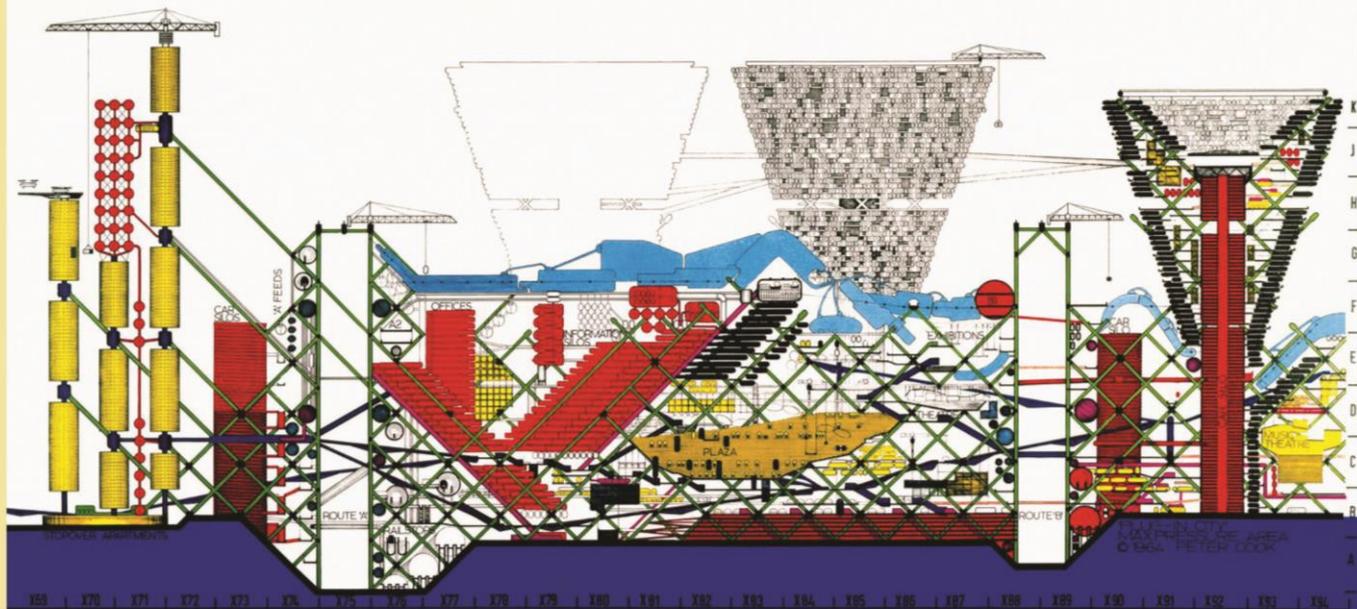


Dr. Francisco Javier Wong Cabanillas
EDITOR & COMPILADOR



S
I
S
T
E
M
A
S

DINÁMICOS

Dinámica de sistemas: Jay Forrester



Raúl Iván Cerreño Caro

Ingeniero Mecánico – Universidad Nacional de Ingeniería - CIP 42565
Maestría en Ingeniería de Sistemas - Universidad Nacional de Ingeniería.
Doctorando en Gestión de Empresas - Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
Gran experiencia en gestión de contratos MARC. Últimos 17 años en Ferreyros.
Experto en gestión de maquinaria minera, Lean Six Sigma, calidad, confiabilidad y PMI.
Correo electrónico: icer1554@gmail.com

Resumen

El presente artículo nos muestra que la dinámica de sistemas lleva más de medio siglo de desarrollo, lo cual es poco tiempo para la expresión plena de esta disciplina; además presenta y explica que el modelo de simulación debe trabajarse interactivamente con los propietarios del sistema para ir acercándose a un modelo de simulación ajustado con la realidad, finalmente explica que la dinámica de sistemas puede aplicarse a sistemas humanos, naturales y otros sistemas complejos que antes no pudieron simularse.

Palabras Clave: Dinámica de sistemas, modelos de simulación, sistemas humanos, sistemas complejos.

Abstract

The present article shows that the dynamics of systems takes more than half a century of development, which is little time for the full expression of this discipline; Also presents and explains that the simulation model must interact interactively with the system owners to approach a simulation model adjusted with reality, finally explains that the dynamics of systems can be applied to human systems, natural and other complex systems that before Could not be simulated.

Key words: Dynamics of systems, simulation models, human systems, complex systems.

1. Introducción

Biografía

Los datos de esta breve biografía se han tomado del documento “The Beginning of System Dynamics”, que se ofreció por el mismo PHD. Jay Wright Forrester En reunión internacional de la Sociedad de Dinámica de Sistemas. Stuttgart, Alemania Julio 13, 1989.

Jay W. Forrester (14 de julio de 1918-16 de noviembre de 2016) proviene de una familia rural en Nebraska, Minnesota. Crece en un rancho de ganado, donde la vida es muy concreta y por lo tanto, conoció tempranamente las fuerzas económicas del mercado: Oferta y demanda, precios cambiantes y los costos.

A pesar de tener una Beca para ir al Colegio de Agricultura decide finalmente matricularse en el Colegio de Ingeniería de la Universidad De Nebraska. Posteriormente continúa en el Massachusetts Institute of Technology. Durante el primer año lo convoca Gordon S. Brown, pionero en "sistemas de control de retroalimentación" en el MIT. Durante la Segunda Guerra Mundial desarrolla Servomecanismos para el control de antenas de radar y montaje de armas. Construyen también un control experimental de radar en portaaviones para dirigir al piloto contra objetivos enemigos, con bastante éxito.

