

# ***DINAMICA DE SISTEMAS***

## ***INTRODUCCION A LA DINAMICA DE SISTEMAS***

***Mag. Ing. Rolando M. Chávez Guillén***

"La Dinámica de Sistemas estudia las cosas y su cambio con el tiempo, cosas que incluyen, lo que mayoría de personas encuentra que es importante. Se utiliza la simulación por Computadora, tomando los conocimientos que ya tenemos acerca de los detalles que hay en el mundo que nos rodea y muestra por qué nuestros sistemas sociales y físicos se comportan de la manera que lo hacen

Muestra , cómo la mayoría de nuestras propias decisiones políticas son la causa de los problemas que solemos culpar a los demás, y cómo identificar las políticas que debemos seguir para mejorar nuestra situación".

**Jay W. Forrester**

- La Dinámica de sistemas es un campo profesional definido como " la aplicación de principios de sistemas de control y realimentación (feedback) para el modelado de sistemas sociales ". En otras palabras es el estudio de cómo las diferentes partes componentes de una empresa u organización interactúan para obtener sus objetivos.

- La Dinámica de Sistemas es excelente para modelar situaciones que cambian en función del tiempo ( tal como el proceso de producción o envíos en una fábrica) o bien donde se pueden visualizar que los efectos vuelven a afectar la causa (realimentación o feedback). En otras palabras donde la salida del sistema vuelve a ser entrada del mismo.

# INTRODUCCION

---

- *La Dinámica de Sistemas es una metodología que hace posible la construcción de modelos de simulación de sistemas complejos, como los que se estudian en las ciencias sociales, la economía o la ecología.*

*Ejemplo:*

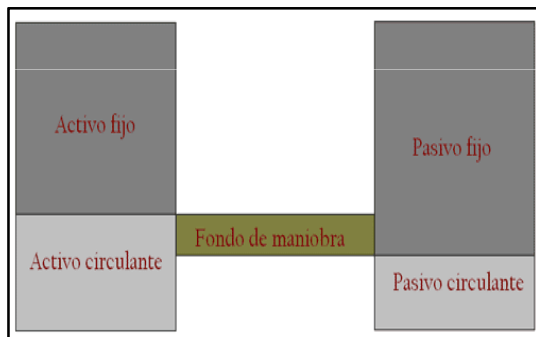
*Podemos diseñar un laboratorio de aprendizaje bancario, para gestores de entidades bancarias a fin de mejorar su formación en **toma de decisiones**, usando un modelo de simulación de Dinámica de Sistemas.*

*Para ello es necesario que los expertos de la entidad bancaria faciliten cierta información, la cual podemos agrupar en cuatro conceptos:*

# Ejemplo

- **Variables de estado.**

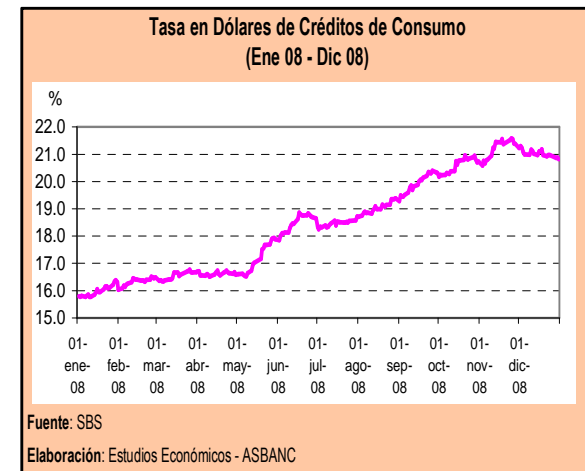
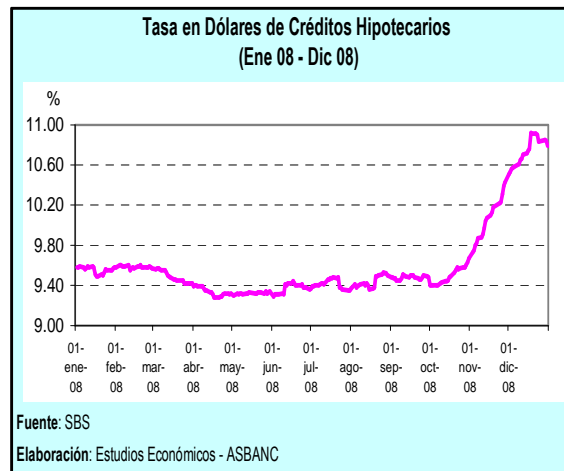
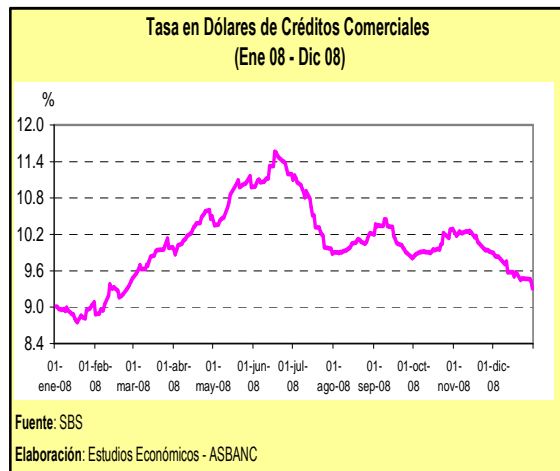
*Magnitudes incluidas en el resumen del balance del banco, con el nivel de detalle que la entidad financiera desee trabajar, tipos de intereses bancarios, gastos de operación, número de clientes y número de empleados.*



# Ejemplo

- **Variables de gestión.**

*Variables de estado seleccionadas por la entidad bancaria para que sean manejadas por el usuario del laboratorio. Así, de las “variables de estado” del sistema, se pueden escoger 5, 10 o 15 variables de gestión, como por ejemplo el tipo de interés de los préstamos hipotecarios*

