

SISTEMAS, MODELOS Y SIMULACION

Homenaje a Carlos Alberto TAPIA
quien colaboró en el trabajo

En el mundo actual, tanto en el área de los negocios, como en la industria y el gobierno, los proyectos en gran escala y de gran complejidad son la regla y no la excepción.

Estos proyectos complejos requieren estudios previos a su construcción o modificación, denominados estudios pilotos.

Tales estudios pilotos se realizan utilizando la técnica llamada **modelización**, es decir, construcción de **modelos** donde se realiza el estudio con el fin de obtener conclusiones aplicables al **sistema** real.

Construido el modelo, el proceso de ensayar en él una alternativa se llama **simular**. El conjunto de alternativas que se definen para su ensayo constituye la estrategia de la **simulación**.

Los objetivos del proyecto definen cuál es el **sistema** y cuál el **medio ambiente** que lo rodea.

El **sistema** procura satisfacer las necesidades cambiantes de ese medio ambiente en el que está insertado. Cada nuevo **sistema** lo modifica y crea en él nuevas necesidades.

El **sistema** para poder subsistir debe adaptarse a los cambios.

Uno de los objetivos de la **simulación** es realizar ensayos de cambios en el **sistema** probándolos en el **modelo**, con el fin de elegir la mejor alternativa, y así enfrentar mejor a una realidad que varía día a día.

En esta breve introducción se destacan tres conceptos fundamentales, que constituyen el eje de esta publicación y sobre los cuales se da a continuación una primera aproximación.

Son los conceptos de: **sistema, modelo y simulación**.

Sistema

Pueden darse varias definiciones de sistema:

- *"Conjunto de **elementos** cuya **interacción** interesa estudiar"*
- *"Conjunto de **elementos** que **interactúan** entre sí, con un fin común, que se aísla del universo para su estudio."*
- *"Conjunto de **partes** organizado funcionalmente de manera tal de constituir una unidad **interconectada**"*
- *"Conjunto de **elementos** que **interactúan** entre ellos" Pierre Delattre 1971."*

Existen **otras definiciones** sobre **sistemas** más complejas que estas, tales como:¹

- “El estudio de las interacciones conduce lógicamente al concepto de organización sistemática.” (KHAILOV)
- “Totalidad arbitraria de variables que el investigador escoge de un gran número de variables que pertenecen al sistema real.” (ASHBY)
- “Complejo de elementos que actúan recíprocamente”ó “la totalidad de elementos en interacción recíproca” (BERTALANFFY). Acentúa la relación, la influencia recíproca de los elementos que forman el sistema. Un único elemento no puede constituir un sistema ni tampoco varios componentes aislados.
- “Unidad consistente en partes mutuamente interactuantes” (ACKOFF)
- “la totalidad de objetos junto con su mutua interacción” (HALL y FAGEN)
- La esencia de estas definiciones, concluye KHAILOV, es el acoplamiento entre los componentes, y la organización como sistema resultante de este acoplamiento.
- “Entidad que consiste en dos o más elementos y un conjunto no vacío de relaciones entre los elementos” (Francisco SAGASTI)
- “La palabra sistema se refiere a una colección de procesos o eventos interrelacionados, abarcados por una frontera reconocible” (F. K. BERRIEN).
- “Un sistema puede ser definido como una reunión de componentes dotados de propiedades identificables y entre los cuales se perciben relaciones. El exterior de un sistema es su controno” (Charles A. McCLELLAND)
- SADOWSKIJ nombra tres tipos básicos de sistema:
 - de cosas
 - de objetos
 - de conocimientoscomo componentes específicos del concepto de sistema enumera:
 - al conjunto de elementos
 - a la existencia de relaciones entre ellos
 - al carácter de totalidad del conjunto dado

Nota: En todas estas definiciones se observa que para que constituyan un sistema los elementos deben ser varios y deben estar relacionados.

SUBSISTEMA:

Es un conjunto que se aísla dentro del sistema. El sistema puede verse como un subsistema del Universo.

Cada subsistema puede ser tratado dentro del sistema o estudiado en forma aislada.

El comportamiento del **sistema** total depende de:

- 1) El comportamiento de cada **subsistema**.
- 2) Las **relaciones** entre los subsistemas.
- 3) Las relaciones con el mundo exterior, o sea con el **medio ambiente** que lo circunda.