Al finalizar la Segunda Guerra Mundial -aún con Gordon Brown- trabaja en un simulador de vuelo de aeronaves, a partir de un túnel de viento para predecir el comportamiento del avión antes de que fuera construido y sobre todo con computadoras que le permitieran relacionar las realidades con los cálculos.

Un día de 1952 caminando con James Killian -presidente Del MIT- hablaron de una nueva Escuela que el MIT estaba comenzando: La Escuela Sloan de Administración, una experiencia en donde se implementaban los estudios de Administración en un ambiente técnico (Harvard hace lo mismo en un ambiente de artes liberales). La decisión de trasladarse esperó hasta 1956. Tenía cerca de un año para orientar sus conocimientos en esta Facultad.

La oportunidad aparece en la conversación con personas de General Electric. Ellos estaban perplejos de por qué sus plantas de electrodomésticos en Kentucky a veces trabajaban tres y cuatro turnos y luego unos años más tarde, la mitad de la gente tendría que ser despedida. Era bastante fácil decir que los ciclos económicos causaron una demanda fluctuante, pero esa explicación no era convincente como toda la razón.

Después de hablar con ellos sobre cómo hicieron la contratación y el inventario decisiones, empezó a hacer algunas simulaciones manuales. Se hizo evidente que existía un sistema oscilatorio o inestable que estaba determinado internamente la fluctuación. Incluso con órdenes entrantes constantes, uno podría conseguir la inestabilidad del empleo como consecuencia de las decisiones y políticas de uso común. Ese primer sistema simulado en papel fue el comienzo de la dinámica de sistemas.

OBRA

La esencia del pensamiento de Jay W. Forrester se encuentra principalmente en sus tres libros: Industrial Dynamics, Urban Dynamics, world Dynamics.

Dinámica Industrial (Industrial Dynamics)

El libro publicado en 1961 supuso una ruptura en la forma de mirar los sistemas; hasta entonces los modelos teóricos eran lineales, en su lugar, la Dinámica de Sistemas apostó por modelos no-lineales. En vez de diseñar un modelo para pronosticar acontecimientos futuros, la Dinámica de Sistemas busca un modelo mental para luego desarrollar un modelo conceptual, que pueda simular. Una vez hecho esto, la Dinámica de sistemas permite “perturbar el modelo”, verificando diversas variables para aprender acerca de los puntos críticos del sistema, su probable evolución y resistencia al cambio.

Este es el mayor aporte de Jay Forrester: la comprensión de los sistemas. No busca técnicas para controlar el sistema o dominar su funcionamiento, por el contrario pretende agudizar el conocimiento sobre el diseño, estructura y funcionamiento del sistema estudiado a fin de obtener una visión de conjunto para poder interactuar con él más armoniosamente, para intervenir sabiamente, se trate de sistemas económicos, sociales, biológicos o tan complejos como el mundo que habitamos. (Posteriormente “Industrial Dynamics” cambió de nombre a (“Dynamics Systems”).

Dinámica Urbana (Urban Dynamics)

Se examina por primera vez el problema de las ciudades envejecidas con los métodos de la Dinámica de Sistemas (Industrial Dynamics): la naturaleza del problema urbano, sus causas, posibles correcciones.

En este libro, Forrester se pregunta si las medidas adoptadas para aliviar los problemas urbanos de hecho no los han intensificado. Su recepción fue impactante en muchos casos y deplorada en muchos otros, sin embargo, nunca se probó que estuviera equivocado.

Dinámica Mundial

En 1970, el Club de Roma, una organización que se preocupa por el futuro de La humanidad y el planeta, preguntó al profesor Forrester si la dinámica de sistemas podía ser utilizada para perfilar los problemas relacionados con el rápido crecimiento de la humanidad en el mundo, la disponibilidad de recursos y la eliminación de contaminantes. Esta cuestión dio lugar a la investigación y publicación de un libro titulado World Dynamics, que mostró un posible colapso del sistema socioeconómico del mundo en algún momento durante el siglo XXI, a menos que se tomen medidas apropiadas para reducir las demandas sobre los recursos de la tierra.

World Dynamics fue posteriormente revisado por un grupo de estudiantes dirigidos por Dennis Meadows. El profesor Forrester también ha participado en la creación de un Modelo que, aunque no completamente terminado, muestra que los ciclos económicos de 40-60 años son una característica de una economía capitalista.

Por muchas décadas el interés por el crecimiento económico, crecimiento de la población, y el medio ambiente mundial se ha expandido rápidamente. El estrés mundial se ha incrementado, muchas personas y organizaciones empezaron a estudiar la situación y a tratar de influenciar hacia un cambio pero de manera separada y de muchas diversas maneras. Se empieza a pensar que la acción coordinada sobre el todo puede dar mejores resultados.

Los resultados que arrojaba el análisis indicaban que en la dinámica mundial se produciría un crecimiento rápido de todas las variables contempladas, excepto en los recursos naturales. El crecimiento llegaba a alcanzar un punto máximo a partir del cual se produciría una fuerte caída, este declive alcanzaba un punto límite en el cual se producía el colapso.

