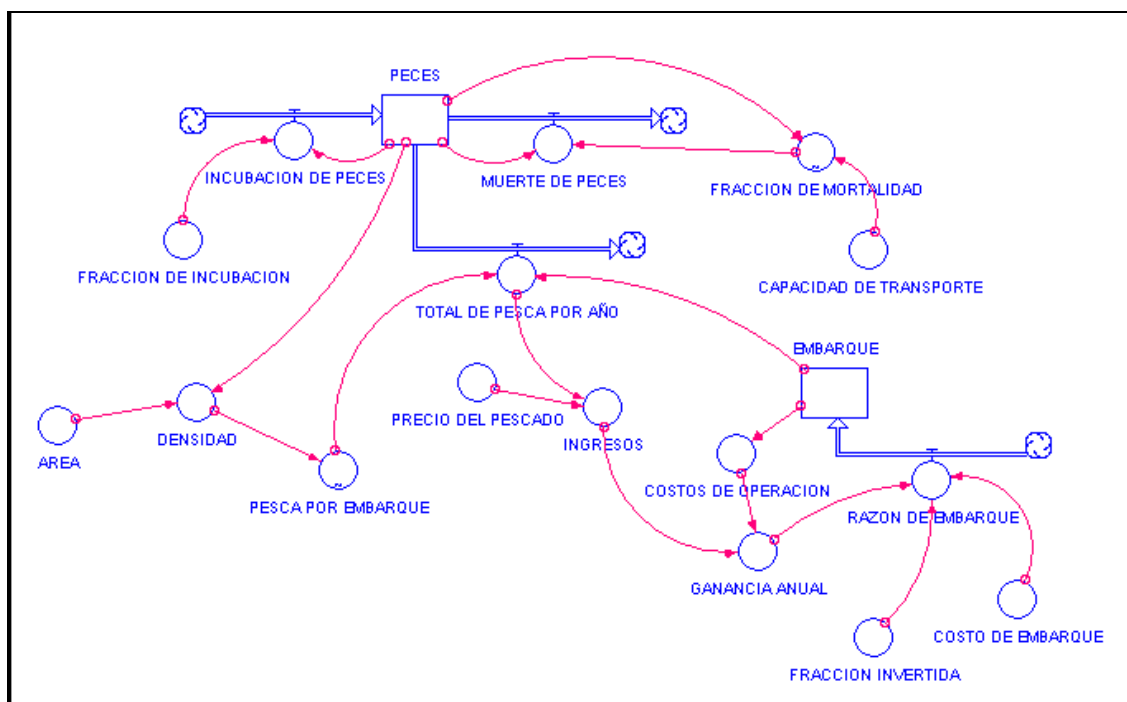
- 
- $EMBARQUE(t) = EMBARQUE(t - dt)$   
INIT EMBARQUE = 10
  - $PECES(t) = PECES(t - dt) + (- TOTAL\_DE\_PESCA\_POR\_AÑO) * dt$   
INIT PECES = 1000  
OUTFLOWS:
  - ⚙  $TOTAL\_DE\_PESCA\_POR\_AÑO = EMBARQUE * PESCA\_POR\_EMBARQUE$
  - AREA = 100
  - $DENSIDAD = PECES / AREA$
  - $PESCA\_POR\_EMBARQUE = GRAPH(DENSIDAD)$   
(0.00, 0.00), (1.00, 5.00), (2.00, 10.4), (3.00, 15.9), (4.00, 20.2), (5.00, 22.1), (6.00, 23.2),  
, (7.00, 23.8), (8.00, 24.2), (9.00, 24.6), (10.0, 25.0)



El gráfico muestra como la población de peces y total de pesca por año disminuye; aunque el total de pesca por año disminuye lentamente en comparación con la población de peces, esto se debe a que se puede seguir pescando mientras exista población de peces suficiente.

### **Modelo final**

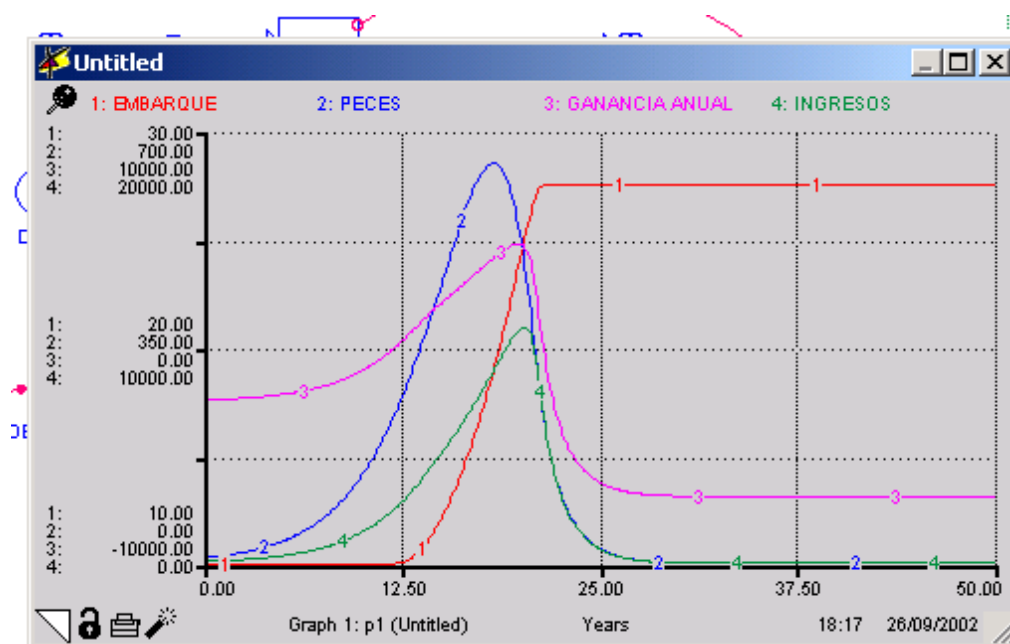
El diagrama en Stella, las ecuaciones y las gráficas que explican el comportamiento del sistema para este modelo son:



```

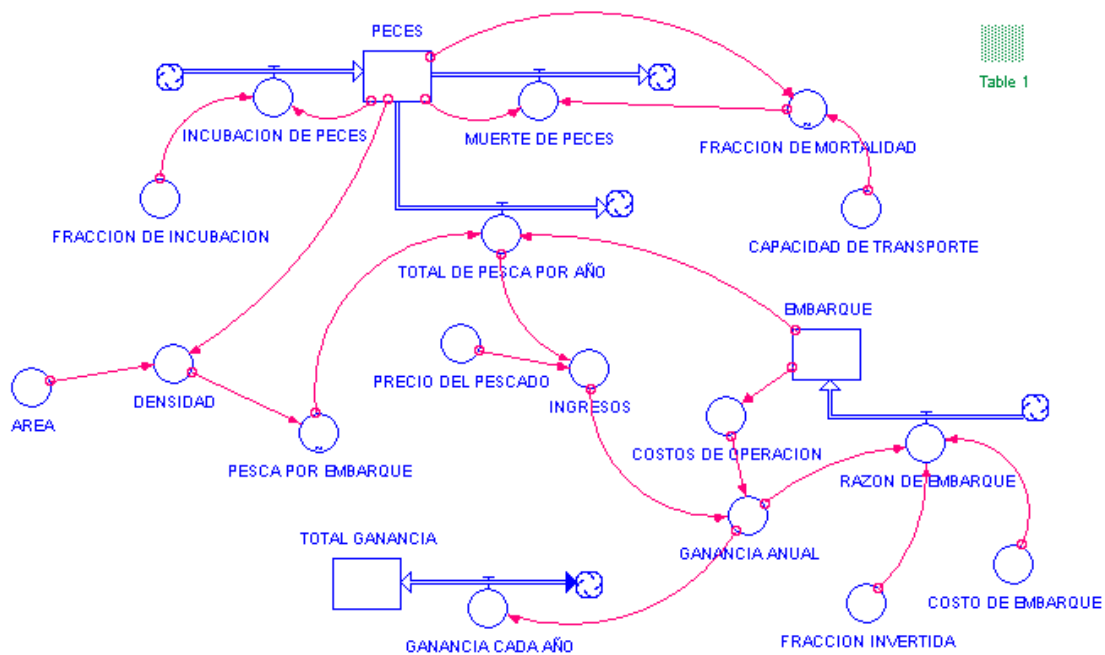
☐ EMBARQUE(t) = EMBARQUE(t - dt) + (RAZON_DE_EMBARQUE) * dt
INIT EMBARQUE = 10
INFLOWS:
    ☒ RAZON_DE_EMBARQUE = GANANCIA_ANUAL*FRACCION_INVERTIDA/COSTO_DE_EMBARQUE
☐ PECES(t) = PECES(t - dt) + (INCUBACION_DE_PECES - MUERTE_DE_PECES - TOTAL_DE_PESCA_POR_AÑO) * dt
INIT PECES = 10
INFLOWS:
    ☒ INCUBACION_DE_PECES = PECES*FRACCION_DE_INCUBACION
OUTFLOWS:
    ☒ MUERTE_DE_PECES = PECES*FRACCION_DE_MORTALIDAD
    ☒ TOTAL_DE_PESCA_POR_AÑO = EMBARQUE*PESCA_POR_EMBARQUE
☐ AREA = 100
☐ CAPACIDAD_DE_TRANSPORTE = 1200
☐ COSTOS_DE_OPERACION = EMBARQUE*250
☐ COSTO_DE_EMBARQUE = 300
☐ DENSIDAD = PECES/AREA
☐ FRACCION_DE_INCUBACION = 6
☐ FRACCION_INVERTIDA = .2
☐ GANANCIA_ANUAL = INGRESOS-COSTOS_DE_OPERACION
☐ INGRESOS = TOTAL_DE_PESCA_POR_AÑO*PRECIO_DEL_PESCADO
☐ PRECIO_DEL_PESCADO = 20
☒ FRACCION_DE_MORTALIDAD = GRAPH(PECES/CAPACIDAD_DE_TRANSPORTE)
    (0.00, 5.22), (0.2, 5.23), (0.4, 5.26), (0.6, 5.35), (0.8, 5.67), (1.00, 6.00), (1.20, 6.44), (1.40, 7.13), (1.60, 7.97), (1.80, 9.32), (2.00, 11.0)
☒ PESCA_POR_EMBARQUE = GRAPH(DENSIDAD)
    (0.00, 0.00), (1.00, 5.00), (2.00, 10.4), (3.00, 15.9), (4.00, 20.2), (5.00, 22.1), (6.00, 23.2), (7.00, 23.8), (8.00, 24.2), (9.00, 24.6), (10.0,
    (9.00, 24.6), (10.0, 25.0)

```



La gráfica muestra como los peces disminuyen hasta extinguirse (curva 2) debido al aumento del embarque de peces (curva 1).

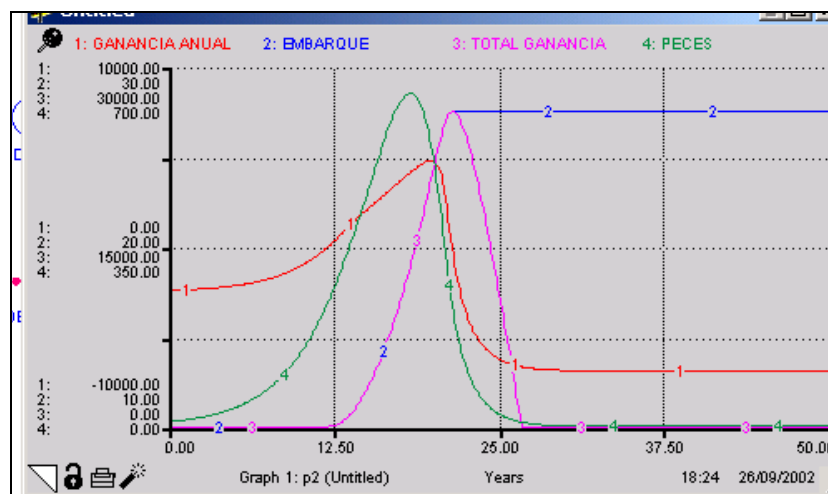
El siguiente diagrama añade un nivel que muestra la ganancia total de la pesca.



Las ecuaciones para este nivel son:

$\text{TOTAL\_DE\_PESCA\_POR\_AÑO} = \text{EMBARQUE} * \text{PESCA\_POR\_EMBARQUE}$   
 $\text{TOTAL\_GANANCIA}(t) = \text{TOTAL\_GANANCIA}(t - dt) + (\text{GANANCIA\_CADA\_AÑO}) * dt$   
 $\text{INIT TOTAL\_GANANCIA} = 0$   
**INFLOWS:**  
 $\text{GANANCIA\_CADA\_AÑO} = \text{GANANCIA\_ANUAL}$

La gráfica que muestra el comportamiento es:





#### **4.2.9. EJEMPLO: EL USO DE LAS TARJETAS DE CRÉDITO**

Las tarjetas de crédito es una de las formas en que la gente pide prestado dinero. Con una tarjeta de crédito, una persona puede comprar sin utilizar efectivo. La compañía de la tarjeta de crédito paga la compra, pero el usuario de la tarjeta tiene que rembolsar el dinero prestado a la tarjeta, a la compañía más tarde. Además para el monto de la compra, el usuario de la tarjeta también tiene que pagar intereses del préstamo. El interés en un préstamo es calculado como una fracción fija del monto del préstamo y es cargado para el periodo de tiempo del préstamo.