El **sistema** en estudio, puede subdividirse en **subsistemas interconectados**, cada uno de los cuales está compuesto por **elementos interconectados** entre sí.

¹ Ver “La teoría general de Sistemas” de Pedro Voltes Bou, Editorial Hispano Europea
Página 3

El comportamiento del **sistema** dependerá del comportamiento de cada **subsistema**, de sus **relaciones** y del **medio ambiente** donde se lo inserta.

Los **elementos** y las **relaciones** que los ligan entre sí definen los **subsistemas**. Los **subsistemas** y las **relaciones** entre sí definen al **sistema** en estudio.

Las **relaciones** entre los elementos del sistema constituyen la **estructura** del sistema.

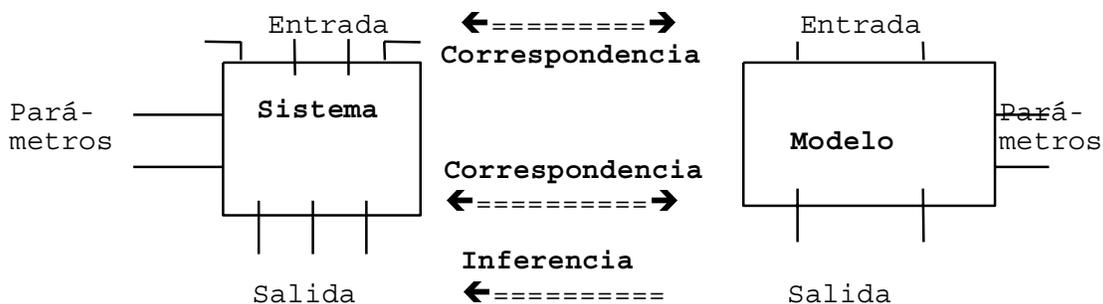
Estas ideas son fundamentales para la **resolución de problemas** que implican la **construcción de modelos**.

Modelo

La **simulación de sistemas** implica la construcción de **modelos**. El objetivo es averiguar que pasaría en el sistema si acontecieran determinadas hipótesis.

Desde muy antiguo la humanidad ha intentado adivinar el futuro. Ha querido conocer qué va a pasar cuando suceda un determinado hecho histórico. La **simulación** ofrece, sobre bases ciertas, esa predicción del futuro, condicionada a supuestos previos.

Para ello se construyen los **modelos**, normalmente una simplificación de la realidad. Surgen de un análisis de todas las variables intervinientes en el **sistema** y de las **relaciones** que se descubren existen entre ellas.



A medida que avanza el estudio del sistema se incrementa el entendimiento que el analista tiene del modelo y ayuda a crear modelos más cercanos a la realidad.

En el **modelo** se estudian los hechos salientes del sistema o proyecto. Se hace una **abstracción de la realidad**, representándose el sistema/proyecto, en un modelo.

El modelo que se construye debe tener en cuenta todos los detalles que interesan en el estudio para que realmente represente al sistema real (Modelo válido). Por razones de simplicidad deben eliminarse aquellos detalles que no interesan y que lo complicarían innecesariamente.

Se requiere pues, que el modelo sea una fiel representación del sistema real. No obstante, el modelo no tiene porqué ser una réplica de aquél. Consiste en una descripción del sistema, junto con un conjunto de reglas que lo gobiernan.

La descripción del sistema puede ser abstracta, física o simplemente verbal. Las

reglas definen el aspecto dinámico del modelo. Se utilizan para estudiar el comportamiento del sistema real.

Como ejemplo de modelo físico se pueden citar los túneles de viento donde se ensayan los aviones, los simuladores de vuelo, los canales de experiencia donde se ensayan los barcos, etc.

Como ejemplo de modelo abstracto, se pueden citar los modelos econométricos donde, entre otras cosas, se pueden ensayar las consecuencias de medidas económicas antes de aplicarlas.

Dado un sistema, son muchas las representaciones que se pueden hacer de él. Depende de las facetas del sistema que interesan en el estudio, de la herramienta que se utiliza en el mismo e incluso de la modalidad personal del que lo construye.

En los modelos deben estar identificadas perfectamente las **entidades** intervinientes y sus **atributos**. Las mismas pueden ser **permanentes** (Ej.: empleados atendiendo) o **transitorias** (Ej.: clientes)

Las acciones provocan **cambios de estado**, es decir, se modifican los atributos de las entidades; se producen los **eventos**.