Forrester realizó un modelo dinámico world2 para determinar una propuesta que evite las consecuencias de este colapso, es decir, alcanzar un punto de equilibrio global en el futuro, para lo cual se precisaba adoptar las siguientes medidas (Tamames, 1974, p. 100):

- La [disminución en la] utilización de los recursos naturales (haciendo una aplicación más intensa del reciclaje) hasta reducir su consumo en un 75 %.
- limitar la contaminación en un 50%; la contracción de las inversiones de capital en un 40% en este rubro.
- Descenso del coeficiente de natalidad en un 30%.

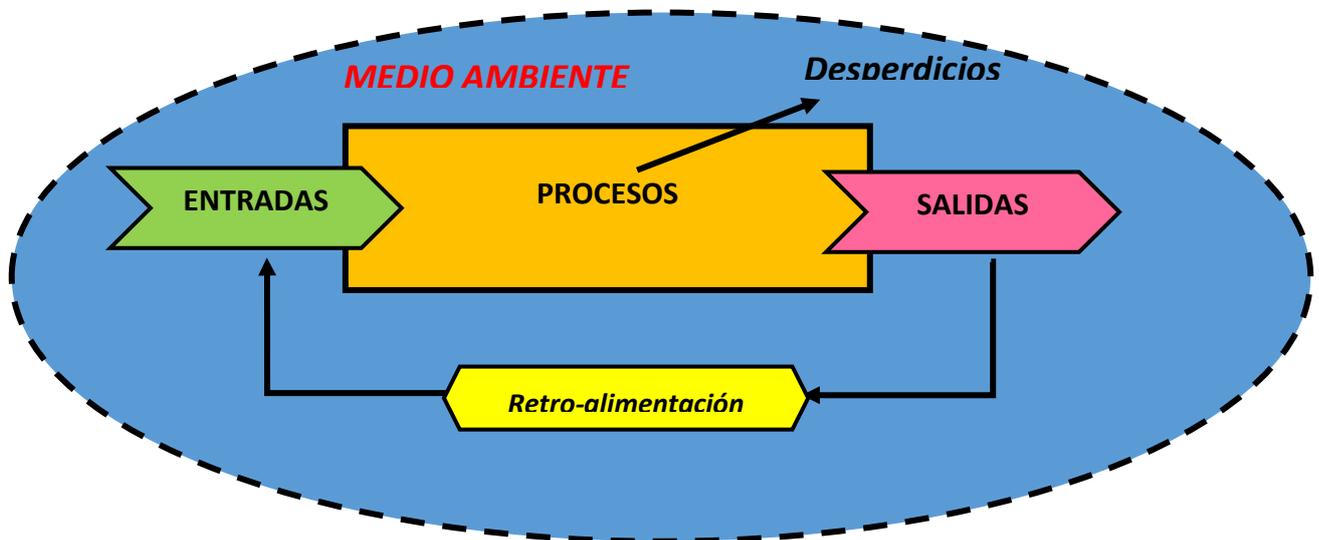
El resultado de estas medidas traía como consecuencia el crecimiento cero de: la población, la inversión de capital, la contaminación y la calidad de vida. Los recursos naturales seguirían decreciendo pero a un ritmo mucho menor (Tamames, 1974). En conclusión, Forrester planteaba:

Que un equilibrio global es algo conceptualmente posible. El que se logre alcanzarlo, es otra cuestión. Las actuaciones que serían necesarias para ello no se aceptarán fácilmente. Probablemente, se requerirá más presión sobre la humanidad por parte del medio ambiente, antes de que se tomen en cuenta tales cuestiones con suficiente preocupación y seriedad. Sin embargo, para entonces el plazo de tiempo disponible para actuar será todavía más breve (Forrester, 1971, en Tamames, 1974, p. 103)

2. Definiciones mínimas

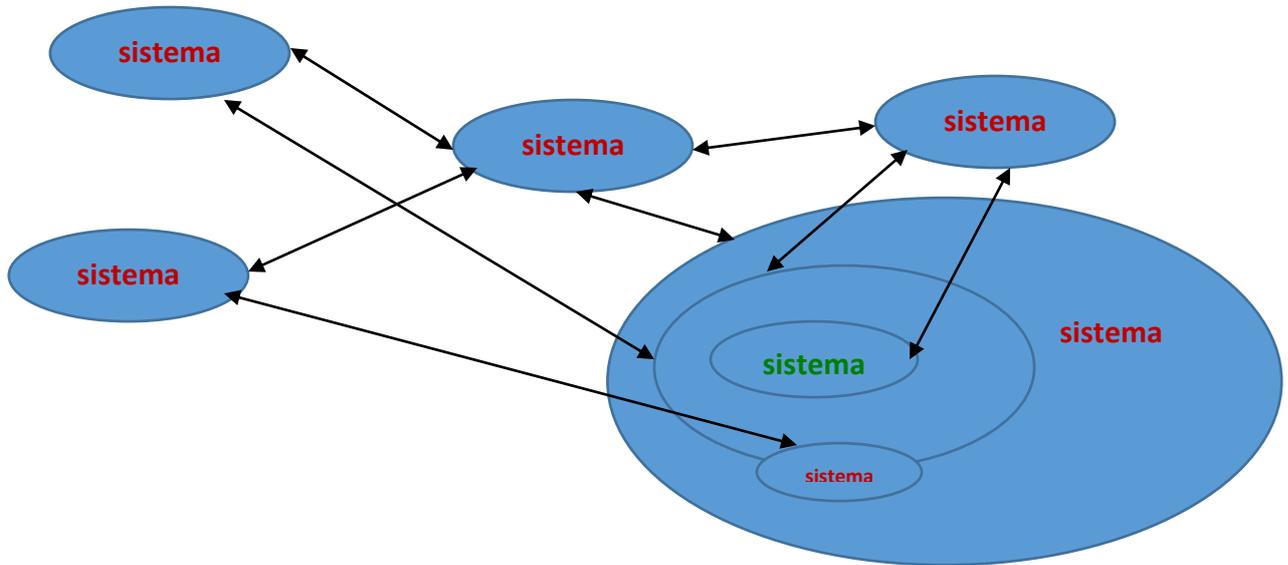
¿Qué es un sistema?