El pago de intereses reduce el monto de dinero que el usuario de la tarjeta de crédito pueda gastar en las compras regulares. Este caso presenta un modelo que estudia de que manera los pagos de interés afectan la calidad de vida del usuario de la tarjeta de crédito, reduciendo la cantidad de dinero que él puede gastar en otras compras.

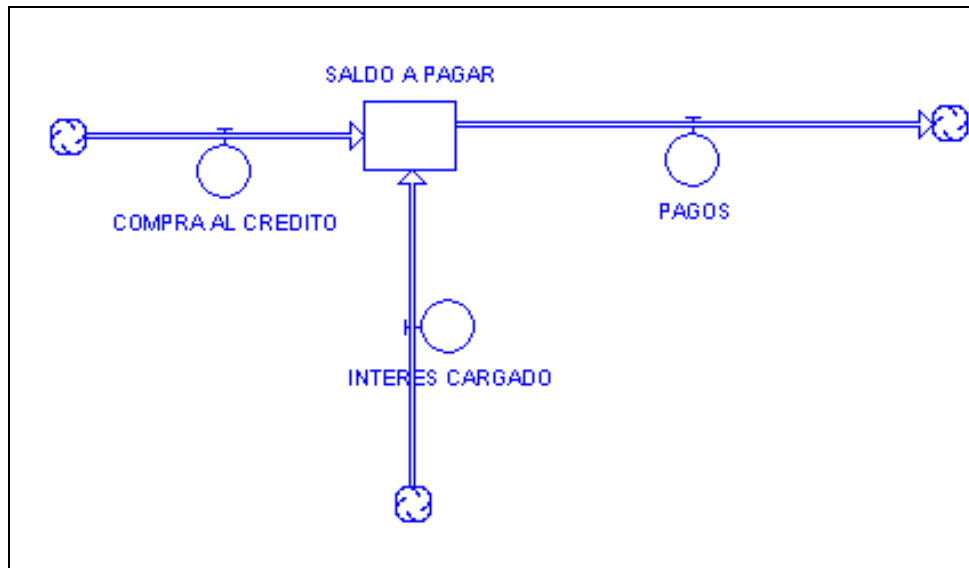
#### **CONCEPTUALIZANDO EL USO DE LA TARJETA DE CREDITO**

Este caso permite modelar y entender las razones de la manera que la tarjeta de crédito puede afectar la calidad de vida del usuario. Este modelo enfocara dos problemas, el primer problema es el monto de la deuda del usuario, llamado "Saldo a Pagar". El segundo problema es el efecto del uso de la tarjeta de crédito en la calidad de vida del usuario. El usuario utiliza su tarjeta de crédito principalmente para pequeños desembolsos, tal como comer en un restaurante o ir al cine. Todos los beneficios de su compra al crédito se disfruta hoy día y el no comprar tiene un efecto a largo plazo en la vida del usuario. Comprar con un efecto a largo plazo debe incluir mobiliario, una computadora o algo que puede utilizarse para un periodo largo de tiempo.

Aquí la calidad de vida del usuario es definido por su habilidad de gasto actual, esto es, el monto total de dinero que él puede gastar en este momento y no por compras hechos en periodo de tiempos previos.

El próximo paso es determinar la frontera del modelo e identificar las variables claves. La frontera del modelo es definido decidiendo si ciertas variables son importantes en la determinación del comportamiento del sistema. La frontera del modelo puede ser determinado mientras estudiamos las variables que afectan el sistema.

La deuda acumulada debido al uso de la tarjeta de crédito es el monto que el usuario tiene que pagar a la compañía que otorga ésta. La deuda es llamada "Saldo a Pagar". "Saldo a Pagar" es un stock porque es la acumulación de todo el dinero que el usuario se ha prestado de la compañía que le otorgo la tarjeta de crédito, más el interés cargado en el préstamo del dinero, menos el dinero que él ha pagado. El **"Saldo a Pagar"** se incrementa cuando el usuario carga una compra a su tarjeta de crédito por que el usuario se esta prestando más dinero. El flujo de compra cargada al crédito es llamado **"Compra al Crédito"**. El interés cargado en el "Saldo a Pagar" también incrementa el "Saldo a Pagar". El flujo de entrada del interés es llamado **"interés cargado"**. El **"Saldo a Pagar"** es reducido por los **"pagos"** que realiza el usuario a la compañía que otorga la tarjeta de crédito. Los **"pagos"** reducen el monto de dinero que el usuario adeuda a la compañía. El stock **"Saldo a Pagar"** y los flujos hacia adentro y afuera del stock son mostradas en la siguiente figura:



Para gastar algún dinero en todo, el usuario debe tener un ingreso que puede ser su sueldo semanal o mensual. El sueldo del usuario es la cantidad de dinero que él recibe cada mes en su trabajo. Se asume que el sueldo del usuario es constante sobre el periodo de tiempo del sistema. Por lo tanto, el modelo contiene una constante llamada **"Sueldo"**. Sobre un periodo de algunos años, la inflación reducirá el poder de la compra real del monto del sueldo del usuario, sin embargo, el efecto de la inflación es muy pequeño en el periodo de tiempo considerado y no es importante en este modelo. Así la inflación queda fuera de la frontera del modelo. Este modelo también asume que el pago del usuario no incrementa y que el no recibe cualquier pago adicional. El monto de dinero que el usuario puede prestarse en su tarjeta de crédito es limitado. El monto máximo de dinero que el usuario puede pedir prestado es llamado **"límite del crédito"**, este límite se da porque no se debe sobrecargar la tarjeta de crédito, debido a que la entrada del usuario es fija y él puede ser incapaz de rembolsar si la deuda es demasiado grande.

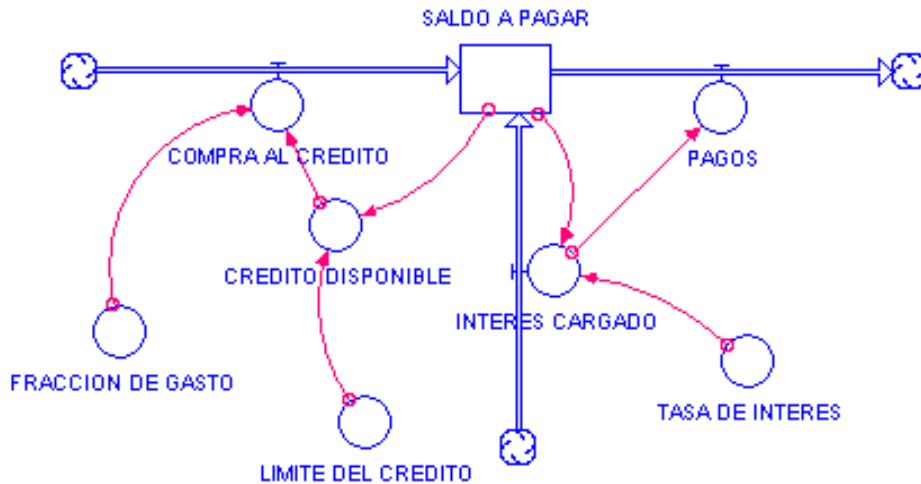
La gente tiene diferentes hábitos para gastar dinero y pagar sus facturas. El usuario tiene dos fuentes de dinero para gastar: el

"**sueldo**" y el crédito disponible en su tarjeta de crédito. Los gastos incluyen compras que determina la calidad de su vida y "**pagos**" a la compañía que otorga la tarjeta de crédito. El "crédito disponible" en un momento en el tiempo es la cantidad máxima que el usuario puede gastar en su tarjeta de crédito en este tiempo. ""

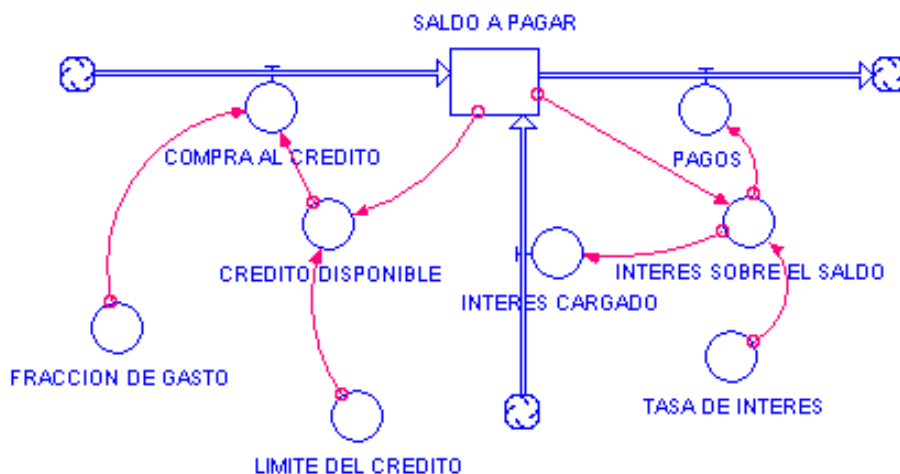
El "**crédito disponible**" es la diferencia entre el máximo saldo permitido, el "**limite del crédito**" y el "**Saldo a Pagar**" actual. El usuario gasta una fracción fija del crédito disponible llamado "**fracción de gasto**", cada mes. Cada mes la compañía que otorga la tarjeta de crédito envía al usuario un informe mostrando el "**Saldo a pagar**" y su crédito para sus compras para este mes. El usuario no paga el saldo entero cada mes, él realiza un pago mínimo y el monto que no se pago será pagado después. El usuario tiene que pagar una cantidad igual o menor que el "**Saldo a pagar**", pero mas o igual que el pago mínimo requerido. Porque el "**interés cargado**" es el costo de la deuda, el usuario paga solo el "**interés cargado**" cada mes. Por lo tanto "**pagos**" es igual a "**interés cargado**". El modelo también estudia la calidad de vida del usuario que viene definido como el valor total de compras que el usuario puede realizar en algún momento. El valor total de la compra es igual a la suma de la cantidad que el usuario carga a su tarjeta de crédito, la "**compra al crédito**" y el monto de su "**sueldo**" que él gasta en sus "**compra con efectivo**". Las "**compra con efectivo**" es igual a la cantidad que se obtuvo del "**sueldo**" luego de realizar los "**pagos**". El usuario no puede gastar el "**sueldo**" entero en "compras con efectivo", excepto cuando los "**pagos**" sean cero. Los "**pagos**" son cero solo cuando el "saldo a pagar" es igual a cero, es decir cuando el usuario no esta utilizando la tarjeta de crédito.

## Formulación del modelo

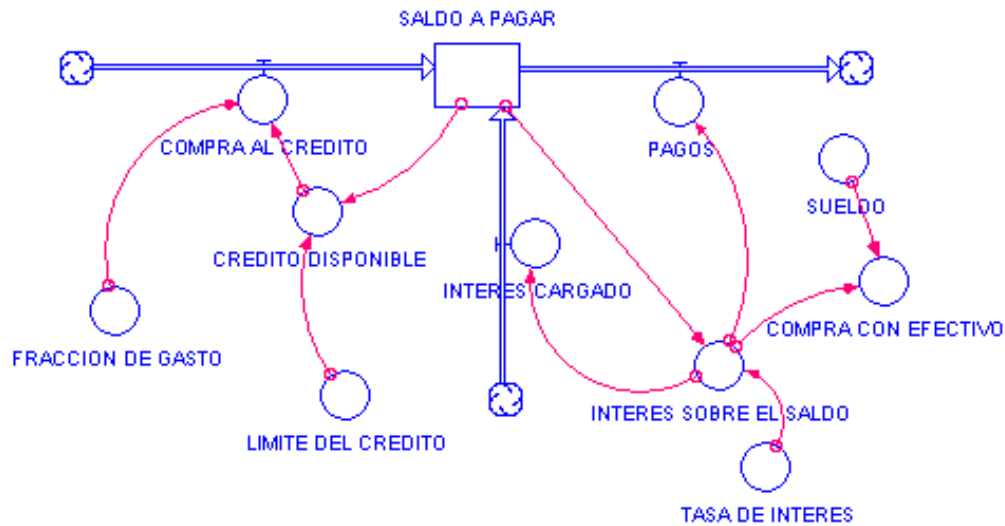
El modelo inicial puede ser el siguiente:



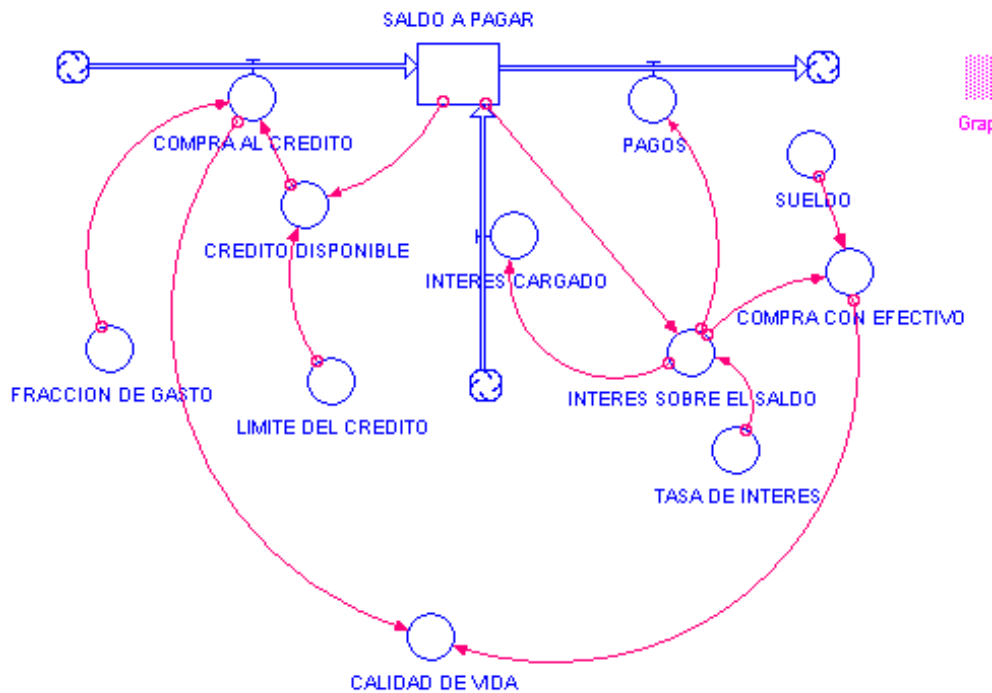
Sin embargo los flujos no pueden medirse instantáneamente, por lo cual es incorrecto definir que un flujo sea igual a otro. Una nueva variable llamada **"interés sobre el saldo"** que es iguala el **"interés cargado"** puede introducirse. Este **"interés cargado"** y **"pagos"** ambos son iguales al **"interés sobre el saldo"**. La modificación del modelo es:



Ahora añadimos la variable "sueldo" que permite realizar los "pagos" del crédito obtenido y gastar el resto en "compra con efectivo". El usuario gana 2000 soles/mes. El modelo ahora es:



La calidad de vida del usuario en el modelo tiene el siguiente comportamiento:



Las ecuaciones para este modelo es:

☐

$$\text{SALDO\_A\_PAGAR}(t) = \text{SALDO\_A\_PAGAR}(t - dt) + (\text{COMPRA\_AL\_CREDITO} + \text{INTERES\_CARGADO} - \text{PAGOS}) * dt$$

INIT SALDO\_A\_PAGAR = 0

DOCUMENT: SOLES

INFLOWS:

- COMPRA\_AL\_CREDITO = FRACCION\_DE\_GASTO\*CREDITO\_DISPONIBLE  
DOCUMENT: SOLES/MES
- INTERES\_CARGADO = INTERES\_SOBRE\_EL\_SALDO  
DOCUMENT: SOLES/MES

OUTFLOWS:

- PAGOS = INTERES\_SOBRE\_EL\_SALDO

- CALIDAD\_DE\_VIDA = COMPRA\_AL\_CREDITO+COMPRA\_CON\_EFECTIVO  
DOCUMENT: SOLES/MES
- COMPRA\_CON\_EFECTIVO = SUELDO-INTERES\_SOBRE\_EL\_SALDO  
DOCUMENT: SOLES/MES
- CREDITO\_DISPONIBLE = LIMITE\_DEL\_CREDITO-SALDO\_A\_PAGAR  
DOCUMENT: SOLES
- FRACCION\_DE\_GASTO = 0.1  
DOCUMENT: 1/MES
- INTERES\_SOBRE\_EL\_SALDO = TASA\_DE\_INTERES\*SALDO\_A\_PAGAR  
DOCUMENT: SOLES/MES
- LIMITE\_DEL\_CREDITO = STEP(6000,6)  
DOCUMENT: SOLES.

El usuario recibe su tarjeta seis meses después de haber iniciado su nuevo trabajo; por lo tanto, el "límite de crédito" es cero los primeros seis meses y es 6000 después del sexto mes.

- SUELDO = 2000  
DOCUMENT: SOLES/MES
- TASA\_DE\_INTERES = 0.015  
DOCUMENT: 1/MES.

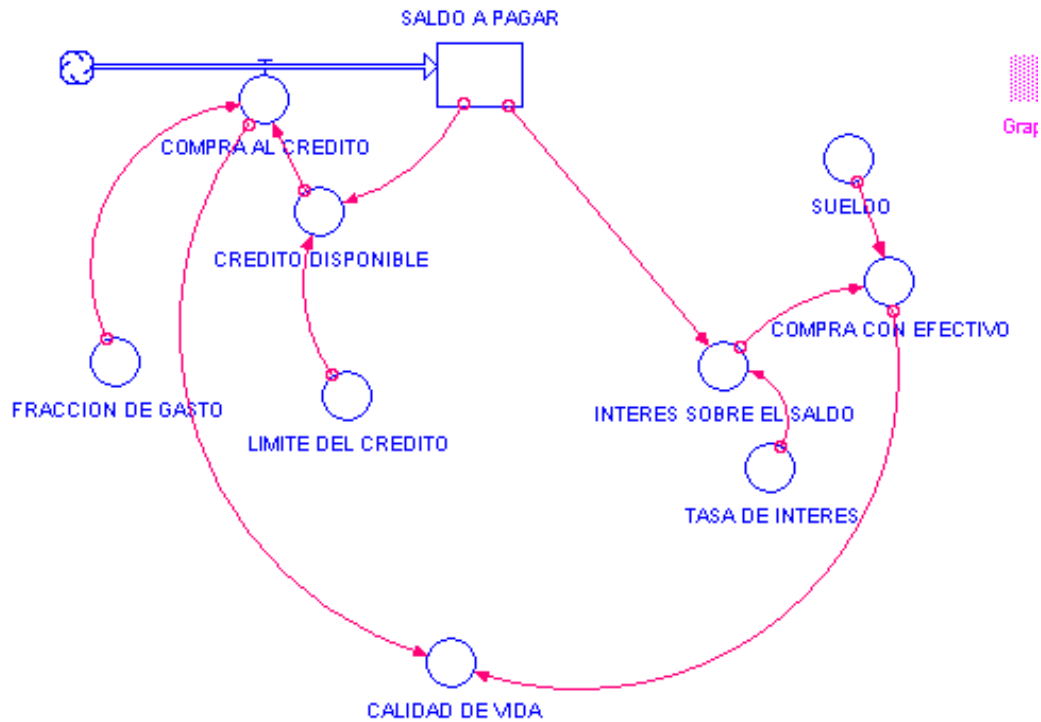
18% ANUAL o 1.5% MENSUAL

## EDITANDO EL MODELO

Después de construir el modelo completo del sistema, es importante editar este modelo. Editar el modelo nos permite hacerlo conciso eliminando partes insignificantes.

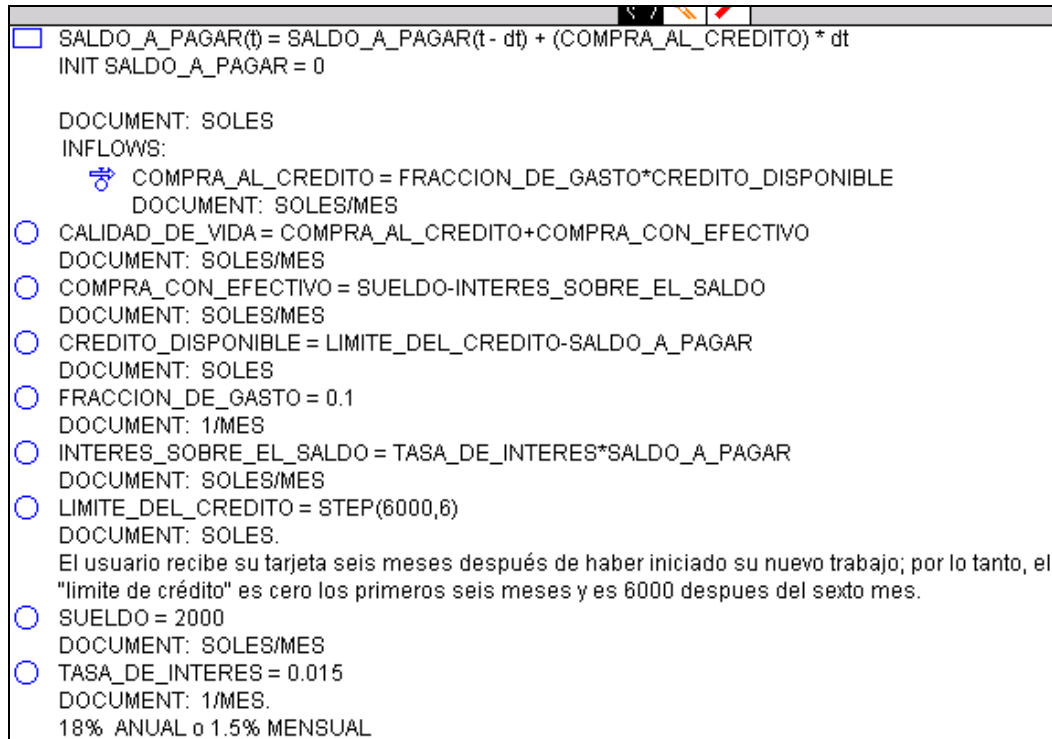
El flujo de entrada "**interes cargado**" y el flujo de salida "**pagos**" son iguales y cambian al "**saldo a pagar**" con montos iguales pero de dirección opuesta. El efecto combinado de estos es cero y pueden ser borrados para simplificar el modelo (sin afectar el comportamiento del modelo). Editar un modelo puede afectar las ecuaciones de sus variables.

El modelo se representa por:



El "interés cargado" puede ser estudiado directamente con la observación del comportamiento de "interés sobre el saldo" en el tiempo.

Las ecuaciones son:

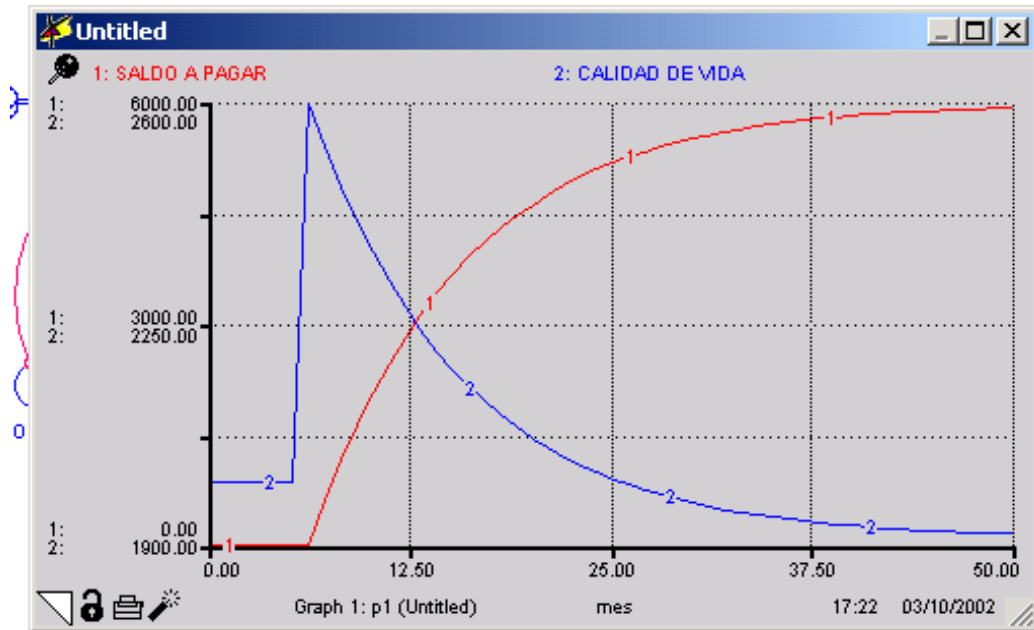




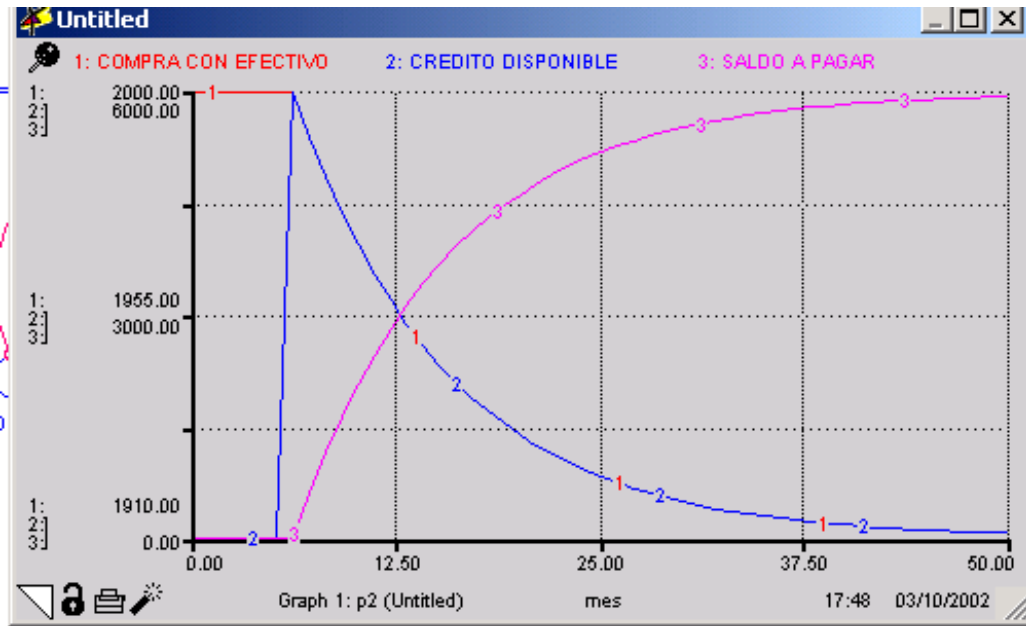
## EVALUANDO EL MODELO

Las variables claves en el modelo son el "saldo a pagar", "calidad de vida" y "pagos" de interés.