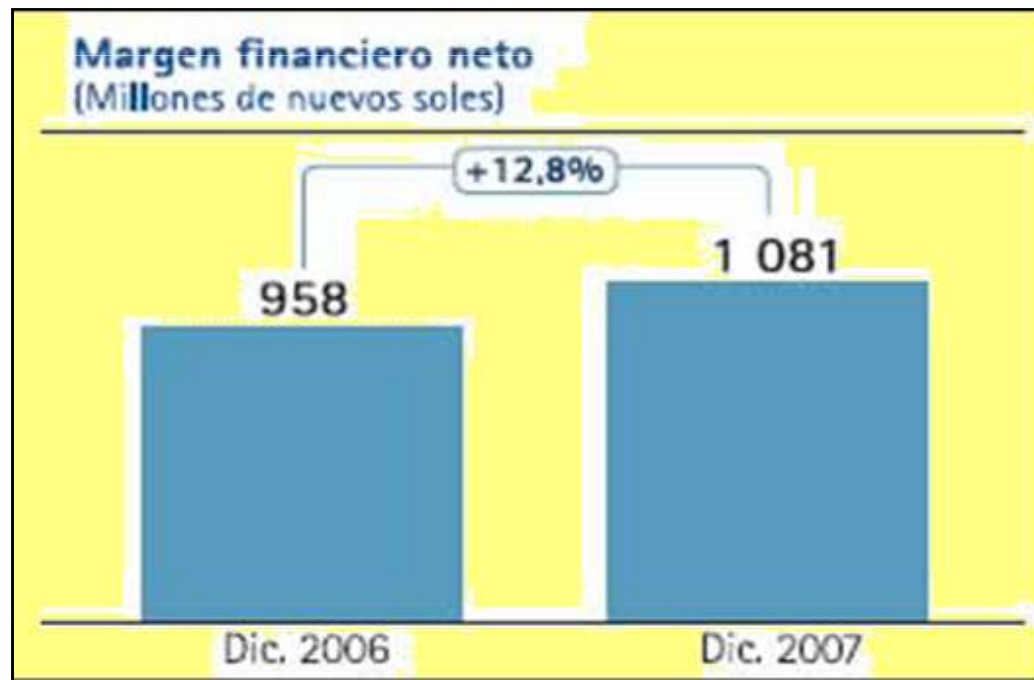




# Ejemplo

- **Variables de resultados.**

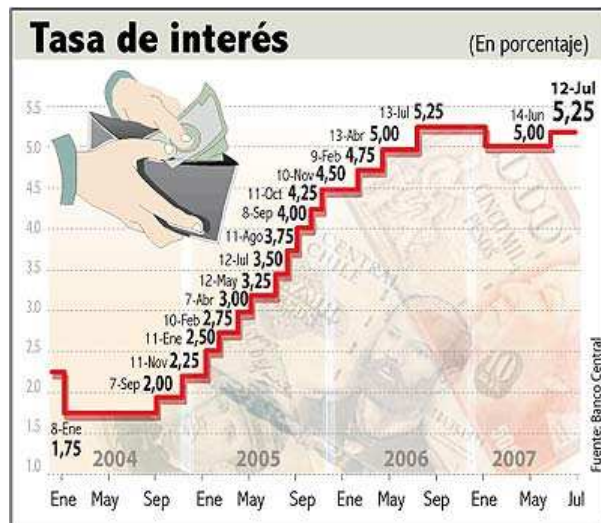
*Variables del sistema, que no son variables de estado, aquellas que el usuario del laboratorio define como indicadores de eficiencia de gestión. Así por ejemplo pueden ser variables de resultados el margen financiero o el beneficio.*



# Ejemplo

- Reglas.

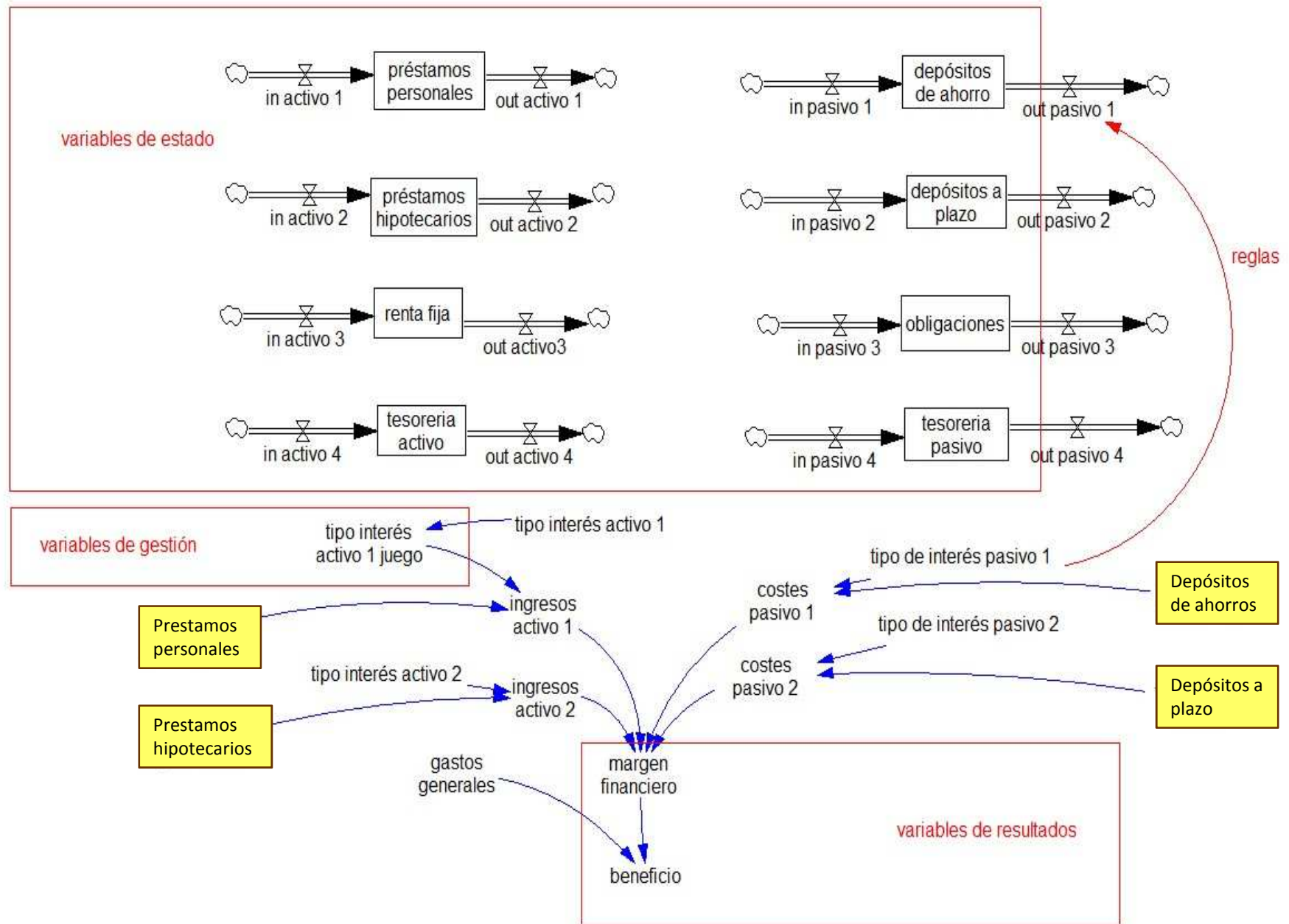
*Impacto de los cambios de una variable en otra , así por ejemplo una variable como el incremento del saldo de depósitos de ahorro, va a depender del tipo de interés que se ofrezca a los clientes por sus depósitos. Las reglas las define el usuario, por ejemplo : un incremento de un 1% de tipo de interés a los depósitos de ahorro provoca un incremento del 5% en el saldo de los depósitos después de dos meses.*