Un sistema es módulo ordenado de elementos que se encuentran interrelacionados y que interactúan entre sí. El concepto se utiliza tanto para definir a un conjunto de conceptos como a objetos reales dotados de organización.



Relación entre sistemas

Los sistemas pueden estar relacionados de múltiples maneras.



3. ¿El Mundo es Complejo o Complicado?

El objetivo y finalidad de la “Investigación operacional” es la de encontrar la solución óptima para un determinado problema (militar, económico, de infraestructura, logístico, etc.). Está constituida por un acercamiento científico a la solución de problemas complicados, tiene características intrínsecamente multidisciplinarias y utiliza un conjunto diversificado de instrumentos, prevalentemente matemáticos, para la modelización, la optimización y el control de sistemas estructurales.

Complicado puede ser un reloj de engranajes, sin embargo, el estudio repetitivo y constante, armar y desarmar el mecanismo hace que el ser humano lo llegue a dominar el artefacto conforme conoce cada día más y más el funcionamiento del artefacto.

La Complejidad no es predecible: un ser humano decide tomar un sabor de café hoy y otro mañana con los mismos elementos de juicio e influencia sobre él. No obedece a reglas estrictas o sencillamente no se puede manejar todas las variables posibles, pues muchas de ellas permanecen ocultas.



Muchas personas pueden ver un mismo evento, pero el entendimiento de lo que acontece es distinto... determinar por qué esto sucede es complejo.

La Dinámica de Sistemas busca un método que permita acercarse a caracterizar la complejidad (no pretende resolverla).

4. Aporte de la Dinámica de Sistemas

“La dinámica industrial es el estudio de las características de la información de la actividad industrial para mostrar cómo la estructura organizativa, la amplificación (en las políticas) y los retrasos temporales (en decisiones y acciones) interactúan para influir en el éxito de la empresa. Trata las interacciones entre los flujos de información, dinero, pedidos, materiales, personal y bienes de capital en una empresa, una industria o una economía nacional. La dinámica industrial proporciona un marco único para integrar las áreas funcionales de la gestión: comercialización, producción, contabilidad, investigación y desarrollo, e inversión

capital. Se trata de un enfoque cuantitativo y experimental para relacionar la estructura organizativa y la política corporativa con el crecimiento y la estabilidad industrial". (Jay W. Forrester).

5. Métodos empíricos

Numerosa experiencia muestra que el juicio intuitivo no es confiable sobre cómo los sistemas cambiarán con el tiempo, incluso cuando se tiene buen conocimiento de las partes individuales del sistema. El modelo experimental es actualmente factible para intentar minimizar la brecha entre el juicio y el conocimiento ahí donde su relación es más débil - mostrando la manera en la cual las partes separadas conocidas del sistema pueden interactuar para producir resultados totalmente inesperados y problemáticos del sistema total. Se dispone de suficiente información para modelar experimentalmente sistemas sin grandes gastos y retrasos en la recopilación de datos adicionales.

Los sistemas industriales se arman (internamente) de tal manera que crean muchos de sus propios problemas, pero muchas veces se atribuyen a causas externas e independientes. Los cambios de política y estructura (que son viables) producirían una mejora sustancial en el comportamiento industrial y económico de la empresa; y el rendimiento del sistema a menudo puede mejorar los procesos *sin un compromiso que cause pérdidas en un área a cambio de ganancias en otro*.

6. Contexto

La dinámica industrial surge de cuatro líneas de desarrollo que se desarrollaron suficientemente durante la década de 1950, estas son:

- la teoría de la retroalimentación de la información,
- la automatización de la toma de decisiones tácticas militares,
- el diseño experimental de sistemas complejos mediante el uso de modelos, y
- las computadoras digitales para la computación de bajo costo.

A continuación presentamos un breve resumen de ellas para entender el aporte de cada una de ellas a un método que se creó con el nombre de Dinámica Industrial, pero que debido a sus múltiples aplicaciones en la vida común ha mudado a Dinámica de Sistemas. En este documento utilizaremos ambos nombre como sinónimos.