La gráfica que muestra el comportamiento del sistema es:



La gráfica muestra que el saldo a pagar (curva 1) los primeros 6 meses es cero y luego se incrementa hasta llegar al límite del crédito. La calidad de vida (curva 2) se incrementa desde los 6 meses debido a que se tiene "mas dinero" para gastar pero luego disminuye porque una parte del sueldo es utilizado en pagar el crédito.



Esta gráfica muestra como se tiene una mayor cantidad de dinero, durante los primeros 6 meses, para la compra con efectivo (curva 1) debido a que no hay crédito que pagar. Luego del sexto mes la compra con efectivo disminuye porque debemos utilizar este dinero para pagar nuestro crédito. El crédito disponible (curva 2), después del sexto mes desciende debido a que estamos incrementando nuestro saldo a pagar.

#### **4.2.10. *MODELO DE LA DESERCIÓN, REPITENCIA Y PROMOCION ESCOLAR***

Construir un modelo dinámico que represente el comportamiento del sistema escolar del país en lo que respecta a la deserción, repitencia y promoción.

##### **VARIABLES**

###### **Nido**

Representada la cantidad de niños que egresan de los centros de educación inicial.

###### **Grado**

Esta variable indica la cantidad (nivel) de alumnos en cada grado en un momento  $t$  (tiempo). Para cada grado se ha considerado una variable: grado 1, grado 2, grado 3, grado 4, grado 5 y grado 6

###### **Promoción**

Esta variable indica la cantidad de alumnos que son promovidos en cada intervalo de tiempo. Para cada grado se ha considerado una variable: promoción 1, promoción 2, promoción 3, promoción 4, promoción 5 y promoción 6.

###### **Deserción**

Para este modelo se ha considerado la deserción porque no todos los alumnos terminan sus estudios, sino que muchos de ellos abandonan por diferentes motivos. Para cada grado se ha considerado una variable: deserción 1, deserción 2, deserción 3, deserción 4, deserción 5 y deserción 6.

###### **Repitentes**

No todos los estudiantes que llegan al final del grado son promovidos sino que existen un número de estudiantes que repetirán de grado. Para cada grado se ha considerado una variable: repitentes 1, repitentes 2,

repitentes 3, repitentes 4, repitentes 5 y repitentes 6.

### **DATOS ESTADISTICOS**

Para la construcción del modelo se ha tomado datos estadísticos proporcionado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática.

**Tabla 4.1 Proyección de la población escolar en el nido.**

Año	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Población (en miles)	100	120	130	135	150	160
Tiempo	0	1	2	3	4	5

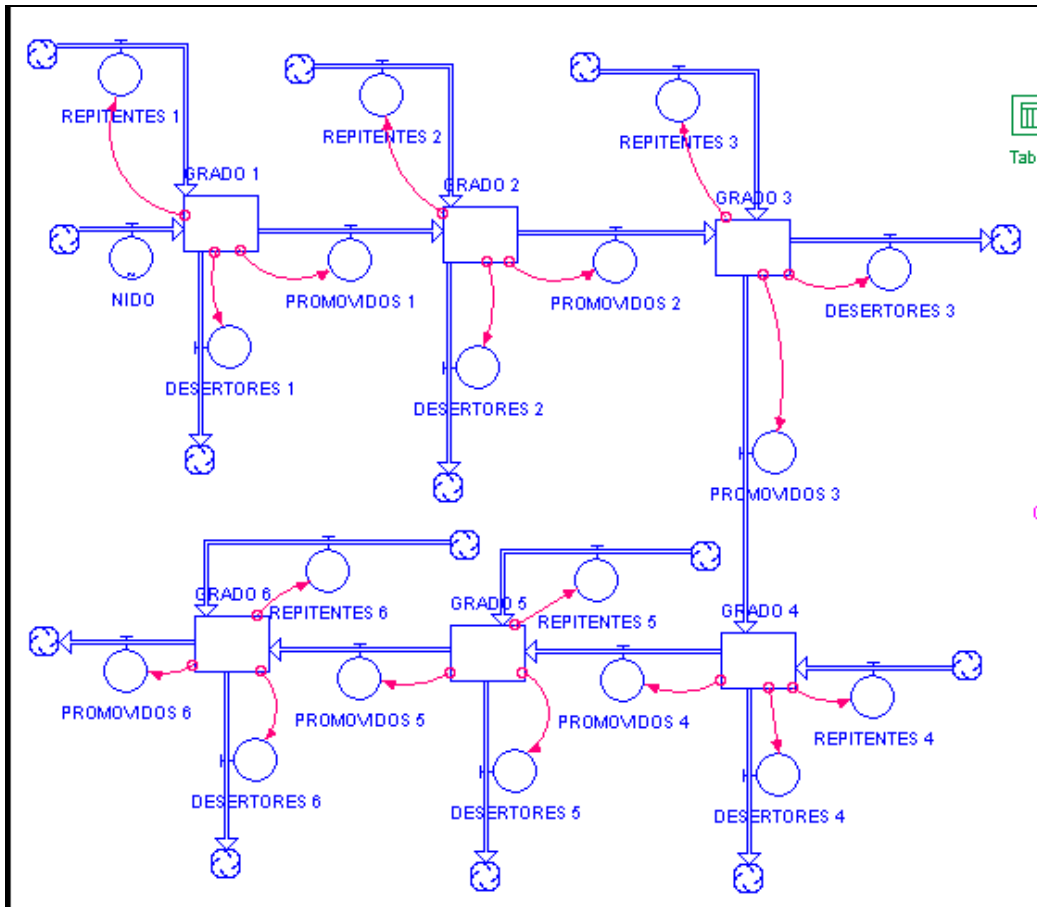
**Tabla 4.2 Índices de promoción, deserción y repitencia por grados.**

<b>GRADO</b>	<b>PROMOVIDOS</b>	<b>DESERCIÓN</b>	<b>REPITENCIA</b>
1	64.60%	12.60%	22.80%
2	81.60%	5.30%	13.10%
3	83.50%	6.00%	10.50%
4	85.60%	3.20%	11.20%
5	83.00%	8.00%	9.00%
6	85.20%	8.20%	6.60%

**Tabla 4.3. Población estudiantil por grados para el año 1992.**

Grado	1	2	3	4	5	6
Población (en miles)	120	100	90	80	70	60

## DIAGRAMA DE FORRESTER



### ECUACIONES EN STELLA II.3

$$\text{GRADO\_1}(t) = \text{GRADO\_1}(t - dt) + (\text{NIDO} + \text{REPITENTES\_1} - \text{PROMOVIDOS\_1} - \text{DESERTORES\_1}) * dt$$

$$\text{INIT GRADO\_1} = 120$$

INFLOWS:

$$\text{NIDO} = \text{GRAPH}(\text{TIME})$$

$$(1992, 100), (1993, 120), (1994, 130), (1995, 135), (1996, 150), (1997, 160)$$

$$\text{REPITENTES\_1} = 0.228 * \text{GRADO\_1}$$

OUTFLOWS:

$$\text{PROMOVIDOS\_1} = 0.646 * \text{GRADO\_1}$$

$$\text{DESERTORES\_1} = 0.126 * \text{GRADO\_1}$$

$$\text{GRADO\_2}(t) = \text{GRADO\_2}(t - dt) + (\text{PROMOVIDOS\_1} + \text{REPITENTES\_2} - \text{PROMOVIDOS\_2} - \text{DESERTORES\_2}) * dt$$

$$\text{INIT GRADO\_2} = 100$$

INFLOWS:

$$\text{PROMOVIDOS\_1} = 0.646 * \text{GRADO\_1}$$

$$\text{REPITENTES\_2} = 0.131 * \text{GRADO\_2}$$

OUTFLOWS:

$$\text{PROMOVIDOS\_2} = 0.816 * \text{GRADO\_2}$$

$$\text{DESERTORES\_2} = 0.053 * \text{GRADO\_2}$$

$$\text{GRADO\_3}(t) = \text{GRADO\_3}(t - dt) + (\text{PROMOVIDOS\_2} + \text{REPITENTES\_3} - \text{PROMOVIDOS\_3} - \text{DESERTORES\_3}) * dt$$

$$\text{INIT GRADO\_3} = 90$$

INFLOWS:

$$\text{PROMOVIDOS\_2} = 0.816 * \text{GRADO\_2}$$

$$\text{REPITENTES\_3} = 0.105 * \text{GRADO\_3}$$

OUTFLOWS:

$$\text{PROMOVIDOS\_3} = 0.835 * \text{GRADO\_3}$$

$$\text{DESERTORES\_3} = 0.06 * \text{GRADO\_3}$$

$$\text{GRADO\_4}(t) = \text{GRADO\_4}(t - dt) + (\text{PROMOVIDOS\_3} + \text{REPITENTES\_4} - \text{PROMOVIDOS\_4} - \text{DESERTORES\_4}) * dt$$

$$\text{INIT GRADO\_4} = 80$$

INFLOWS:

$$\text{PROMOVIDOS\_3} = 0.835 * \text{GRADO\_3}$$

$$\text{REPITENTES\_4} = 0.112 * \text{GRADO\_4}$$

OUTFLOWS:

$$\text{PROMOVIDOS\_4} = 0.856 * \text{GRADO\_4}$$

$$\text{DESERTORES\_4} = 0.032 * \text{GRADO\_4}$$

$$\text{GRADO\_5}(t) = \text{GRADO\_5}(t - dt) + (\text{PROMOVIDOS\_4} + \text{REPITENTES\_5} - \text{PROMOVIDOS\_5} - \text{DESERTORES\_5}) * dt$$

$$\text{INIT GRADO\_5} = 70$$

INFLOWS:

$$\text{PROMOVIDOS\_4} = 0.856 * \text{GRADO\_4}$$

$$\text{REPITENTES\_5} = 0.09 * \text{GRADO\_5}$$

OUTFLOWS:

$$\text{PROMOVIDOS\_5} = 0.83 * \text{GRADO\_5}$$

$$\text{DESERTORES\_5} = 0.08 * \text{GRADO\_5}$$

$$\text{GRADO\_6}(t) = \text{GRADO\_6}(t - dt) + (\text{PROMOVIDOS\_5} + \text{REPITENTES\_6} - \text{PROMOVIDOS\_6} - \text{DESERTORES\_6}) * dt$$

$$\text{INIT GRADO\_6} = 60$$

INFLOWS:

$$\text{PROMOVIDOS\_5} = 0.83 * \text{GRADO\_5}$$

$$\text{REPITENTES\_6} = 0.066 * \text{GRADO\_6}$$

OUTFLOWS:

$$\text{PROMOVIDOS\_6} = 0.852 * \text{GRADO\_6}$$

$$\text{DESERTORES\_6} = 0.082 * \text{GRADO\_6}$$





---

## CAPITULO CINCO

---

### RETRASOS

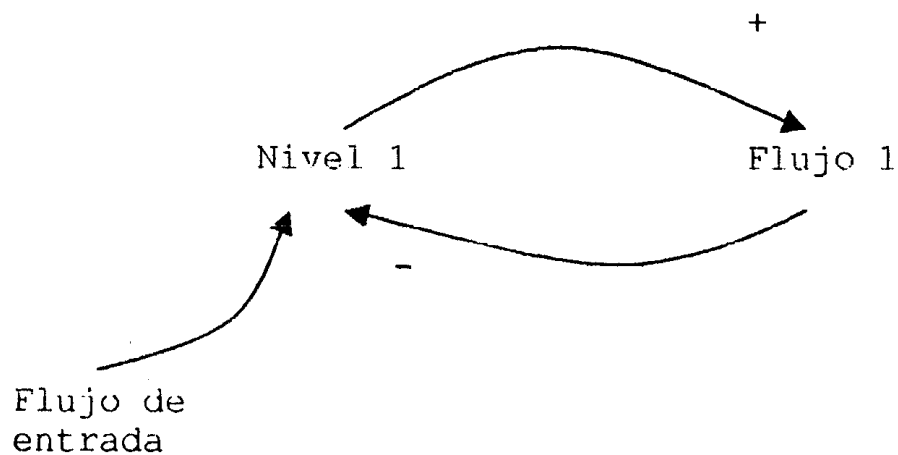
Los retrasos son inherentes en muchos procesos. Este toma tiempo, como por ejemplo para hacer un producto o dar un servicio. Cuando ordenamos un producto este llega después de un retraso, también cuando enviamos una carta este llega después de un retraso. Los retrasos ocurren también en sistemas sociales y económicos.