## **Ejemplo**

---

*El **Laboratorio de Aprendizaje Bancario** puede diseñarse para el estudio de políticas donde la gestión de un banco no incluye la gestión de los otros bancos competidores, o bien para el estudio de políticas donde los resultados de un banco se ven influenciadas por las decisiones que toman los competidores.*



# INTRODUCCION

---

- *La Dinámica de Sistemas aplica métodos de sistemas duros, básicamente las ideas de realimentación y sistema dinámico, junto con la teoría de modelos en el espacio de estados y procedimientos de análisis numérico. Por tanto, sería una metodología más entre las de sistemas duros.*

# INTRODUCCION

---

- *Sin embargo, en su punto de mira están los problemas no estructurados (blandos), como los que aparecen en los sistemas socioeconómicos. Esto plantea dos tipos de dificultades:*

# ***INTRODUCCION***

---

## **Cuantificación:**

En Dinámica de Sistemas se comienza por identificar las variables de interés y las relaciones que existen entre ellas, seguidamente , se debe cuantificar dichas relaciones, lo que en ocasiones plantea dificultades.

# ***INTRODUCCION***

---

## **Validación:**

Una vez construido el modelo hay que preguntarse si refleja razonablemente la realidad. Esta cuestión puede resolverse por ejemplo disponiendo de información cuantitativa de la evolución del sistema real en el pasado. Si el modelo es capaz de generar los comportamientos característicos del sistema real, entonces obtendremos confianza en la validez del modelo.



# DINAMICA DE SISTEMAS

Metodología para la construcción de modelos de simulación  
para sistemas complejos

## Métodos de sistemas duros

Ideas de Realimentación

Sistema Dinámico

Teoría de Modelos en el  
espacio de estados

Procedimiento de Análisis  
Numérico

## Métodos de sistemas Blandos

Cuantificación

Validación

# ***INTRODUCCION***

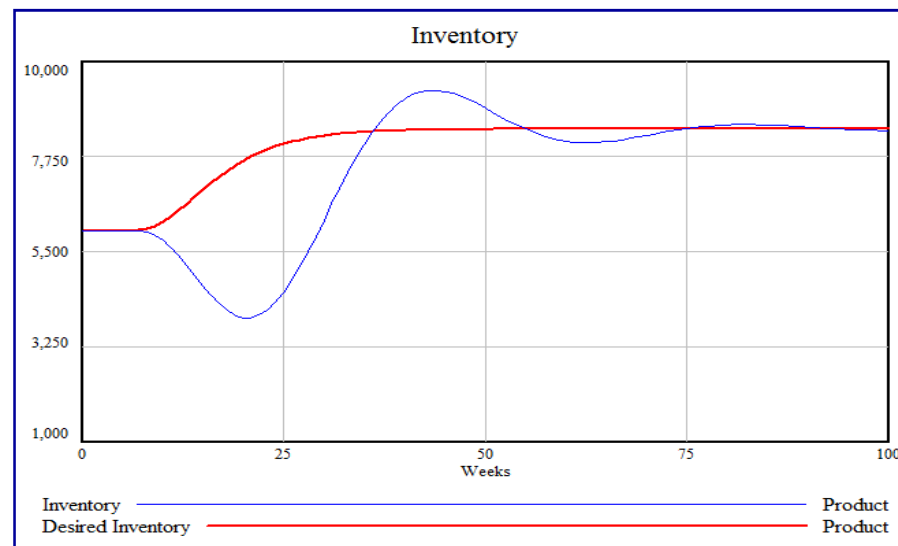
---

El objetivo básico de la Dinámica de Sistemas es:

- Comprender las causas estructurales del comportamiento de un sistema.
- Aumentar el conocimiento sobre los elementos del sistema y ver cómo las acciones sobre esos elementos determinan y modifican el comportamiento del sistema.

# INTRODUCCION

- En Dinámica de Sistemas la simulación permite obtener trayectorias de las variables incluidas en el modelo, mediante la aplicación de técnicas de integración numérica(  $\int_a^b f(x) dx$  ).
- Sin embargo, estas trayectorias nunca se interpretan como predicciones, sino como proyecciones o tendencias. El objeto de los modelos de Dinámica de Sistemas es, como ocurre en todas las metodologías de sistemas blandos, llegar a comprender cómo la estructura del sistema es responsable de su comportamiento.



# INTRODUCCION

- Esta comprensión normalmente debe ayudar a determinar las acciones que promuevan mejorar el funcionamiento del sistema o resolver los problemas observados. La ventaja de la Dinámica de Sistemas consiste en que estas acciones pueden ser simuladas a bajo costo, con lo que es posible valorar sus resultados sin necesidad de ponerlas en práctica sobre el sistema real.

### Inputs

Inventory Adjustment Time

1  10

Sales Averaging Time

1  10

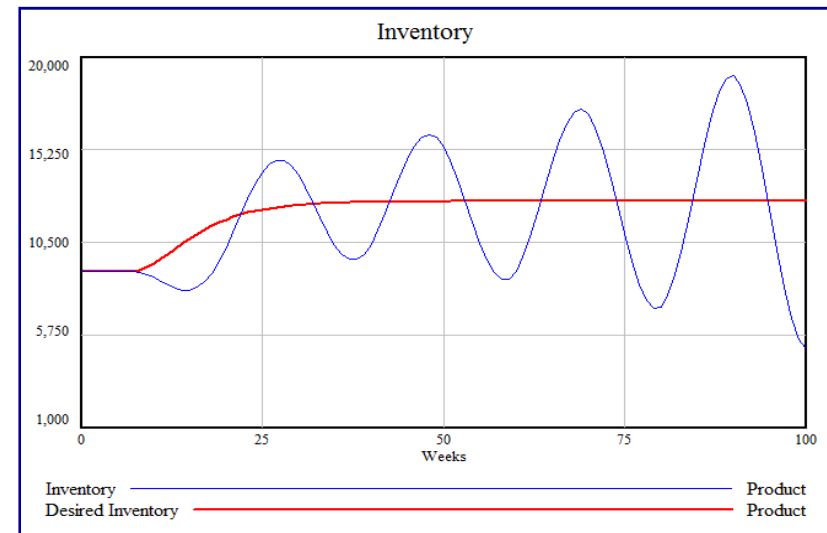
☒ VMI On/Off

☒ Random Orders On/Off

Run simulation to week:

### Control Panel

Save Last Run as #:



# ***HISTORIA DE LA DINAMICA DE SISTEMAS***

---

A lo largo de los años cincuenta comenzó a fraguarse en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) una destacada metodología de sistemas, la **Dinámica de Sistemas**. Jay W. Forrester, ingeniero electrónico, había pasado del Laboratorio de Servomecanismos, donde inventó las memorias magnéticas de núcleos de ferrita, a coordinar un gran proyecto de defensa, el sistema SAGE (Semi-Automatic Ground Equipment).