Teoría de los sistemas de información por retro-alimentación

Se ha entendido que las interacciones entre los componentes del sistema pueden ser más importantes que los propios componentes; además, se ha percibido que los procesos y eventos producen información que es necesaria analizar ya que influyen directamente sobre decisiones importantes a tomar en el futuro inmediato. Ejemplos muy sencillos de estos hechos pueden ser:

- *Un termostato recibe información de temperatura y acciona poniendo en marcha el horno; al llegar a la temperatura límite el horno se desconecta.*
- *Una persona siente que puede caer, corrige su equilibrio, y por lo tanto, permanece erguido.*

Estos sistemas son sencillos y caen en la denominación de complicados, sin embargo; lo más importante es entender normalmente los sistemas complejos generalmente no están bien coordinados; de hecho, lo usual es que existan desalineamientos. Cuando un sistema es complejo, diseñado por casualidad o de acuerdo con lo que puede ser intuitivamente obvio. Lo más probable es que el sistema no haya sido investigado y menos alineado, por lo que generalmente será inestable o ineficaz.

El estudio de los sistemas de retroalimentación tiene como objeto utilizar la información con el propósito de control. Ayuda a comprender cómo la cantidad de acción correctiva y los retardos en los componentes interconectados pueden conducir a fluctuaciones inestables que deben ser evitadas. Los sistemas de información-retroalimentación, ya sean mecánicos, biológicos o sociales, deben su comportamiento a tres características: Estructura, Retrasos y amplificación.

La estructura de un sistema indica cómo las partes están relacionadas entre sí. **Los retrasos** siempre existen en la disponibilidad de información, en la toma de decisiones basadas en la información y en la toma de decisiones sobre las decisiones. **La amplificación** suele existir en todos estos sistemas, especialmente en las políticas de decisión de nuestros sistemas industriales y sociales. La amplificación se manifiesta cuando una acción es más intensa de lo que al principio parecía estar implícita en las entradas de información a las decisiones gobernantes.

Si bien estamos estudiando intensamente los sistemas industriales, por otro lado recién estamos empezando a entender la forma en que la estructura, los retrasos y la amplificación se combinan para determinar el comportamiento en los sistemas sociales.

Procesos de toma de decisiones

El Segundo fundamento de la Dinámica Industrial es el óptimo entendimiento de la Toma de Decisiones lograda en 1950 durante la automatización de tácticas militares de operación.

Históricamente, la necesidad militar ha conducido a crear dispositivos como aviones y computadoras digitales, y también, nuevas formas de organización. Es natural que en un lapso relativamente corto, estas mejoras pasen al mundo civil, de ahí que las innovaciones en gestión (alto Mando), decisiones tácticas (Dirección de batalla) y planificación estratégica (uso de políticas y normas de toma de decisiones) sean ahora temas comunes de la alta gerencia.

La velocidad de las operaciones militares sobrepasó la capacidad de los mandos militares, por ello en 1950 y por diez años se estudiaron los "juicios tácticos y la experiencia" de la toma de decisiones militares, logrando desarrollar políticas operacionales automatizadas que son la base para la toma de decisiones militares tácticas. Se ha demostrado ampliamente que las reglas formales cuidadosamente seleccionadas pueden conducir a decisiones tácticas a corto plazo que sobresalen respecto a las realizadas por el juicio humano bajo la presión del tiempo, o con hombres que tienen poca experiencia y práctica, o en la rigidez de las grandes organizaciones.

Como en las decisiones militares, veremos que hay una base ordenada que fija gran parte de nuestra actual toma de decisiones gerenciales. Las decisiones no son de "libre albedrío", sino que están fuertemente condicionadas por el medio ambiente. Esto es cierto, podemos establecer las políticas que gobiernan tales decisiones y determinar cómo las políticas afectan el comportamiento industrial y económico.

Enfoque experimental del análisis del sistema

El análisis matemático no es lo suficientemente potente como para dar soluciones analíticas generales a situaciones tan complejas como las que se encuentran en los negocios. La alternativa es el enfoque experimental. "Simulación" es el nombre aplicado al proceso de realizar experimentos sobre un modelo en lugar de intentar los experimentos con el sistema real. Durante la década de 1950, la simulación se desarrolló ampliamente en el diseño de sistemas de defensa aérea y en el trabajo de ingeniería. Del mismo modo, los estudios de simulación sencillos, en áreas determinadas en una empresa han sido comunes en los últimos años y se informa de ellas en la literatura de Investigación de Operaciones. Las técnicas de

simulación han alcanzado un estado de desarrollo en el que pueden aplicarse a los problemas de la alta gerencia en las organizaciones industriales.

El método consiste en construir un modelo matemático del sistema industrial. Este modelo matemático es una descripción detallada que explica cómo las condiciones en un momento dado conducen a condiciones subsiguientes en puntos posteriores del tiempo. Se observa el comportamiento del modelo y se realizan experimentos para plantear preguntas específicas sobre el sistema representado por el modelo. En vez de pasar de la solución matemática-analítica general al caso particular, se realiza una aproximación empírica. Si bien se pierde la elegancia matemática, se puede apreciar la gran utilidad del método al obtener resultados importantes sin necesitar alta especialización y muchas horas de investigación. Se estudian varias situaciones particulares, y según los resultados podemos generalizar comportamientos hasta donde nos atrevemos.

La utilización de métodos de simulación no requerirá gran capacidad matemática. Sin duda, los detalles de la creación de un modelo deben ser monitoreados por expertos porque hay habilidades especiales requeridas y los escollos que deben evitarse. Sin embargo, el trabajo de escoger las situaciones a explorar, de juzgar las suposiciones y de interpretar los resultados está dentro de la capacidad del tipo de hombres que ahora vemos en las escuelas gerenciales y en los programas de desarrollo ejecutivo.