#### ***5.1. RETRASOS DE MATERIAL***

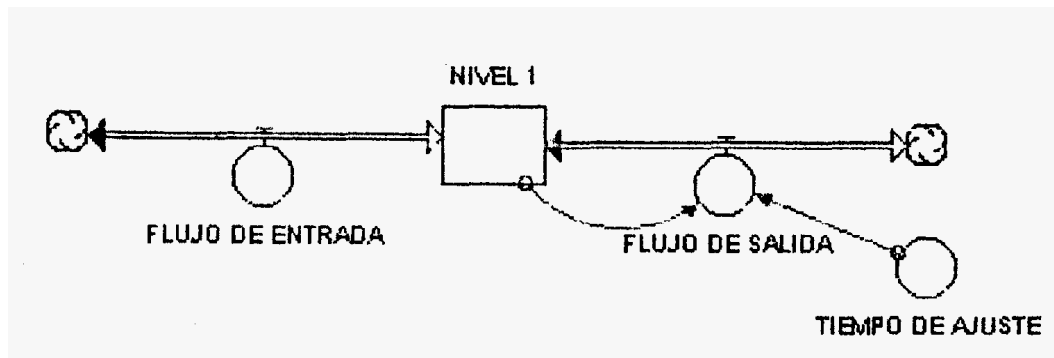
Los retrasos en la transmisión de materiales, o simplemente retrasos de materiales, se producen cuando existen elementos en el sistema que almacenan el material que fluye por el mismo. Un ejemplo sencillo constituye la distribución de cartas de correos, porque las cartas se acumulan en alguna parte, entre el instante en que son depositados en el buzón de correos y el momento que llegan a manos del destinatario.

Los retrasos implican la aparición de niveles adicionales en la construcción del sistema.

El diagrama causal que representa a un retraso de primer orden es:



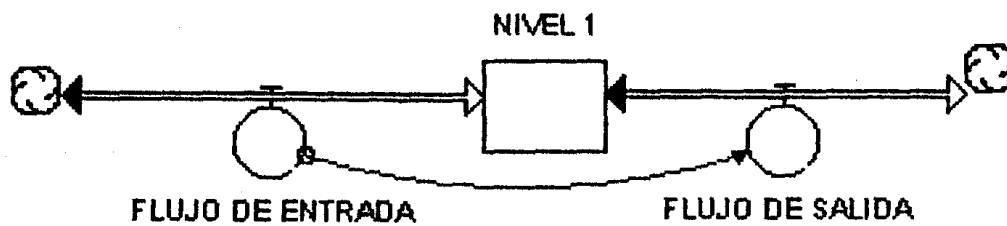
El modelo en STELLA es<sup>4</sup>:



En el modelo se observa que el flujo de entrada se acumula en un nivel y el flujo de salida es igual a la cantidad dentro del nivel dividido por un tiempo constante para ajustar el nivel (tiempo de ajuste).

El STELLA tiene una función disponible para reemplazar el modelo anterior, por uno más simple, tal como se muestra en la figura siguiente:

<sup>4</sup> El flujo de doble dirección, significa que el volumen del flujo puede tomar valores negativos; contrario al flujo unidireccional cuyo volumen toma valores no negativos solamente.



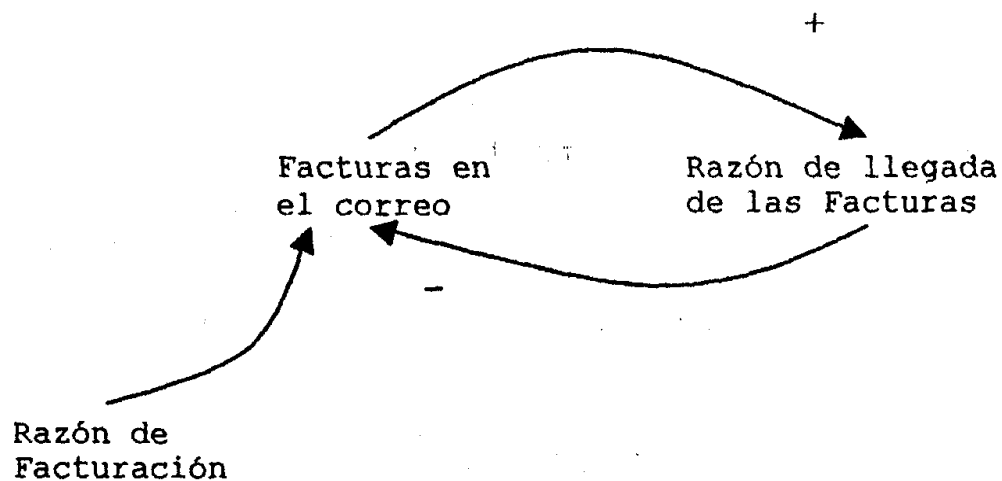
La función SMTH1, se utiliza tal como se muestra en la siguiente ecuación:

FLUJO SALIDA	DE	=	SMTH1 (FLUJO DE ENTRADA, TIEMPO DE AJUSTE)
-----------------	----	---	--------------------------------------------

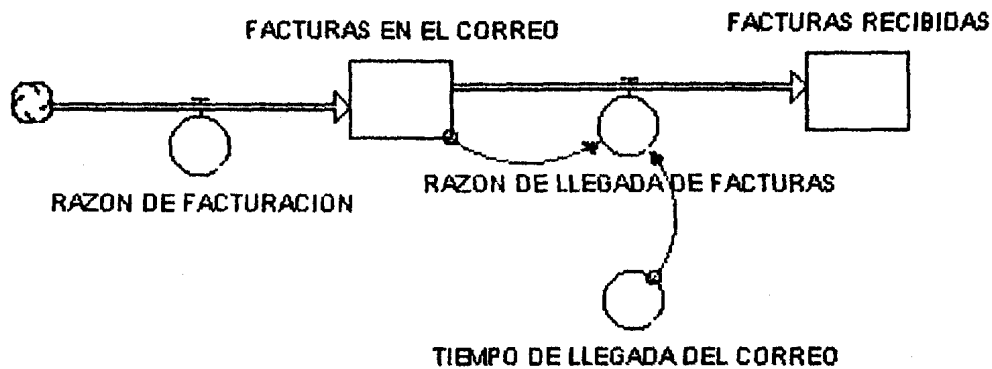
#### 5.1.1. EJEMPLO: RETARDO DEL CORREO

Una empresa envía facturas de la tarjeta de crédito de sus clientes, una vez cada mes, tomando cerca de tres días para llegar por el correo. La cantidad de facturas que envía es de 1000.

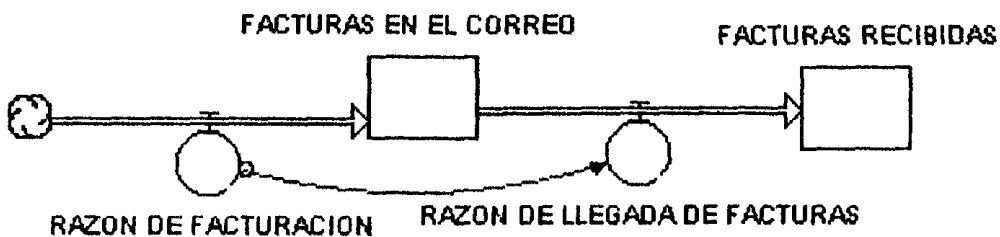
El diagrama causal para este caso es:



El modelo en el STELLA es:



Y el modelo simplificado es:



Para la razón de facturación utilizaremos la función PULSE(1000,1,0). El formato para esta función es:

PULSE(<VOLUME>[,<FIRST PULSE>,<INTERVAL>])
--------------------------------------------

VOLUME: tamaño especificado del pulso de entrada.

FIRST PULSE: momento en que el primer pulso se disparará.

INTERVAL: intervalo entre el pulso actual y el pulso siguiente.

NOTA: Los dos últimos parámetros son opcionales.

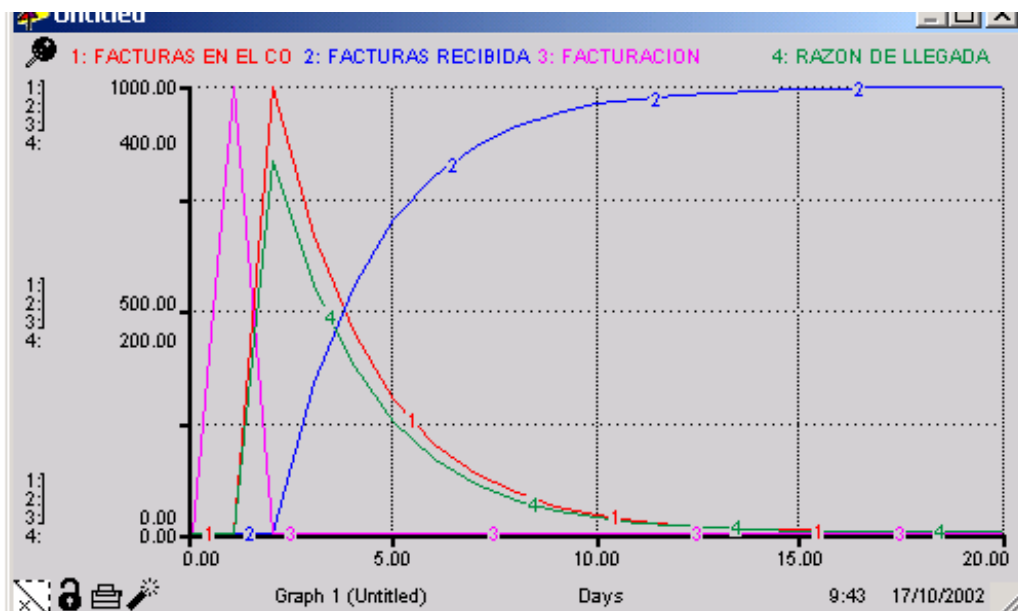
Las ecuaciones utilizadas para la simulación son:

```

FACTURAS_EN_EL_CORREO(t) = FACTURAS_EN_EL_CORREO(t- dt) + (FACTURACION -
RAZON_DE_LLEGADA_DE_FACTURAS) * dt
INIT FACTURAS_EN_EL_CORREO = 0
INFLOWS:
    FACTURACION = PULSE(1000,1,0)
OUTFLOWS:
    RAZON_DE_LLEGADA_DE_FACTURAS = SMTH1(FACTURACION,3)
FACTURAS_RECIBIDAS(t) = FACTURAS_RECIBIDAS(t- dt) +
(RAZON_DE_LLEGADA_DE_FACTURAS) * dt
INIT FACTURAS_RECIBIDAS = RAZON_DE_LLEGADA_DE_FACTURAS
INFLOWS:
    RAZON_DE_LLEGADA_DE_FACTURAS = SMTH1(FACTURACION,3)

```

La gráfica del modelo es:

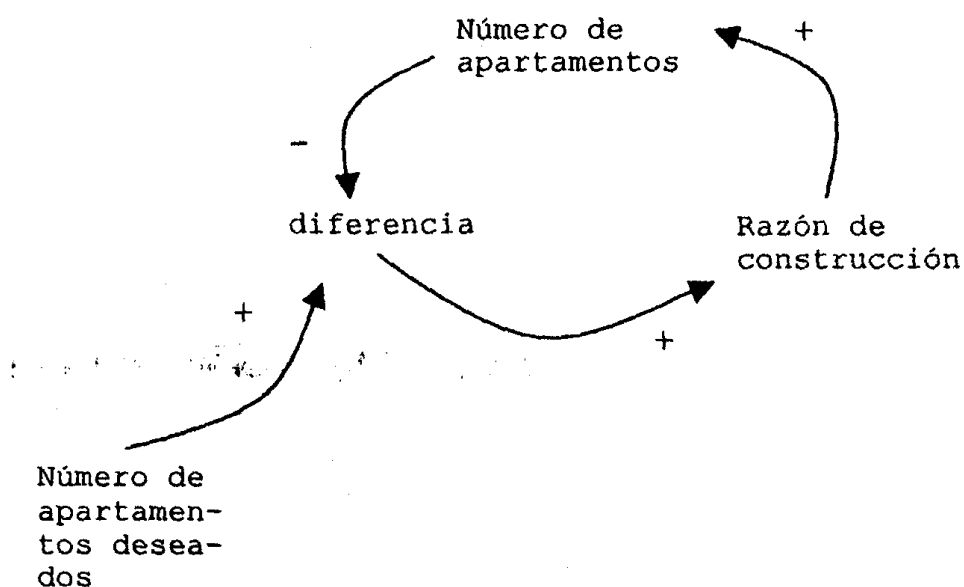


En la gráfica anterior, se observa como la razón de facturación, alcanza hasta un pico de 1000 unidades (curva 3) y luego no existen más pulsos en la razón de facturación. Las facturas en el correo (curva 1) decaen exponencialmente, semejante a la razón de llegada de las facturas (curva 4).