C. WEST CHURCHMAN en su obra “The Systems Approach” nos resalta que “Todo diseño de sistema se orienta hacia el futuro, especialmente hacia un futuro cercano. Los diseños y modelos que habitualmente se consideran versan sobre la etapa siguiente a la actual.”

Por otro lado existe un Axioma: “el futuro es menos cierto que el presente”

También nos hace una aguda observación: “el pasado es tan difícil de conocer con certeza como el futuro, cosa digna de reflexión en cuanto nos fundamos en datos del pretérito para averiguar el porvenir”

El Planeamiento estático comprende una sola etapa. El planeamiento dinámico contempla múltiples etapas.

Para predecir el futuro se postula lo siguiente:

- La actividad de estimar lo sucedido en lo pasado es separable de la actividad a estimar de lo que ha de suceder en lo futuro. Es decir, el análisis del futuro es separable del análisis del pasado.
- Cualquier estimación específica de lo ocurrido en el pasado puede ser evaluada conforme a una escala que va desde valores negativos pasando por cero a valores positivos (hay hechos que inciden negativamente, otros que no inciden y otros que inciden positivamente para que ocurra algo).
- El conocimiento del futuro es posible

Se habla de causa-efecto bidireccional. Se dice que la variable X se usa para predecir Y (No se dice: “X es causa de Y”).

En forma general para predecir Y en función del conjunto X_i de variables independientes:

$$Y = g(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

Surgen dos errores para realizar la predicción de Y :

- Error de ecuación: mal expresada la relación
- Error de medida: mal evaluada las variables independientes.

También debería tenerse en cuenta la libertad del comportamiento humano, el cual:

- No se comporta siempre de la misma manera
- Sabe lo que tiene que hacer pero no sabe que es lo que haría si realmente tuviera que actuar.

John W. SUTHERLAND señala que prácticamente todos los fenómenos del mundo real pueden ser modelizados según cuatro direcciones de análisis:

- El nivel de las variables de estado, donde se trata de investigar los principales aspectos estructurales o cualitativos del sistema
- El nivel paramétrico, que implica la asignación de valores numéricos específicos a las variables de estado
- El nivel de las relaciones, que implica establecer la naturaleza de las relaciones entre las variables de estado, y
- El nivel de los coeficientes en que se asignan valores numéricos específicos a los conjuntos de las variables de estado.

El que va a tomar la decisión percibe en forma real, o aparente, una identidad efectiva entre el estado real del sistema y el postulado. Al percibirla toma la decisión, de lo contrario comienza el análisis para lograr esa identidad².

A posteriori se hace un análisis de informaciones comparando lo previsto con lo real para el instante t y el instante $t-1$. Mientras perciba una diferencia entre lo postulado y lo real continuará el proceso de análisis. Cuando logre la identidad procederá a tomar su decisión.

Tenemos un planteo teórico general que nos permite inferir el futuro en base al conocimiento del presente y la influencia del pasado en un modelo válido (identificación entre lo real y lo postulado).

En las decisiones existen sistemas donde prima:

- El **determinismo**. La base de datos y las relaciones causales son altamente específicas y precisas respecto del fenómeno contemplado. Sólo se espera que haya uno y sólo un acontecimiento probable, que repetirá situaciones anteriores. Se tiene una identidad efectiva entre los estados a priori y los que realmente se producen. Los instrumentos de análisis correspondientes son: modelos de análisis de estados de los sistemas finitos; programación lineal y modelos de máx. Y mín.; análisis de la regresión, de la correlación, análisis de series temporales y espectrales, con tratamiento exógeno del error, si es que lo hay.
- Una Estocasticidad moderada: la variación de las variables y parámetros

² El ser humano tiene restricciones de tiempo que muchas veces le obligan a decidir sin percibir esta identidad, es decir, sin tener elementos de juicio que le indiquen con certeza cuál es la mejor decisión.

intervinientes tienen un margen pre-especificado y manejable. El error es manejado endógenamente ya que la estructura de nuestras formulaciones es esencialmente determinista. Las técnicas de análisis correspondientes son: procesos de Markov; procesos de inferencia estadística; procesos de estimación bayesiana; procesos de estimación dentro de un margen; técnicas de aproximación numérica (funciones de Taylor); análisis del estado del sistema finito; "shock models": los econométricos y psicométricos que no tratan el error específicamente.