MIT Centro de formas angulares  
Arquitecto canadiense Frank Gehry



*Jay Forrester hablando del futuro*

# ***HISTORIA DE LA DINAMICA DE SISTEMAS***

---

- En la realización de este sistema de alerta en tiempo real se percató de la importancia del enfoque sistémico para concebir y controlar entidades complejas como las que surgen de la interacción de hombres y máquinas.

# ***HISTORIA DE LA DINAMICA DE SISTEMAS***

---

- Tras esta experiencia, Forrester pasaría a ser profesor de la Escuela de Administración Sloan, del Instituto Tecnológico de Massachusetts, donde observó que en las empresas se producían fenómenos de realimentación que podían ser causa de oscilaciones, igual que sucede en los servomecanismos.

# ***HISTORIA DE LA DINAMICA DE SISTEMAS***

---

- De esta forma, ideó la Dinámica Industrial [Industrial Dynamics, 1961], una metodología que permitía construir modelos cibernéticos de los procesos industriales.
- La peculiaridad de estos modelos residía en la posibilidad de simular su evolución temporal con la ayuda del ordenador.



# ***HISTORIA DE LA DINAMICA DE SISTEMAS***

---

- Posteriormente aplicaría su metodología a problemas de planificación urbana [Urban Dynamics, 1969] y la generalizaría para cualquier tipo de sistema continuo, cambiando su denominación por la de Dinámica de Sistemas [System Dynamics, 1968].

# ***HISTORIA DE LA DINAMICA DE SISTEMAS***

---

- La Dinámica de Sistemas alcanzó gran difusión durante los años setenta, cuando el Club de Roma invitó al Prof. Forrester a una reunión en Suiza donde se le preguntó si la Dinámica de Sistemas podría utilizarse para abordar la crisis global que podría ocurrir debido a las demandas de recursos por una creciente población mundial. La respuesta de Forrester fue afirmativa.

# ***HISTORIA DE LA DINAMICA DE SISTEMAS***

---

- Luego él creó el primer borrador de un modelo de Dinámica de Sistemas correspondiente al sistema socioeconómico mundial al que llamó WORLD1.
- El propio profesor Forrester dirigió la confección de una segunda versión de este modelo y lo llamó WORLD2, el cual fue publicado en el libro titulado World Dynamics, en 1971 .

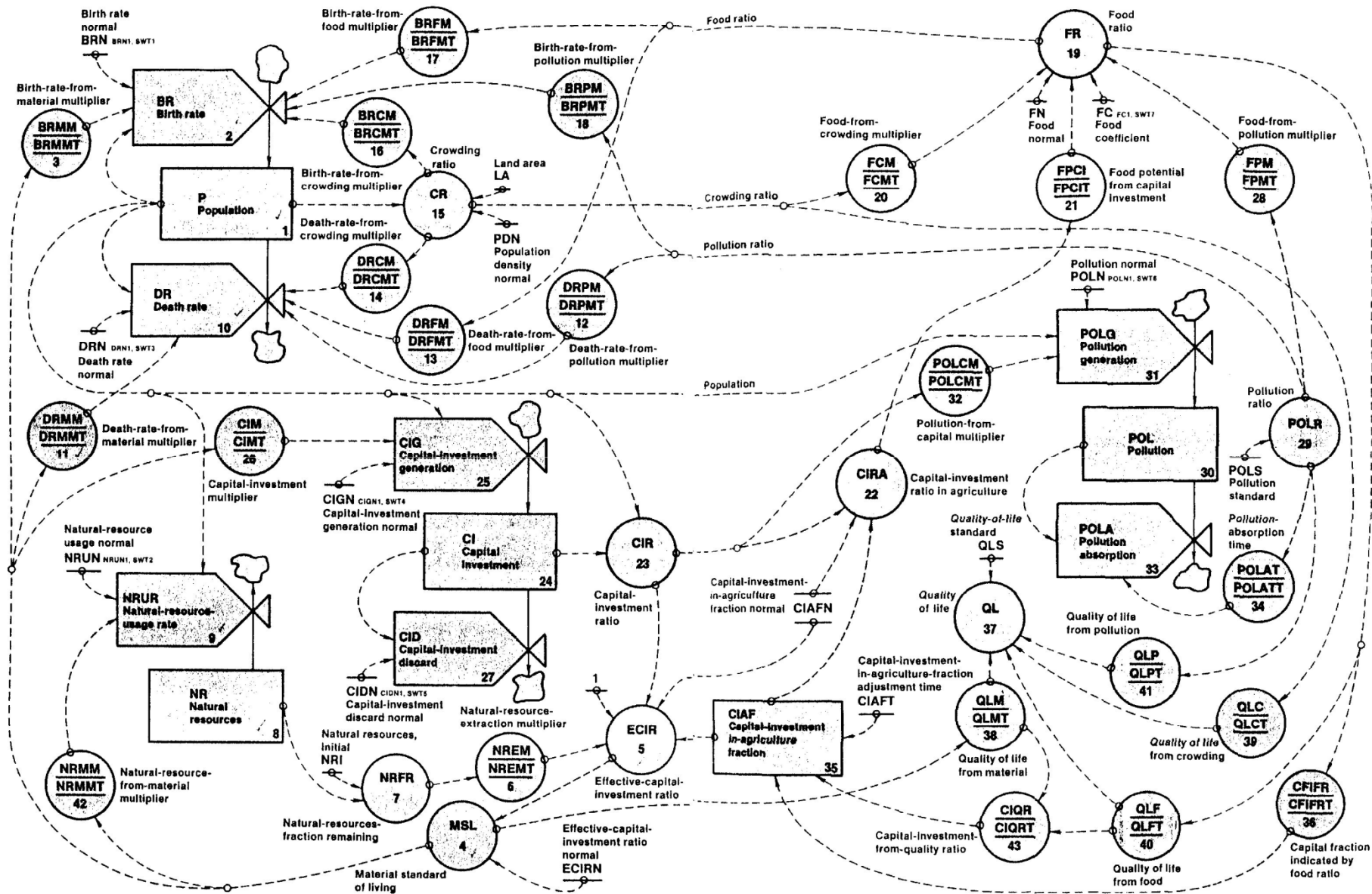


Figure 2-1 Complete diagram of the world model interrelating the five level variables — population, natural resources, capital investment, capital-investment-in-agriculture fraction, and pollution.