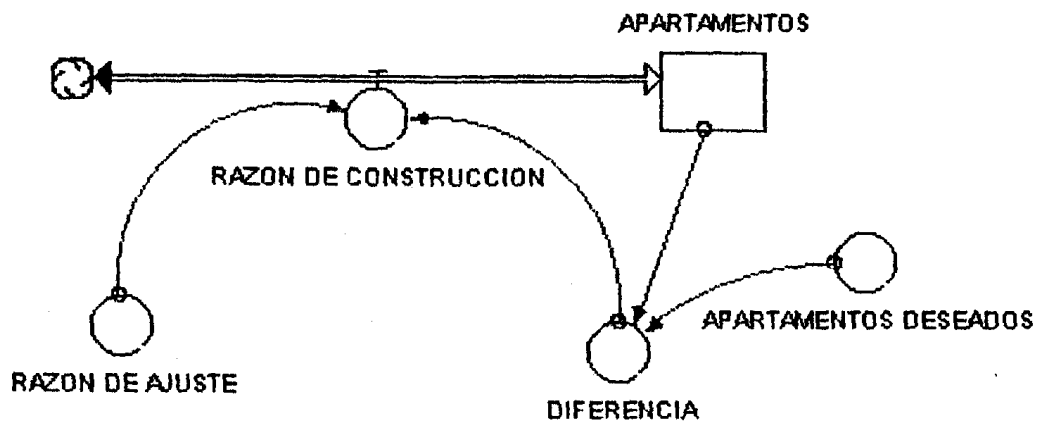
### 5.1.2. EJEMPLO: CONSTRUCCIÓN DE APARTAMENTOS

El modelo para la construcción de Apartamentos, asume que el número deseado de apartamentos es desde 10000 a 15000. Cada año se inicia la construcción de apartamentos y este tiene un tiempo de culminación de 4 años.

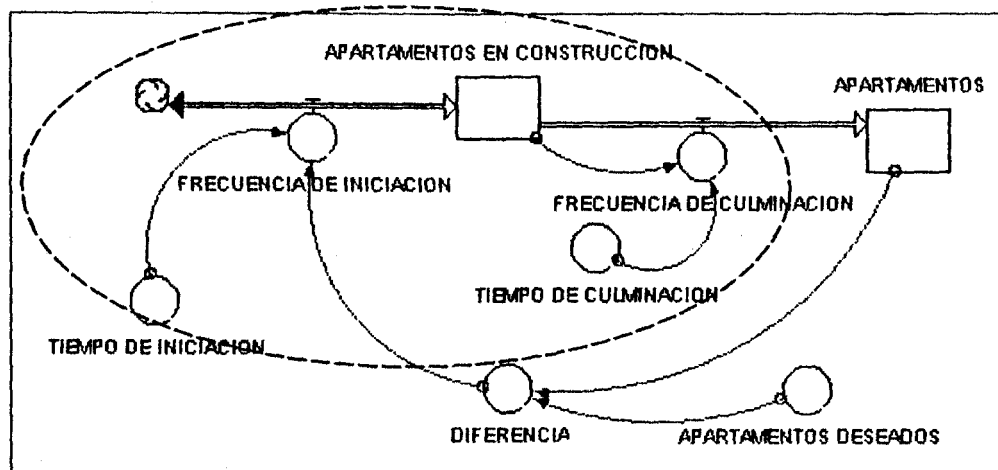
El diagrama causal inicial para este modelo es:



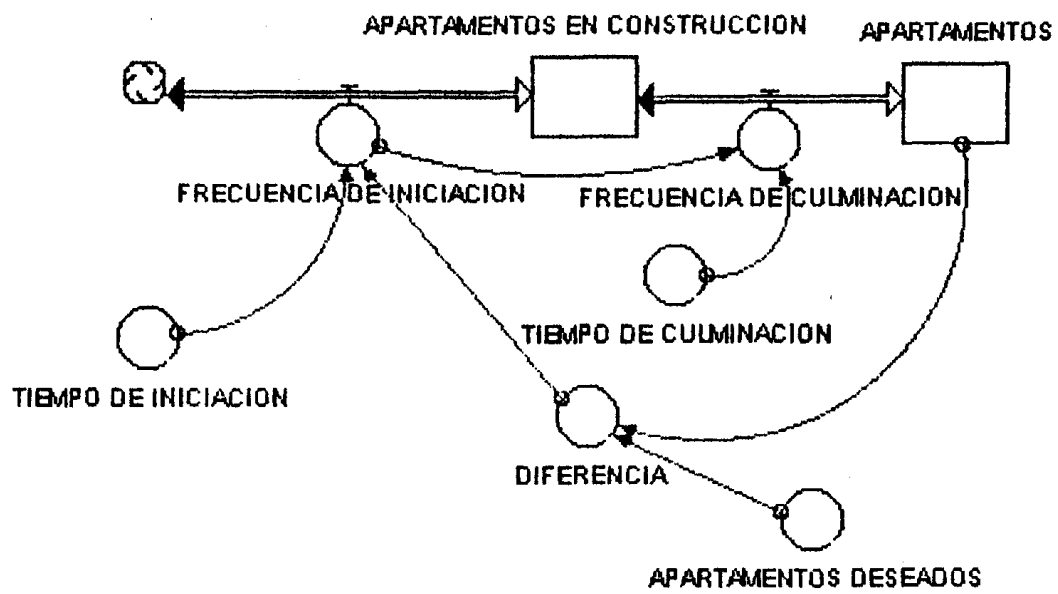
El modelo utilizando el STELLA se muestra en la siguiente figura. Este modelo tiene la desventaja que no considera el retraso que existe, desde el inicio de la construcción del apartamento, hasta que el apartamento está concluido; es decir, el tiempo de construcción del apartamento.



Para mejorar el modelo anterior, añadimos el retraso que produce el tiempo de construcción del apartamento.






En la figura anterior las líneas punteadas encierran al retraso de material de primer orden, el cual se simplifica utilizando la función SMTH1, tal como se muestra en la figura.

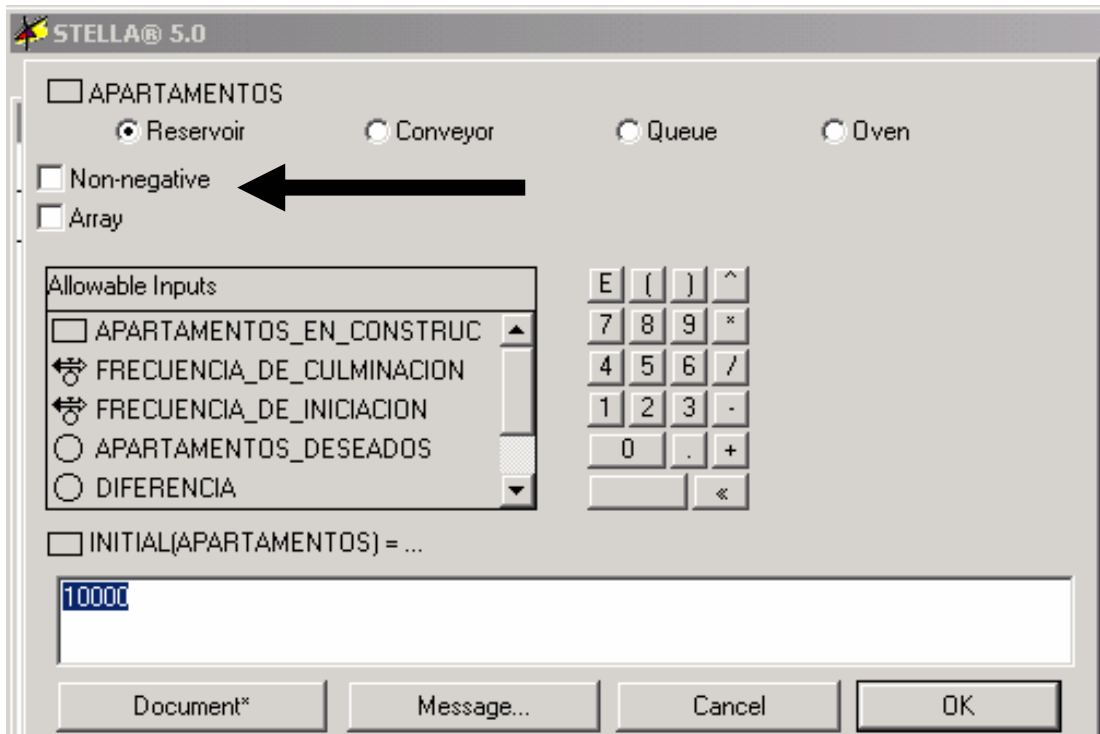


Las ecuaciones utilizadas para este modelo son:



<input type="checkbox"/>	$\text{APARTAMENTOS}(t) = \text{APARTAMENTOS}(t - dt) + (\text{FRECUENCIA\_DE\_CULMINACION}) * dt$ <p>INIT APARTAMENTOS = 10000</p> <p>DOCUMENT: Total de apartamentos culminados Unidades: Apartamentos</p> <p>INFLOWS:</p> <p> FRECUENCIA_DE_CULMINACION = SMTH1(FRECUENCIA_DE_INICIACION, TIEMPO_DE_CULMINACION) DOCUMENT: Unidades: apartamentos/año</p>
<input type="checkbox"/>	$\text{APARTAMENTOS\_EN\_CONSTRUCCION}(t) = \text{APARTAMENTOS\_EN\_CONSTRUCCION}(t - dt) + (\text{FRECUENCIA\_DE\_INICIACION} - \text{FRECUENCIA\_DE\_CULMINACION}) * dt$ <p>INIT APARTAMENTOS_EN_CONSTRUCCION = 0</p> <p>DOCUMENT: Unidades: Apartamentos</p> <p>INFLOWS:</p> <p> FRECUENCIA_DE_INICIACION = DIFERENCIA/TIEMPO_DE_INICIACION DOCUMENT: Unidades: Apartamentos/año</p> <p>OUTFLOWS:</p> <p> FRECUENCIA_DE_CULMINACION = SMTH1(FRECUENCIA_DE_INICIACION, TIEMPO_DE_CULMINACION) DOCUMENT: Unidades: apartamentos/año</p>
<input type="radio"/>	$\text{APARTAMENTOS\_DESEADOS} = 10000 + \text{STEP}(5000, 1)$ <p>DOCUMENT: Unidades: Apartamentos</p>
<input type="radio"/>	$\text{DIFERENCIA} = \text{APARTAMENTOS\_DESEADOS} - \text{APARTAMENTOS}$ <p>DOCUMENT: Unidades: Apartamentos</p>
<input type="radio"/>	$\text{TIEMPO\_DE\_CULMINACION} = 4$ <p>DOCUMENT: Unidades: años</p>
<input type="radio"/>	$\text{TIEMPO\_DE\_INICIACION} = 1$ <p>DOCUMENT: Tiempo de inicio para cada construcción Unidades: años</p>

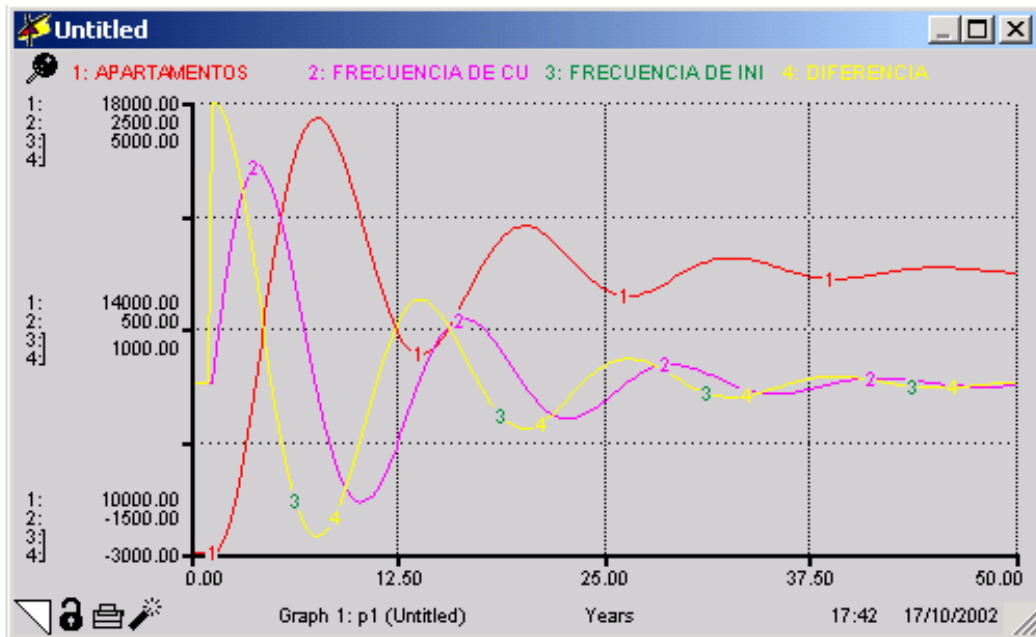
En las ecuaciones definimos APARTAMENTOS con el valor inicial de 10000. La función STEP es utilizada para incrementar los apartamentos deseados de 10000 a 15000, que ocurrirá en un año. En la definición del stock APARTAMENTOS, debe permitirse que tenga valores negativos, como se indica en la figura:



El hecho que la construcción de APARTAMENTOS sea negativo parece sin sentido. Sin embargo, esto corresponde a la destrucción de las construcciones o a la cancelación de contratos para construir, incluso después que la construcción ha sido iniciada.