- Una Estocasticidad intensa: Acontecimientos significativamente diferentes cada uno de los cuales pueden suceder y conducir a futuros altamente diferenciados. Se emplean modelos basados en teoría de juegos, técnicas de análisis de estados de sistemas estocásticos, algoritmos de programación adaptativa o dinámica (usualmente bayesianos), modelos de redes neuronales y técnicas de simple simulación.
- Indeterminismo: No se pueden establecer a priori las relaciones causales. No existen datos relevantes. Para avanzar el estudio se basa en construcciones teóricas generales que no hayan sido invalidadas por la experiencia. Se emplea un análisis deductivo, la simulación estocástica y la programación heurística para dar disciplina a las investigaciones empíricas (ver "La teoría general de sistema" de Pedro Voltes Bou).

Son muchos los tipos de modelos en que se pueden representar los sistemas reales. A continuación se dará una clasificación al sólo efecto de ejemplificar con tipos de modelos de uso común.

CLASIFICACION DE LOS MODELOS

Existen múltiples tipos de modelos para representar la realidad. Algunos de ellos son:

- **Dinámicos:** Utilizados para representar sistemas cuyo estado varía con el tiempo.
- **Estáticos:** Utilizados para representar sistemas cuyo estado es invariable a través del tiempo.
- **Matemáticos:** Representan la realidad en forma abstracta de muy diversas maneras.
- **Físicos:** Son aquellos en que la realidad es representada por algo tangible, construido en escala o que por lo menos se comporta en forma análoga a esa realidad (maquetas, prototipos, modelos analógicos, etc.).
- **Analíticos:** La realidad se representa por fórmulas matemáticas. Estudiar el sistema consiste en operar con esas fórmulas matemáticas (resolución de ecuaciones).
- **Númericos:** Se tiene el comportamiento numérico de las variables intervinientes. No se obtiene ninguna solución analítica.
- **Continuos:** Representan sistemas cuyos cambios de estado son graduales. Las variables intervinientes son continuas.
- **Discretos:** Representan sistemas cuyos cambios de estado son de a saltos. Las variables varían en forma discontinua.
- **Determinísticos:** Son modelos cuya solución para determinadas condiciones es única y

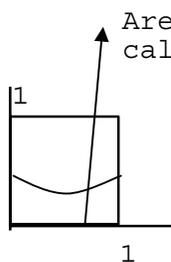
siempre la misma.

- **Estocásticos:** Representan sistemas donde los hechos suceden al azar, lo cual no es repetitivo. No se puede asegurar cuáles acciones ocurren en un determinado instante. Se conoce la probabilidad de ocurrencia y su distribución probabilística. (Por ejemplo, llega una persona cada 20 ± 10 segundos, con una distribución equiprobable dentro del intervalo).

Es interesante destacar que algunas veces los modelos y los sistemas no pertenecen al mismo tipo.

Por ejemplo:

- El estudio del movimiento del fluido por una cañería (Fluidodinámica) corresponde a **sistemas continuos**. Sin embargo si el fluido se lo discretiza dividiéndolo en gotas y se construye un **modelo discreto** por el cual circulan gotas de agua (una, dos, diez, cien, mil) se está representando un sistema continuo por un modelo discreto.
- La obtención del área bajo la curva representada por $f(x,y)=0$ para el rango $0 \leq x \leq 1$ con $0 \leq y \leq 1$ en todo el intervalo, es un **problema determinístico**. Sin embargo, para un número N, suficientemente grande de puntos, de coordenadas x,y generadas al azar ($0 \leq x \leq 1$; $0 \leq y \leq 1$) el área de la curva, aplicando el método de **Monte Carlo**, es igual a:



$$\text{AREA} = \frac{n}{N}$$

n es la cantidad de puntos que caen dentro del área que se quiere calcular
N es la cantidad total de puntos

En este caso, mediante un **modelo estocástico** se resuelve un **sistema determinístico**.

- El **azar** en computadora es **pseudo azar**:

Mediante un algoritmo matemático se generan números al azar con una distribución aleatoria similar a la real. Se los puede utilizar en los modelos estocásticos obteniendo similares resultados a los que se obtienen en el sistema real. Sin embargo, este azar es repetitivo (cualquiera que conoce el algoritmo puede predecirlo) lo cual contradice a lo que sucede en un proceso aleatorio.

En este caso, un **sistema estocástico** es representado por un **modelo pseudoazar** (determinístico).

Simulación

Construido el modelo, se ensaya una alternativa en él con el fin de aplicar las conclusiones al sistema. Los resultados obtenidos no tienen valor si no son aplicables al sistema.