## ***LIMITES DE CRECIMIENTO***

---

- En el libro "World Dynamics" (1971), Forrester predijo la inevitabilidad de las catástrofes mundiales. Estos desastres sería el resultado de la contaminación del medio ambiente, el agotamiento de los recursos naturales, las consecuencias de la explosión demográfica en los países en desarrollo.

## ***LIMITES DE CRECIMIENTO***

---

- El éxito conseguido por este primer modelo condujo a la realización de la primera fase del proyecto sobre el futuro de la humanidad , fase que se desarrolló en el M.I.T. , bajo la dirección de Denis Meadows y su esposa, quienes desarrollaron el modelo World 3 , a partir del cual se redactó el informe "del Club de Roma" - "Límites del Crecimiento" (1972).

## ***LIMITES DE CRECIMIENTO***

---

- El citado trabajo ,mostraba datos y resultados de simulaciones efectuadas por ordenador, del modelo World 3, en el cual se incorporaron nuevos aspectos no tenidos en cuenta en el modelo anterior.

## Simulation Results



Overview

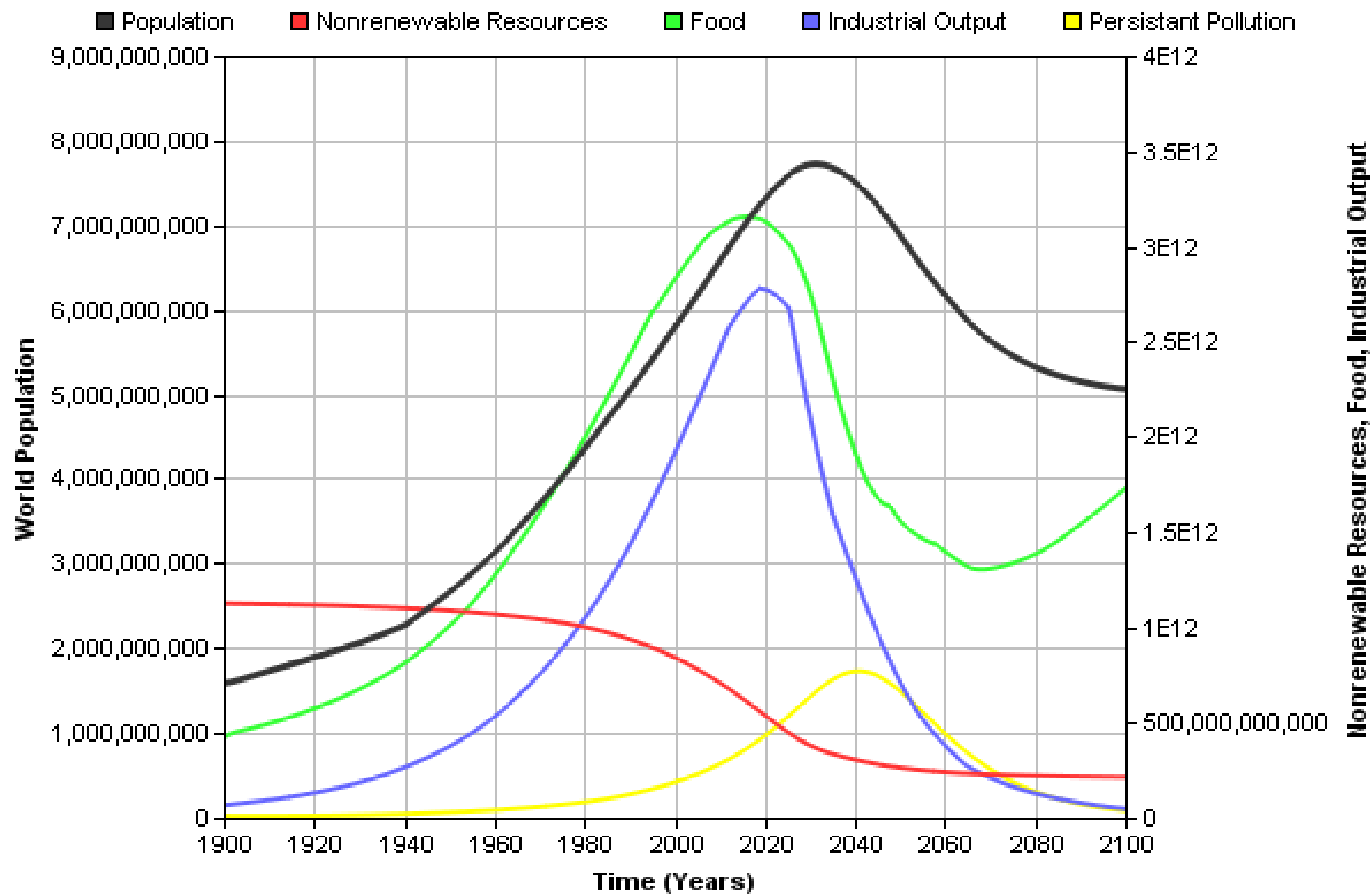
Demographics

Persistent Pollution

Land

Industry

Food





## ***LIMITES DE CRECIMIENTO***

---

Algunas conclusiones de este estudio son las siguientes:

- Sugiere que dentro de un lapso de tiempo menor a 100 años sin mayores cambios en las relaciones físicas, económicas, o sociales que han gobernado tradicionalmente el desarrollo mundial, la sociedad se quedará sin recursos no renovables de los cuales depende la base industrial.

## ***LIMITES DE CRECIMIENTO***

---

- Cuando los recursos se hayan agotado, resultara un precipitoso colapso del sistema económico, manifestado en desempleo masivo, disminución en la producción de comida, y un declive en la población al tiempo que el ritmo de muerte se eleva.

## ***LIMITES DE CRECIMIENTO***

---

- No hay una transición suave, ningún descenso gradual de actividad, mas bien, el sistema económico exitosamente consume de forma sucesiva grandes cantidades de recursos hasta que se acaban. El comportamiento característico del sistema es overshoot y colapso.

## ***LIMITES DE CRECIMIENTO***

---

- La segunda conclusión del estudio es que los acercamientos por partes ,para resolver problemas individuales, no tendrán éxito.
- Para demostrar este punto, los autores arbitrariamente duplican sus estimados de los recursos y le permiten al modelo trazar una visión alternativa basada en este nuevo alto nivel de recursos.