El gráfico de la simulación siguiente muestra como el sistema genera un comportamiento oscilatorio, debido al ciclo de realimentación negativo. El nivel APARTAMENTOS oscila alrededor de los 15000 apartamentos y eventualmente converge hacia este valor.

El incremento en el número de apartamentos de 10000 a 15000 retrasa la demanda bastante, de manera que el constructor tiende a tener una razón de construcción máxima cuando la demanda esta descendiendo rápidamente.

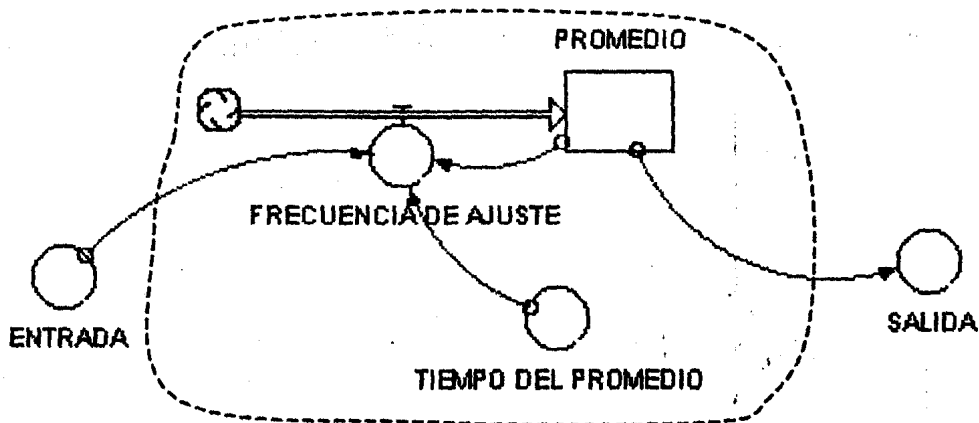


## 5.2. RETRASOS DE INFORMACIÓN

Los retrasos de información suceden cuando acumulamos información del sistema, antes de poder tomar una decisión. A menudo individuos y organizaciones toman decisiones basándose en la información de un periodo anterior, que ha sido promediado; por lo que determinar este promedio, implícitamente involucran retrasos.

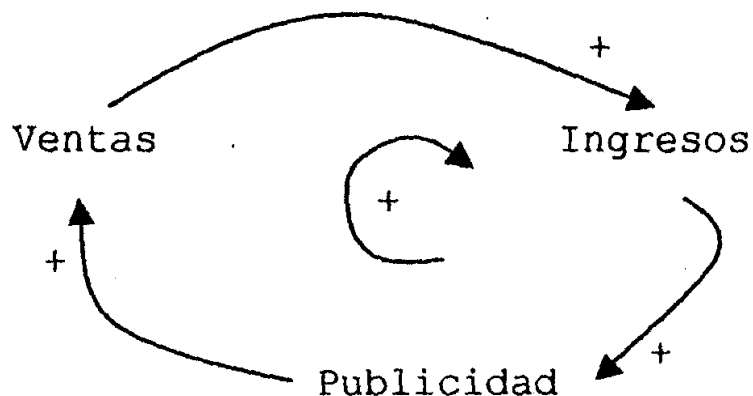
Por ejemplo si deseamos pedir un producto a nuestro proveedor, primero revisaremos cual es el promedio de salida de este producto en los últimos cinco días. El hecho de esperar estos cinco días para aprovechar la información de las ventas involucra un retraso de información.

El modelo general para un retraso en la transmisión de información de primer orden, se muestra en dentro del área punteada de la figura que esta a continuación, donde la ENTRADA es el nivel, flujo o convertidor a ser promediado.



### 5.2.1. **EJEMPLO: PUBLICIDAD, VENTAS E INGRESOS EN BEBIDAS GASEOSAS**

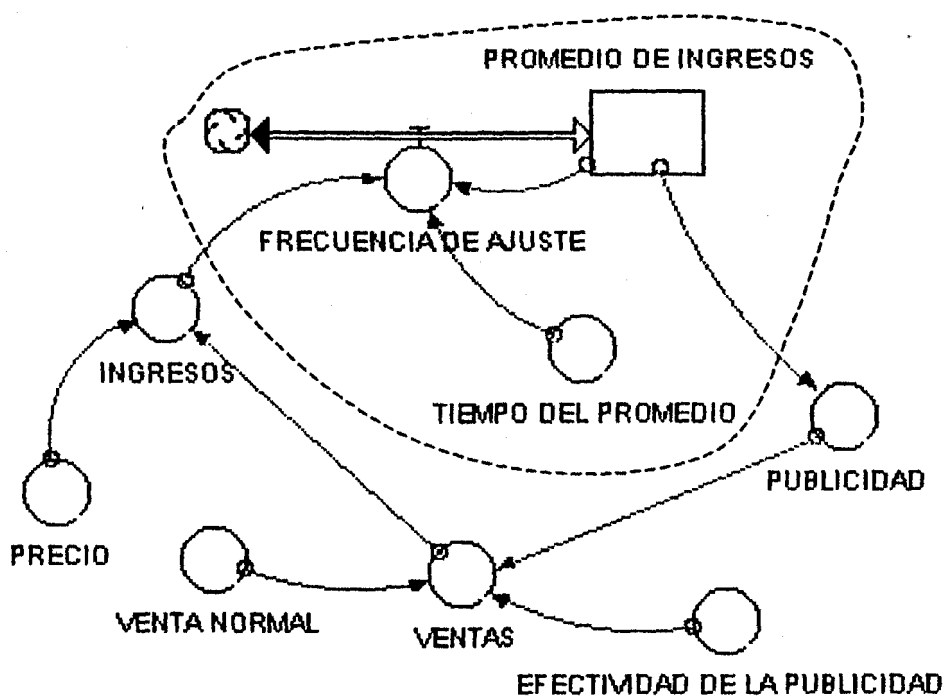
En la venta de bebidas gaseosas las empresas utilizan publicidad, para mejorar sus ingresos a través de sus ventas. El siguiente diagrama muestra el diagrama causal para este caso.



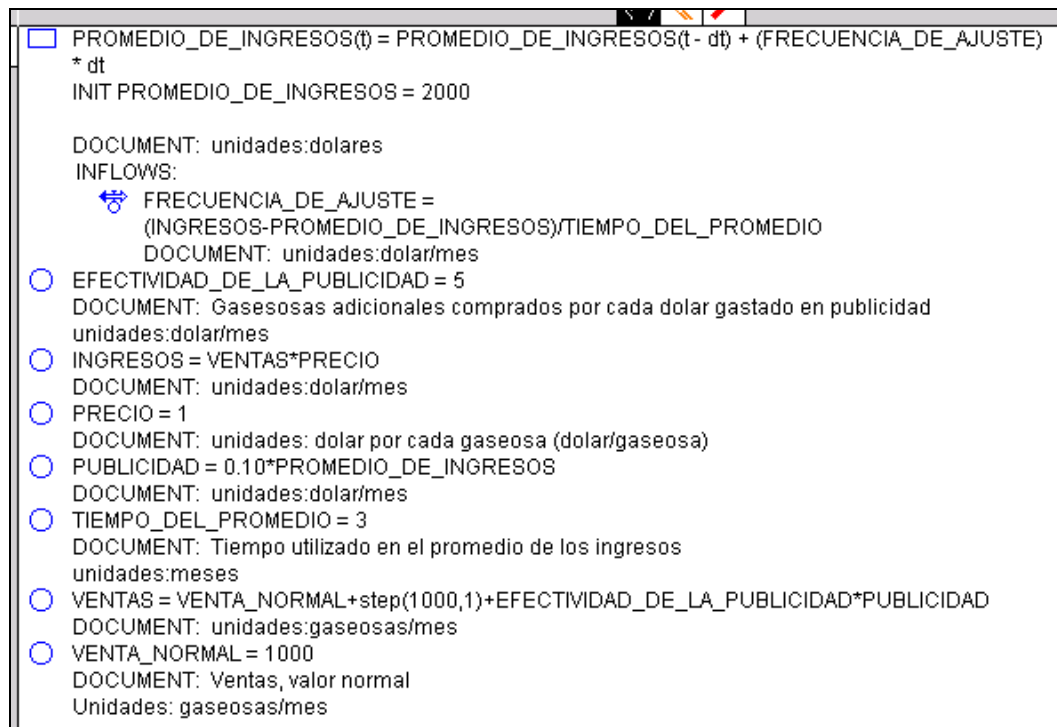
Este diagrama tiene dos retrasos, el retraso de información que se produce entre publicidad y ventas, porque las ventas no se incrementan inmediatamente luego de haber incrementado la publicidad. Además para invertir en publicidad, supongamos que necesitamos conocer el promedio de las ventas de tres meses, el cual determina el monto a gastar en publicidad, existiendo otro retraso de información.

Para invertir en publicidad se gastará el 10% de los ingresos. Además se incrementará las ventas en 1000 gaseosas/mes para el siguiente mes.

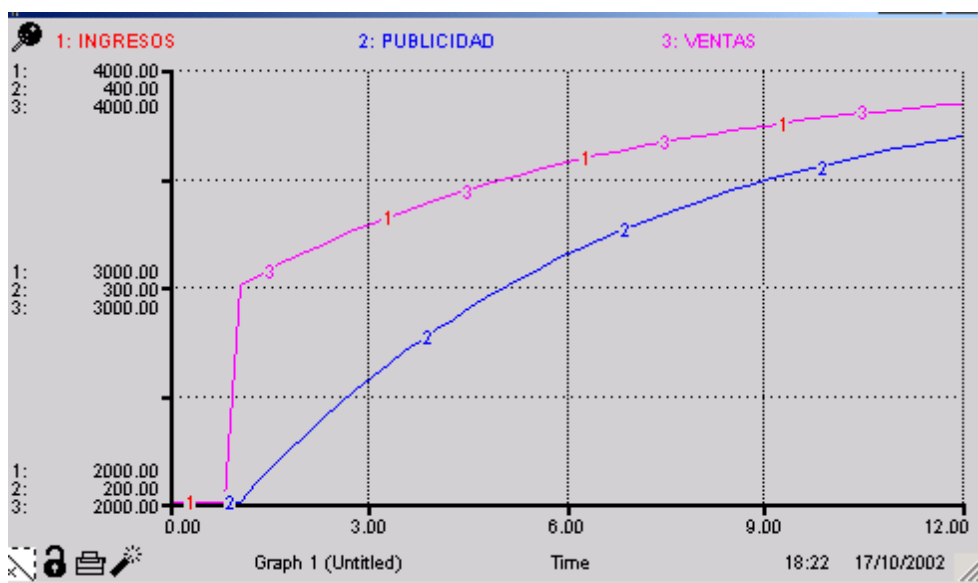
El modelo en STELLA con el segundo retraso incluido (área encerrada con líneas punteadas) se da continuación:



Las ecuaciones del modelo son:



La gráfica siguiente muestra el comportamiento del sistema.

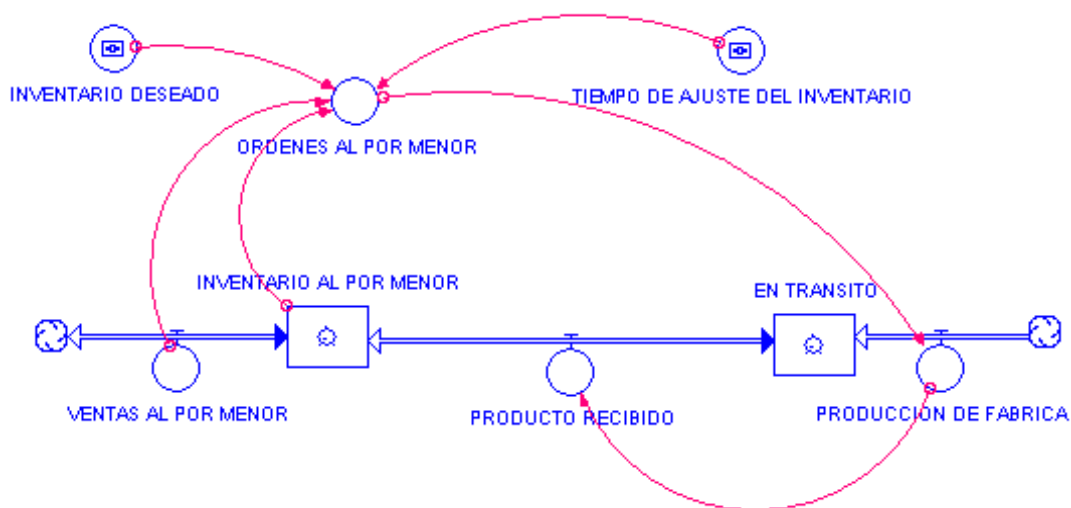


La gráfica muestra como los INGRESOS, VENTAS Y PUBLICIDAD permanecen constantes durante el primer mes, luego al incrementar las VENTAS, los INGRESOS aumentan en la misma proporción, pero aunque la PUBLICIDAD es una fracción de los INGRESOS no se incrementa en la misma proporción debido al retraso de información.