Computadoras digitales

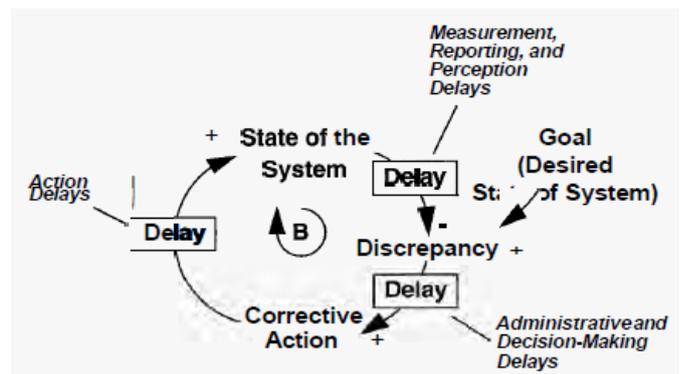
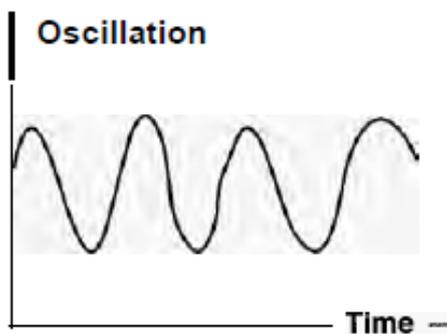
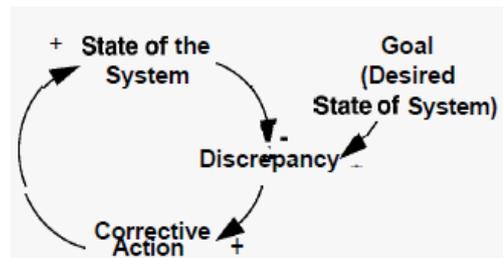
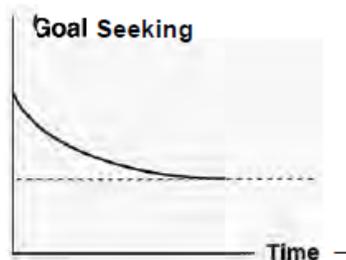
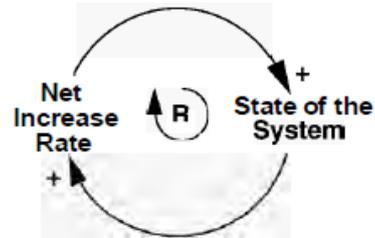
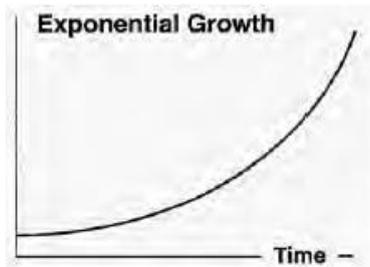
El cuarto fundamento de la Dinámica Industrial ha sido el progreso del ordenador digital que se hizo disponible en general entre 1955 y 1960 (hacia adelante). Sin él, la gran cantidad de trabajo para obtener soluciones específicas a las características de los sistemas complejos sería prohibitivamente costoso. Después de la Segunda Guerra Mundial, el advenimiento de las máquinas informáticas trajo la viabilidad de tratar con sistemas más complejos. Las máquinas computacionales están ahora tan ampliamente disponibles y el costo de la computación y la programación de las máquinas es tan bajo que los métodos de simulación son ampliamente recomendados.

FEEDBACK (retro-alimentación)

Gran parte del arte del modelado de la dinámica del sistema es descubrir y representar el Procesos de retroalimentación que, junto con estructuras de stock y flujo, demoras No lineales, determinan la dinámica de un sistema. Usted puede imaginar que existe una inmensa gama de diferentes procesos de retroalimentación y otras estructuras a ser entendidas antes de aplicar la dinámica de sistemas complejos. De hecho, el Los comportamientos más complejos suelen surgir de las interacciones (feedbacks) y no de la complejidad de los componentes mismos. Todas las dinámicas surgen de la interacción de sólo dos tipos de bucles de retroalimentación, Positivos (o auto-refuerzo) y negativos (o auto-corrección) bucles. Los bucles positivos tienden a reforzar o amplificar todo lo que está sucediendo en el sistema: son todos procesos que generan su propio crecimiento. Los bucles negativos contrarrestan y se oponen al cambio. Estos bucles describen procesos que tienden a ser auto-limitados, procesos que buscan equilibrio.

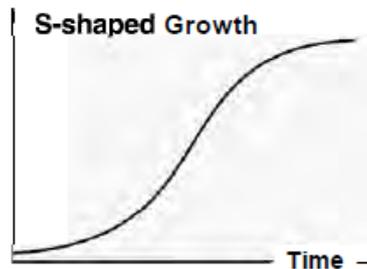
Modos fundamentales del comportamiento dinámico

El cambio toma muchas formas y la variedad de la dinámica que nos rodea es asombrosa, sin embargo la mayoría de las dinámicas se producen a partir de un número relativamente pequeño de patrones de comportamiento. Los modos fundamentales de comportamiento son: crecimiento exponencial, búsqueda de objetivos y oscilación. Cada una de ellas es generada por una estructura de retroalimentación simple: el crecimiento surge de la retroalimentación positiva, la búsqueda de objetivos surge de la retroalimentación negativa, y la oscilación surge de la retroalimentación negativa con retrasos de tiempo en el bucle.