## ***LIMITES DE CRECIMIENTO***

---

- En esta versión alternativa ,el colapso aún ocurre, pero esta vez es causado por la excesiva contaminación generada por el creciente ritmo de la industrialización permitida por la mayor disponibilidad de recursos.

## ***LIMITES DE CRECIMIENTO***

---

- Los autores luego sugieren que si de alguna forma se resolvieran los problemas de agotamiento de recursos y contaminación al mismo tiempo, la población crecería sin freno y la disponibilidad de comida se convertiría en la restricción .

## ***LIMITES DE CRECIMIENTO***

---

- "Límites del Crecimiento" Meadows está empezando a explorar el exponencial crecimiento de la población. Los autores creen que la humanidad está creciendo exponencialmente. En 1970, la población mundial ascendía a 3,6 mil millones, con un crecimiento del 2,1% por año, hay mas del doble después de 40 años, pues, la población del mundo hoy es aproximadamente 7 mil millones.

## ***LIMITES DE CRECIMIENTO***

---

Un Rápido crecimiento de la población llevará a una escasez de alimentos y productos básicos. En la actualidad con el crecimiento de las industrias, los recursos naturales no renovables se agotan a través de 50-100 años(un análisis de las existencias de metales ferrosos y no ferrosos, petróleo, carbón) .



## ***LIMITES DE CRECIMIENTO***

---

- Walter R . Haybbardom decía : “ las existencias de materias primas esenciales, que puede extraerse de las profundidades con los conocidos métodos y costos aceptables , son limitados, mientras que la tasa de explotación , evidentemente, no".

## ***LIMITES DE CRECIMIENTO***

---

- El estudio sugiere que el overshoot y el colapso pueden ser evitados solo por medio de un límite inmediato a la población y contaminación, así como un cese al crecimiento económico.

## ***LIMITES DE CRECIMIENTO***

---

- El retrato pintado, muestra solo dos posibles resultados:
  - La terminación del crecimiento por medio de políticas conscientes y de auto-restricción--un acercamiento que evita el colapso.
  - O la terminación del crecimiento por una colisión con los límites naturales, resultando en un colapso social.

## ***LIMITES DE CRECIMIENTO***

---

- Por tanto, de acuerdo con este estudio, de una u otra forma, el crecimiento cesará. El único tema es, si las condiciones bajo las que cesará serán congeniales u hostiles.

## ***LIMITES DE CRECIMIENTO***

---

- Richard Heinberg, autor de "The Party's Over", escribió recientemente: "La crisis financiera mundial, y el declive en la energía disponible, significan que probablemente también veamos el final del crecimiento económico mundial total... si es así, habrá un océano de consecuencias".

## ***MODELO MUNDO 4***

---

- El modelo Mundo 4 fue creado por Cummings y ha sido desarrollado en el M.I.T.
- Es un modelo intermedio que constituye una extensión del modelo Mundo 3. Como hipótesis que la distingue de este último, supone que la disipación de recursos no conducirá inevitablemente a la destrucción de la economía mundial; lo único que hará será elevar el costo de los recursos no renovables a niveles muy altos.

## ***MODELO MUNDO 4***

---

- El modelo socioeconómico es mas flexible que en el modelo Mundo-3 y responde a los problemas de recursos, contaminación y alimentación con el reciclado de recursos, control de la contaminación ,mantenimiento de la fertilidad de la tierra y la variación de la demanda en la alimentación.

## ***MODELO MUNDO 4***

---

- En la simulación del modelo Mundo-4 se observa que el crecimiento se frena por medio de una elevación de costos de los recursos, sin que llegue a producirse el colapso como sucede en los modelos anteriores.



## ***MODELO MUNDO 4***

---

- Se puede decir que en el modelo Mundo-4 el sistema mundial se adapta a las condiciones cambiantes.
- Una amplia variedad de políticas entre las que se incluye la reducción del crecimiento de la población , mayores inversiones y la conservación de los recursos, puede mejorar el comportamiento del sistema hasta el punto de permitir su crecimiento continuado.

## ***LIMITES DE CRECIMIENTO***

---

- Grupo de expertos de Naciones Unidas encabezado por el renombrado economista W. Leontevym han realizado un análisis crítico de "límites al crecimiento", y en su proyecto "El futuro de la economía mundial" Leontevym hace hincapié en que, el crecimiento de la población - no es un proceso exponencial y tampoco una explosión exponencial.

## ***LIMITES DE CRECIMIENTO***

---

- Sostiene que en las regiones desarrolladas del mundo, la tasa de crecimiento disminuirá en los años venideros, y que un nivel estable se daría a partir de 2025. Hoy podemos confirmar algo , de estos supuestos (reducción del crecimiento en Europa, Rusia). En el Tercer Mundo, dice, tenderá a estabilizarse en 2075 como consecuencia del hambre, y los cambios demográficos asociados con niveles relativamente altos de la economía.

## ***LIMITES DE CRECIMIENTO***

---

- Sí, cualquiera que entienda el impacto humano sobre el medio ambiente, y las desastrosas implicaciones de nuestro imperativo crecimiento económico, sabe que es absolutamente esencial que el mundo encuentre una alternativa al crecimiento;
- Que en vez de eso, la economía humana debe contraerse al punto que ya no amenace la viabilidad de los ecosistemas. Esta es la esencia de la sustentabilidad."

# ***HERRAMIENTAS PARA DINAMICA DE SISTEMAS***

---

El primer lenguaje de modelaje en Dinámica de Sistemas se llamó SIMPLE (Simulation of Industrial Management Problems with Lots of Equations) y fue creado por Richard Bennet en 1958. Después, en 1959, Phyllis Fox y Alexander Pugh fueron los autores de DYNAMO (DYNAmic Models) que fue una versión mejorada de SIMPLE.

# ***HERRAMIENTAS PARA DINAMICA DE SISTEMAS***

---

En el mercado hay además varios entornos destacables para el desarrollo y simulación de modelos de Dinámica de Sistemas. Todos ellos ofrecen diferentes versiones comerciales, de desarrollo, educativas o gratuitas:

**Vensim** (Ventana System ,Harvard Business school).

**Powersim**, Noruega.

**STELLA** and **ithink**. High Performance Systems, Hanover NH.

# ***FILOSOFIA Y FUNDAMENTOS***

---

- La multitud de variables existentes en un sistema complejo, están relacionados mediante círculos causales.
- La interrelación sistémica entre bucles realimentados constituye la estructura del sistema y esta es la que origina el comportamiento del sistema.

# ***FILOSOFIA Y FUNDAMENTOS***

---

- Para comprender la estructura es necesario establecer:
  - El limite del sistema.
  - La red de bucles realimentados.
  - Las tasas o flujos y las variables de nivel o reserva.
  - Los puntos de influencia.