### 5.3. EJEMPLO DE RETRASO DE MATERIAL: PROCESO DE PRODUCCION Y DISTRIBUCION

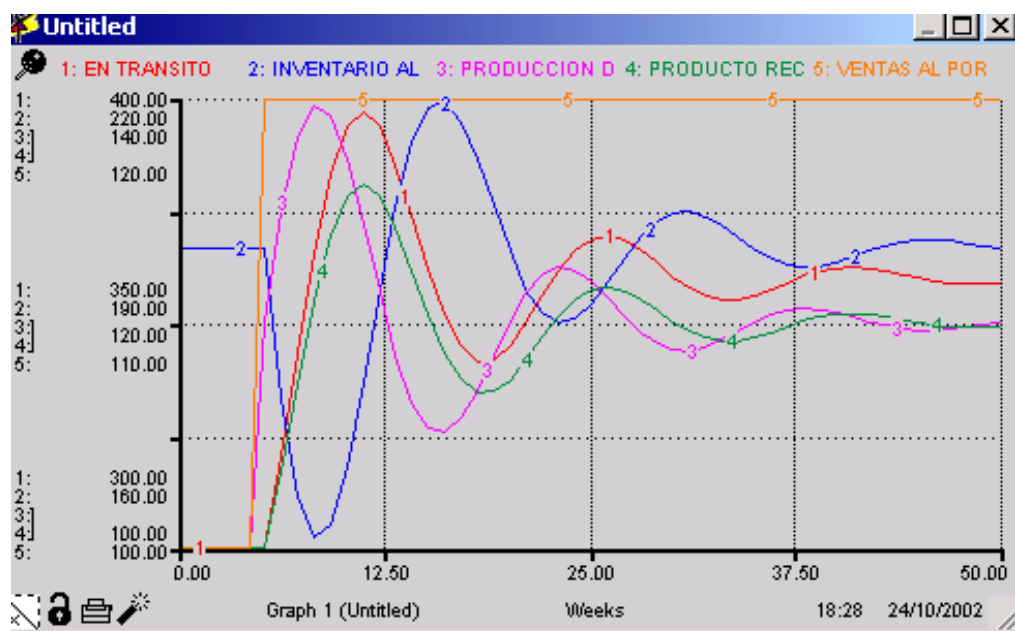
Este caso las ordenes por menor para la fabrica dependen de las ventas al por menor y el inventario al por menor. El proceso de producción de fabrica es mostrado como una producción inmediata para cumplir las ordenes al por menor, pero hay una demora en la recepción del producto, por el retardo en el transporte.

El diagrama en Stella, ecuaciones y gráfico del comportamiento se muestra a continuación.



```

[ ] EN_TRANSITO(t) = EN_TRANSITO(t - dt) + (PRODUCCION_DE_FABRICA -
    PRODUCTO_RECIBIDO) * dt
INIT EN_TRANSITO = 300
INFLOWS:
    [ ] PRODUCCION_DE_FABRICA = ORDENES_AL_POR_MENOR
OUTFLOWS:
    [ ] PRODUCTO_RECIBIDO = SMTH1(PRODUCCION_DE_FABRICA,3)
[ ] INVENTARIO_AL_POR_MENOR(t) = INVENTARIO_AL_POR_MENOR(t - dt) +
    (PRODUCTO_RECIBIDO - VENTAS_AL_POR_MENOR) * dt
INIT INVENTARIO_AL_POR_MENOR = 200
INFLOWS:
    [ ] PRODUCTO_RECIBIDO = SMTH1(PRODUCCION_DE_FABRICA,3)
OUTFLOWS:
    [ ] VENTAS_AL_POR_MENOR = 100+STEP(20,5)
[ ] INVENTARIO_DESEADO = 200
[ ] ORDENES_AL_POR_MENOR =
    VENTAS_AL_POR_MENOR+(INVENTARIO_DESEADO-INVENTARIO_AL_POR_MENOR)/TIEMPO_D
    E_AJUSTE_DEL_INVENTARIO
[ ] TIEMPO_DE_AJUSTE_DEL_INVENTARIO = 2
  
```





---

***PARTE III***  
***VALIDACIÓN Y***  
***ANÁLISIS DE POLITICAS***  
***DE***  
***SISTEMAS DINÁMICOS***

---



---

## CAPITULO SEIS

---

### VALIDACIÓN

La validez (o significación) de un modelo depende de lo bien que sirve a su propósito. Un modelo es bueno cuando logra cuanto se espera de él. Esto quiere decir que la validez, como concepto abstracto separado del objetivo no tiene significación útil.

Se pueden utilizar los siguientes criterios para evaluar la utilidad de un modelo:

- Costo, horas-hombre o tiempo de computador, necesarios para construir y hacer operativo el modelo.
- Posibilidad de obtener soluciones analíticas generales de manera que los elementos del sistema puedan ser evaluados para cualquier instante de tiempo y que las condiciones de contorno puedan establecerse para distintos modos de comportamiento.
- Posibilidad de incluir no linealidades, retrasos, y un número arbitrariamente de variables.
- Posibilidad de realizar un análisis crítico del modelo por expertos en el sistema real, independientemente de su cualificación profesional.

- Posibilidad de extraer las implicaciones lógicas del modelo sin error.
- Posibilidad de que el modelo se emplee para determinar el comportamiento del sistema en el tiempo.
- Posibilidad de que se apliquen al modelo técnicas de regresión.
- Posibilidad de que en el modelo se integre información de cualquier nivel, desde la intuición a las medidas precisas.
- Posibilidad de que el modelo reproduzca el comportamiento que se trata de comprender o alterar.
- Posibilidad de que el modelo incluya los medios concretos de actuación sobre el sistema.
- Rapidez con que se pueden incorporar al modelo modificaciones.
- Isomorfismo del modelo con las representaciones mentales de las relaciones causales.
- Posibilidad del modelo de predecir series temporales de datos pertenecientes al pasado cuando se inicializa en un instante conveniente.
- Similitud entre las características espectrales de los elementos del modelo y las observadas en el mundo real.
- Posibilidad de realizar análisis de sensibilidad de forma mecánica así como de aplicar técnicas de optimización en el espacio de los parámetros.
- Inclusión de suficiente información sobre parámetros del mundo real de manera que los que van a emplear el modelo para la toma de decisiones puedan estudiar sobre el mismo sus opciones alternativas.

### ANÁLISIS DE POLITICAS DEL SISTEMA

Al examinar un sistema, se usa el conocimiento sobre la manera en que la estructura y las políticas determinan el comportamiento. Se entrevista a la gente con relación al modo en que toman sus decisiones. Las declaraciones que describen los motivos por los cuales se toman las decisiones constituyen las políticas que gobiernan una determinada acción. Un modelo de dinámica de sistemas es una estructura de políticas en interacción. Ellas determinan las decisiones cotidianas. Cuando se usa el término política, éste representa todas las causas de una acción y no solamente una norma formal escrita.

Las citadas entrevistas son extensas y exhaustivas. Se pueden realizar diversas sesiones con cada uno de los muchos individuos entrevistados. Las discusiones varían ampliamente, tratándose en ellas desde operaciones normales hasta acciones que serían la consecuencia de diversos tipos de crisis. Se examina los intereses individuales y la localización de centros de poder influyentes. Las entrevistas versan sobre lo que una persona hace para ayudar a resolver los graves problemas que afectan a la firma.

La conversación con un directivo puede develar la existencia de reglas claras que controlan las decisiones. Cuando hablamos con un segundo directivo sobre el primero, emerge el mismo panorama en cuanto a las políticas. Básicamente, los unos ven su comportamiento en lo referente a la toma de decisiones de la misma forma que lo hacen los demás. Existe una cierta coherencia al describir las políticas de actuación de una organización. Además, éstas se justifican como una ayuda a la hora de corregir las dificultades que sufre la compañía.

Después de describir políticas importantes, flujos de información e interconexiones dentro de una compañía, el paso siguiente consiste en trasladar dicha descripción a un modelo de ordenador. Un modelo tal permite a un ordenador representar el papel de cada punto de decisión en el sistema. El ordenador pasa la decisión de cada uno de los puntos a los otros puntos de decisión conectados para conformar así la base para la segunda ronda de decisiones. En otras palabras, en el ordenador existe una réplica de laboratorio de la compañía. Uno puede entonces observar la interacción del comportamiento de las políticas descritas en las entrevistas. No hay

que olvidar que los sujetos entrevistados justificaron su conducta en la toma de decisiones en términos de ayudar a reducir los problemas corporativos.

Para sorpresa de quienes no conocen la engañosa naturaleza de los sistemas dinámicos complejos, un modelo de ordenador genera normalmente las mismas dificultades que una compañía han estado experimentando. En pocas palabras, las políticas establecidas para resolver un problema son en realidad la causa del mismo. Tal situación puede crear una grave espiral descendente. Si se piensa que las políticas que se están siguiendo alivian un problema aunque, de un modo oculto, están causando el problema, entonces, a medida que éste se agudiza, aumentan las presiones para aplicar, aún con más fuerza, las mismas políticas que lo están causando.

En los primeros desarrollos de la dinámica de sistemas se descubre algunos hechos sorprendentes sobre las corporaciones que se aplican a todos los sistemas sociales:

- Primeramente, la mayor parte de los problemas se originan en causas internas, aunque generalmente se culpa a causas externas.
- En segundo lugar, las acciones que se emprenden, normalmente en la creencia de que son una solución para los problemas, son a menudo la causa de los problemas que se están experimentando.
- En tercer lugar, la propia naturaleza de la estructura dinámica realimentada de un sistema social tiende a conducir, erróneamente, a acciones que son ineficaces e incluso contraproducentes.
- Y en cuarto lugar, los individuos disponen de suficiente información sobre un sistema como para permitir, con éxito, su modelado.

### **7.1. *POLÍTICAS VERSUS DECISIONES***

Se ha referido a las políticas como a las normas que gobiernan las decisiones.

Las decisiones se adoptan momento a momento a medida que progresa el tiempo. Las decisiones controlan la acción presente. No se puede actuar ayer ni mañana.

Por contraste, las políticas son las reglas que determinan la toma de decisiones. Si se conoce la política que gobierna un punto en el sistema, se sabe qué decisión se producirá a partir de cualquier combinación de entrada de información. A diferencia de las decisiones, las políticas son duraderas, independientes del tiempo. Si una de ellas es lo suficientemente inclusiva, puede continuar aplicándose a lo largo de un periodo de tiempo prolongado. Dependiendo de los objetivos de un modelo, las políticas pueden permanecer inmutables y seguir siendo efectivas durante años, décadas, e incluso siglos.

La investigación actual acerca del comportamiento económico nacional utiliza un modelo que ilustra el empleo de políticas que se aplican durante un largo intervalo de tiempo. El modelo no incluye una serie temporal exógena para dirigir el comportamiento. Todos los comportamientos se originan en interacciones internas incluidas en el modelo. Este muestra los diversos tipos esenciales de comportamiento económico que se han producido en las economías reales quedando las políticas fijadas durante 200 años, desde el año 1.800 al 2.000. Incluso así, las políticas fijadas generan decisiones que crean comportamientos que van desde los ciclos económicos a la onda económica larga, conocida también como el ciclo de Kondratieff, pasando por la estanflación, la inflación y la deflación.

La dinámica de sistemas es muy útil a la hora de entender cómo las políticas afectan al comportamiento. El énfasis se deberla poner en el diseño de políticas capaces de producir sistemas con un comportamiento más favorable. Se construye un modelo de simulación partiendo de políticas que, a su vez, generan decisiones. El modelo produce corrientes de decisiones controladas por políticas incorporadas a él. Las políticas generan todas las decisiones, paso a paso, a medida que se va desarrollando la simulación. Consiguientemente, si el comportamiento resultante es indeseable, se busca un mejor conjunto de políticas que produzcan una mejora en los resultados.





## ***BIBLIOGRAFÍA***

- a. Nancy Roberts; "Introduction to Computer Simulation: The System Dynamics Approach"; Primera Edición, Edit. Addison-Wesley Publishing Company: Massachusetts, 1983.
- b. Peter M. Senge; "La Quinta Disciplina"; Edición Original, Editorial Juan Granica S.A., Barcelona, España, .1993.
- c. Peter M. Senge; "La Quinta Disciplina en la Práctica"; Edición Original, Editorial Juan Granica S.A., Barcelona, España, 1995.
- d. Javier Aracil; "Introducción a la Dinámica de Sistemas"; Segunda Edición, Editorial Alianza, Sevilla, España, 1977.