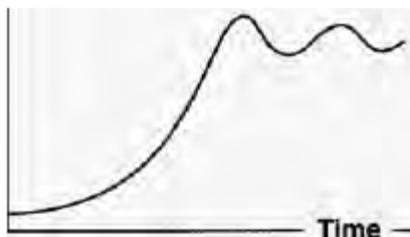


Otros modos de comportamiento comunes son: crecimiento en forma de S, rebasamiento y oscilación, y el rebasamiento y colapso, que surgen de interacciones no lineales entre las estructuras de retroalimentación fundamentales.

Modos de Comportamiento Dinámico



Growth with Overshoot



Overshoot and Collapse



Diagramas Causales Relacionados

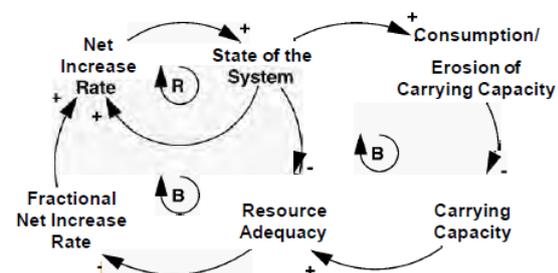
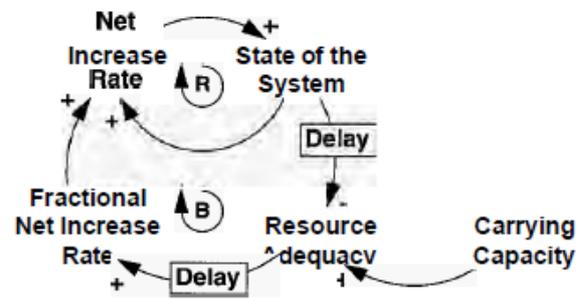
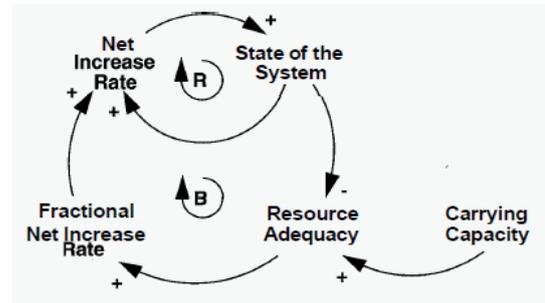


Diagrama causal

Un diagrama causal consiste en variables conectadas por flechas que denotan la Influencias causales entre las variables. Los circuitos de retroalimentación importantes también se identifican en el diagrama. Las variables están relacionadas por enlaces causales, mostrados por flechas.

A cada enlace Causal se le asigna una polaridad, positiva (+) o negativa (-) para indicar Cómo cambia la variable dependiente cuando cambia la variable independiente. Los bucles importantes son resaltados por un identificador de bucle que muestra si el Loop es una retroalimentación positiva (refuerzo) o negativa (balanceada). Tenga en cuenta que el bucle Identificador circula en la misma dirección que el bucle al que corresponde.

Las polaridades de los enlaces describen la estructura del sistema. No describen el comportamiento de las variables cuando todos los efectos actúan.

(Los diagramas causales de los modos de comportamiento dinámico se grafican a la derecha de éstos).

Diagrama de Flujo de Forrester

Los diagramas causales deberán ser completados (o nuevamente representados) en conjunto con una serie de elementos (que a continuación detallamos) para poder ser transformado en un objeto de Simulación, en donde se podrán colocar las ecuaciones que describan la dinámica del sistema. Existen aplicaciones que facilitan el proceso, en nuestro medio suele utilizarse los softwares:

- a) VENSIM, o
- b) STELLA ARCHITECT

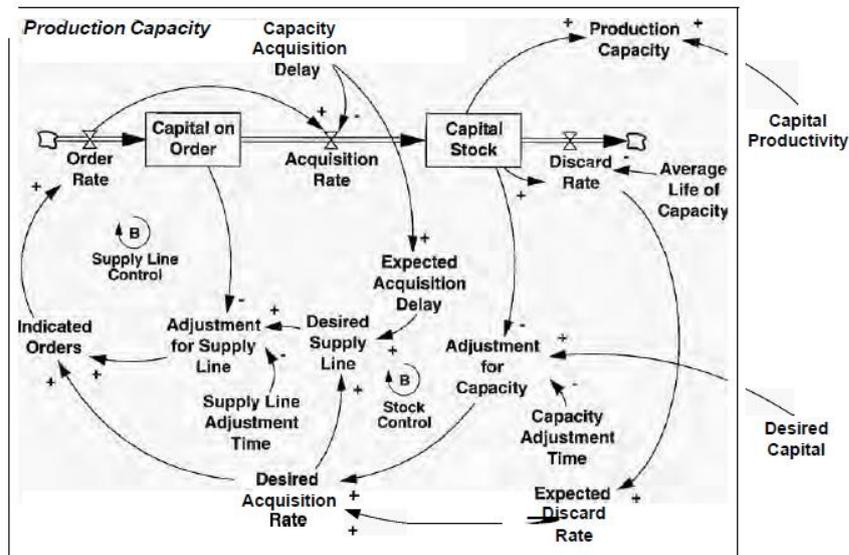
Elementos del diagrama de Forrester

1. Las variables de estado o "niveles". Muestran en cada instante la situación del modelo, simulan una acumulación y varían solo en función de los "flujos". Básicamente se pueden considerar como "Stocks" instantáneos.
2. Canales de información. Transmiten información que por su naturaleza no se conservan.
3. Canales de material. Se transmiten las magnitudes físicas entre flujos y niveles.
4. Flujos", válvulas o tasas de cambio. Funciones que dependen del tiempo. Por ejemplo, cantidad de personas que entran a un teatro por unidad de tiempo (5 personas por minuto).
5. La "nube". Representa una fuente o un sumidero de material que puede interpretarse como un nivel que no es importante para el modelador y es prácticamente inagotable.
6. Constantes o parámetros. Representan valores que no cambian a través del tiempo. Son determinantes para calcular el valor de los flujos. Un ejemplo de constante es la tasa de natalidad de una población o la tasa de interés de un préstamo.
7. Retardos. Simulan el tiempo que demora la transmisión de los materiales o las informaciones. Ejemplo: si se siembra una semilla de maíz se esperaría que a los 90 días hubiera una mazorca, es decir, habría un retardo de 90 días desde el momento de la siembra hasta el momento de la cosecha.
8. Variables "exógenas". Influencias que afectan el sistema, pero no a la inversa. Un ejemplo puede ser la cantidad de agua lluvia que afecta a un cultivo.
9. Variables auxiliares. Cálculos intermedios y valores fijos, respectivamente, que permiten una visualización mejor de los aspectos que condicionan el comportamiento de los flujos.
10. Tablas. Se usan para representar aquellas relaciones entre variables que son no lineales. También se usan para representar multiplicadores entre variables que no permanecen constantes a través del tiempo. Ejemplo: tasa de interés variable.

Nombre	Vensim	Dynamo	Stella, I Think	EVOLUCION
Nivel				
Relación de información				
Relación de material				
Flujo				
Nube				
Parámetro	No Existe		No Existe	
Retardo				
Exógena			No Existe	
Variable auxiliar				
Tabla		No Existe	No Existe	

Ejemplo de un diagrama de flujo de Forrester terminado

Como puede apreciarse, el diagrama mezcla los elementos del diagrama con los enlaces causales. El Modelo Conceptual está listo para ser completado matemáticamente en un software que facilite el cálculo y grafique el comportamiento de las distintas variables.



7. Comentarios y conclusiones

1. Es importante hacer notar que la Dinámica de Sistemas lleva más de medio siglo de desarrollo, es poco tiempo para la expresión plena de este arte; pero es mucho tiempo para ser resumido en tan pocas páginas. Dejamos una breve bibliografía que permite profundizar ampliamente en estos temas.
2. EL estudio de los problemas complejos actuales necesitan ser tratados con un enfoque sistémico, una de estas metodologías es la Dinámica de Sistemas. No soluciona todos los problemas pero es un camino muy interesante y permite a los usuarios desarrollar muy buenos resultados sin necesidad de trabajar modelos matemáticos confusos y complejos.
3. La metodología trabaja en base a un modelado que no es estructurado, por lo que no existe una metodología para hacerlo; sin embargo el modelado debe irse ajustando a la última representación que se trabaja en base a los diagramas causales y los elementos del diagrama de flujo de Forrester; a este diagrama final se le llama Modelo de Simulación.
4. Los bucles fundamentales de comportamiento dinámicos sirven como una guía para entender y desarrollar el modelado causal del sistema.
5. El modelo de simulación debe trabajarse iterativamente con los propietarios del sistema para ir acercándose a un modelo de simulación ajustado con la realidad. Normalmente se trabajan varios modelos para finalmente utilizar el que mejor represente la realidad.
6. Es importante hacer notar que el trabajo no busca un modelado perfecto con la realidad sino una aproximación que permita entender lo que sucede en el sistema complejo en cuestión. La solución no es precisa, los modelos no son precisos, pero las decisiones deben ser correctas.
7. El mundo es complejo y tratar de solucionar la realidad con modelos exactos es demasiado caro, demora mucho y a veces es imposible. La Dinámica de sistemas ofrece un método simple y rápido para llegar a tomar decisiones correctas. Resaltamos: no se busca la solución sino la capacidad de tomar decisiones correctas.
8. La dificultad de la Dinámica de Sistemas está en el desarrollo del modelo conceptual y su correspondiente modelo de simulación. La parte matemática es sencilla una vez que se han armado los bucles y sistemas de refuerzo.
9. La dinámica de sistemas puede aplicarse a sistemas humanos, naturales y otros sistemas complejos que antes no pudieron simularse.

8. Literatura citada.

- [01] **Jay W. Forrester.** Industrial dynamics. Cambridge, massachusetts, usa: the m.i.t. Press Massachusetts Institute of Technology. 1961.
- [02] **Jay W. Forrester.** The Beginning of System Dynamics. Banquet Talk at the international meeting of the System Dynamics Society Stuttgart, Germany, pag. 1-16, Jun 30, 2017, De Sloan School of Management Massachusetts Institute of Technology Base de datos. July 13, 1989.
- [03] **John D. Sterman.** Business Dynamics. USA: McGraw-Hill Higher Education. 2000.
- [04] **Asish Ghosh.** Dynamic Systems for Everyone. Plymouth, Massachusetts, USA: Springer. 2015.