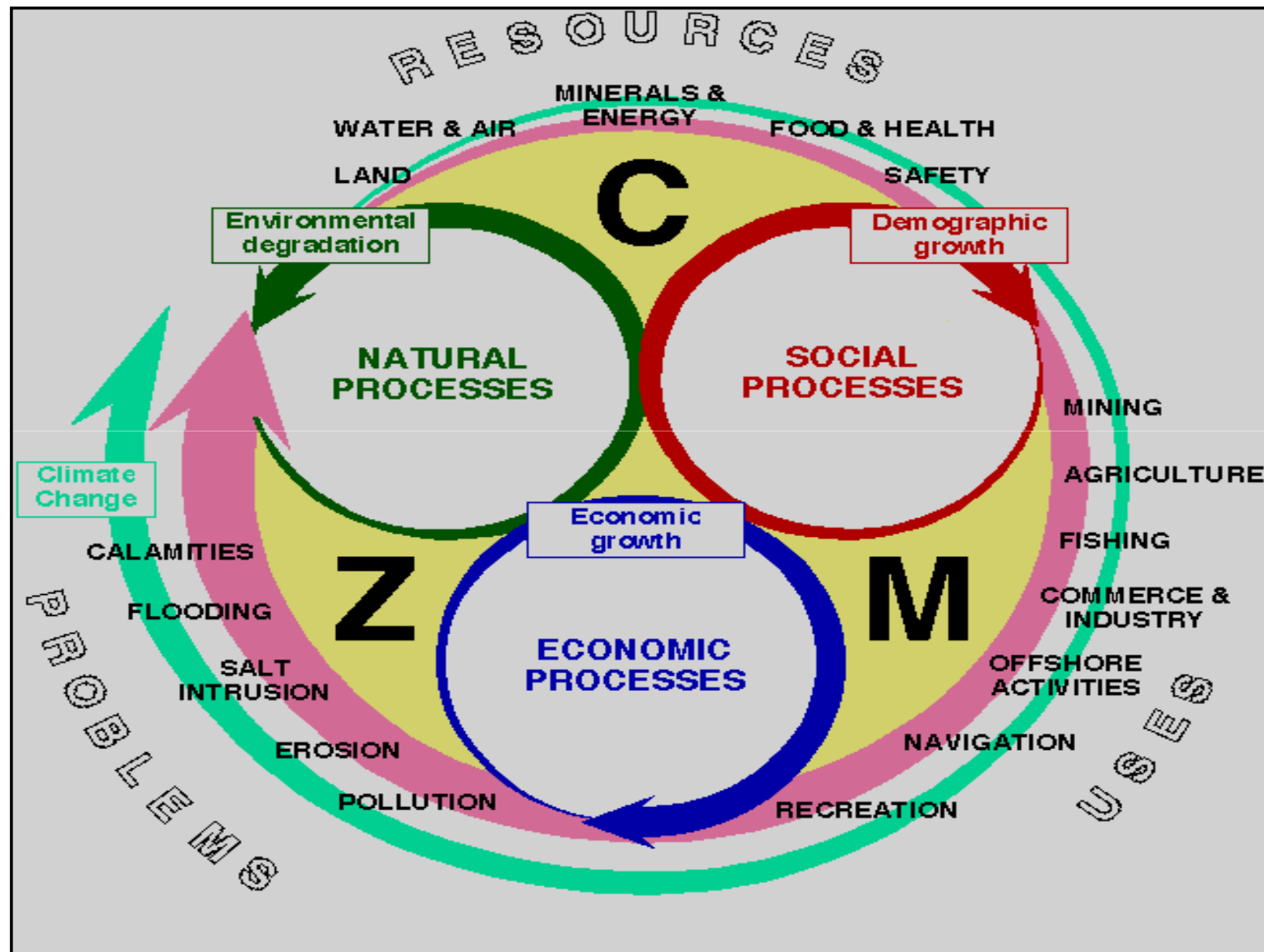


## ***FILOSOFIA Y FUNDAMENTOS***

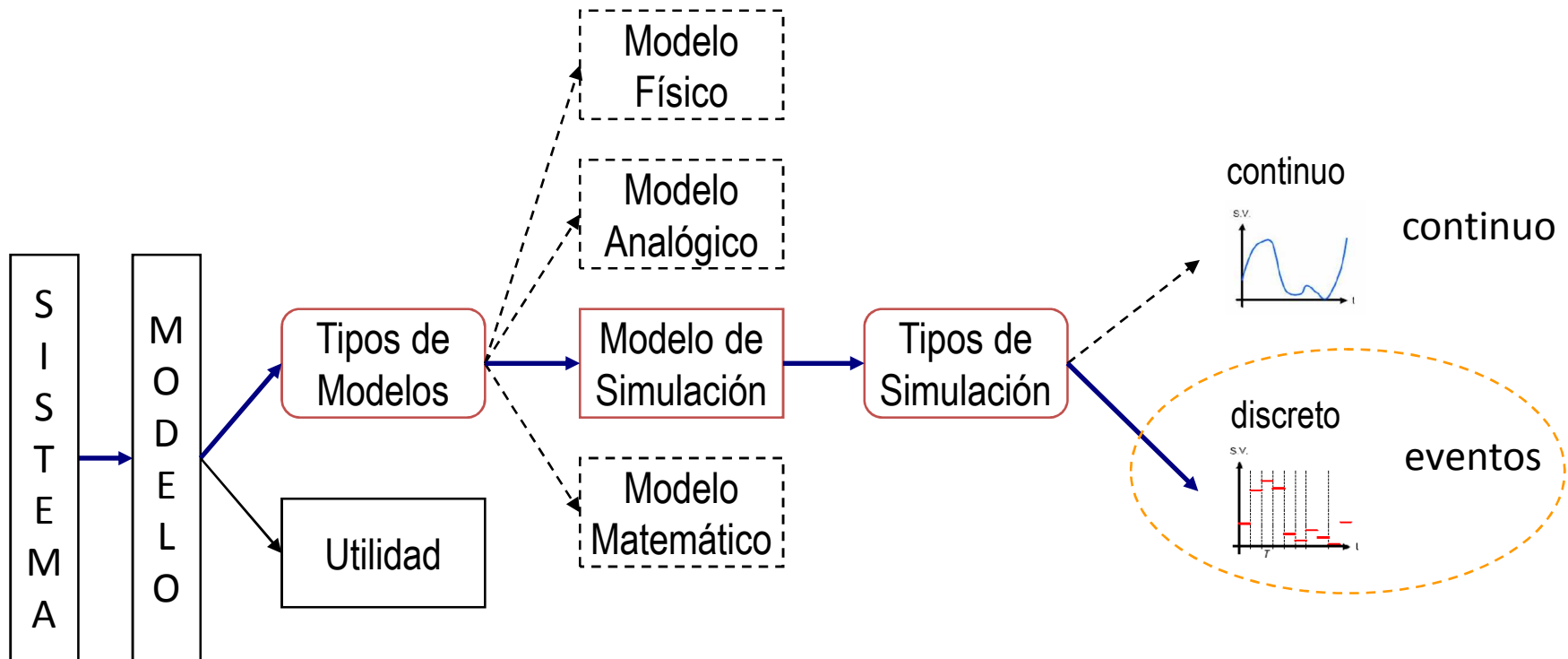
---

- Peter Senge (1990) descubre 11 aspectos contra intuitivos, en sistemas complejos: La cura es mayor que la enfermedad, etc.

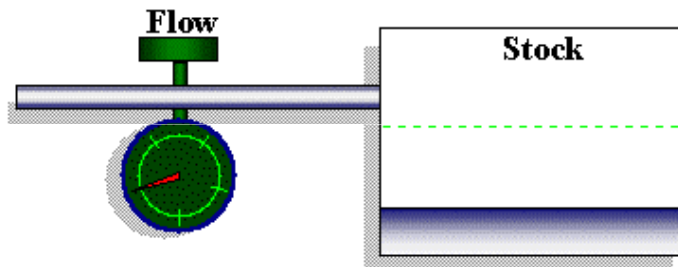
## *Tipos de modelos a estudiar con la dinámica de sistemas*



# Mapa Conceptual



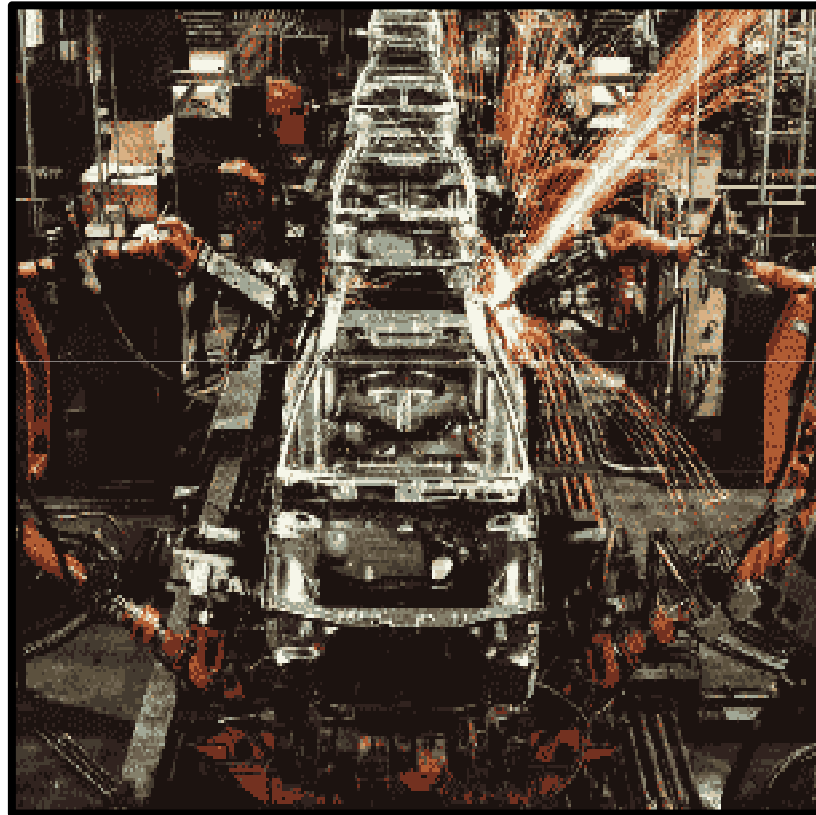
# Evento Continuo



- La simulación continua son análogas a un deposito en donde el fluido que atraviesa una cañería es constante. El volumen puede aumentar o puede disminuir, pero el flujo es continuo. En modelos continuos, el cambio de valores se basa directamente en los cambios de tiempo.

# Evento discreto

- La llegada de órdenes, o las partes que están siendo ensambladas, así como los clientes que llaman, son ejemplos de eventos discretos. El estado de los cambios en los modelos sólo se dan cuando esos eventos ocurren. Una fábrica que ensambla partes es un buen ejemplo de un sistema de evento discreto. Las entidades individuales (partes) son ensambladas basadas en eventos (recibo o anticipación de órdenes). El tiempo entre los eventos en un modelo de evento discreto raramente es uniforme:



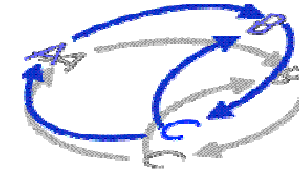
## ***ERRORES EN LA APLICACIÓN DE LA DS***

---

- Trazar diagramas de influencia y no diagramas causales.
- Trazar influencias positivas y no relaciones negativas y demoras.
- Graficar tallarines de influencia.
- Asumir que primero se desarrolla los diagramas causales para luego convertirlos a diagramas de flujos y niveles.
- No diferenciar el flujo del nivel.

# ***METODOLOGIA***

---



- La metodología especificada por Forrester(1961, 1971) para aplicar la dinámica de sistemas, deriva directamente de la filosofía y la teoría del enfoque sistémico.
- Primer paso: Identificar el Problema  
El problema del tomador de decisiones es esclarecido y las variables que impactan en el problema son identificadas.

# **METODOLOGIA**



- Segundo: Desarrollar una hipótesis dinámica que explique la causa del problema

Un modelo de bucles realimentados es construido y este revela las relaciones.

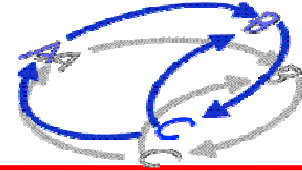
- Tercero : Construir un modelo de simulación del sistema, que incluya la raíz del problema

El modelo es transformado a un modelo matemático, en base a tasas y niveles.



# **METODOLOGIA**

---



- Cuarto paso : El modelo es validado comparando su comportamiento con las actividades del mundo real .

Probar que tan cierto es el modelo elaborado, y su comportamiento en el mundo real.

- Diseñar y probar en el modelo, políticas alternativas que solucionen el problema.

Las recomendaciones son hechas en como las decisores pueden mejorar su situación actual.

- Implementar la solución.

# ***METODOS Y HERRAMIENTAS***

## ***Recientes desarrollos***

---

- Diagramas causales.
- Arquetipos sistémicos.
- Diagramas Flujos-Nivel.
- Micromundos.
- Desarrollar habilidades de aprendizaje en las organizaciones.