La simulación tiene como principal objetivo la predicción, es decir, puede mostrar lo que sucederá en un sistema real cuando se realicen determinados cambios bajo determinadas condiciones.

La **simulación se emplea sólo cuando no existe otra técnica** que permita encarar la resolución de un problema. Siempre **es preferible emplear una alternativa analítica antes que simular**. Lo anterior **no implica que una opción sea superior a otra**, sino que los campos de acción no son los mismos. Mediante la simulación se han podido estudiar problemas y alcanzar soluciones que de otra manera hubieran resultado inaccesibles.

La simulación involucra dos facetas:

- 1) Construir el modelo
- 2) Ensayar diversas alternativas con el fin de elegir y adoptar la mejor en el sistema real, procurando que sea la óptima o que por lo menos sea lo suficientemente aproximada.

FASES QUE COMPRENDE TODO ESTUDIO QUE UTILIZA LA SIMULACION

1) Definición del sistema con el máximo de detalle

Se debe evitar comenzar a trabajar en la construcción del modelo con un sistema superficial, mal concebido. ¡Se perderán horas hombre y de computadora en tareas inútiles!.

Es un principio comprobado de organización que la incidencia de un error en un proyecto aumenta dramáticamente con el instante en que se lo descubre. Es decir, cuánto más se demora en detectarlo mucho más complicada es su corrección.

Se debe discutir en detalle el sistema; analista y usuario reunidos durante largas horas evitarán que el sistema tenga que ser redefinido después.

En esta etapa se definen los límites del sistema y los objetivos del estudio, chequeando que estos no cambien durante el desarrollo del mismo.

Deben tenerse en cuenta las condiciones iniciales del sistema y sus condiciones de régimen. Interesa estudiarlo ya en régimen y no inicialmente cuando los recursos están desocupados y favorecen el movimiento de los elementos por el sistema.

El modelo debe considerar qué resultados estadísticos interesan obtenerse para evaluar correctamente al sistema en estudio.

Ejemplos: tiempos en cola, longitudes de las colas que se forman en los distintos sectores, tiempo que está cada cliente en el sistema, promedios, desviaciones standard, etc.

2) Elección del método para realizar el estudio

- Búsqueda de la herramienta analítica de resolución.
- Adopción de la misma en caso de encontrarla.
- Utilización de la simulación como última alternativa.

3) Variables a incluir en el modelo

¿Qué variables, parámetros se incluyen? ¿Cuáles se desprecian por su irrelevancia?. La elección no es sencilla.

Conviene hacer un ranking de las variables y restricciones del sistema en orden de importancia.

Este ranking debe ser discutido con el usuario y con los distintos especialistas a fin de proceder a su verificación y eventual corrección.

Se debe recordar que quitar una variable superflua de un sistema es algo bastante sencillo, mientras que incluir una que se había despreciado es de ordinario mucho más complicado.

Tomar debida cuenta de los casos especiales ¡muchas veces estos obligan a tener en cuenta variables despreciables para el resto de los casos!.

Esta selección de variables a considerar depende de la mecánica con que se maneja el sistema, de la experiencia que se tenga de él e incluso de la intuición del grupo humano que interviene en el estudio.

Se debe evitar una sobresimplificación que invalida al modelo en cuanto se lo quiere ensayar con casos especiales, o una sobreespecificación que hace largo y difícil el trabajo de construir el modelo.

Todas las variables que intervienen en un modelo son medibles. No siempre es posible lo mismo con las que intervienen en un sistema real. Muchas veces se debe hacer una estimación de las mismas con el fin de incorporarlas en el modelo.

Existen variables **endógenas** (internas y controladas por el sistema) y **exógenas** (externas al sistema y fuera de su control).

Existen variables **cualitativas**, como la preferencia personal y **cuantitativas** como la frecuencia con que arriban los clientes a un banco. Todas deben ser estimadas en términos cuantitativos.

4) Recolección y análisis de los datos del sistema

Definidas las variables intervinientes en el sistema es habitual que existan muchas variables estocásticas.

Para esas variables se debe disponer de:

- la densidad de probabilidad o
- la función de distribución acumulativa en forma matemática o
- una tabla de valores del comportamiento de la variable.

Se utiliza para ello todas las herramientas estadísticas clásicas, tales como, análisis de regresión, de serie de tiempos y de varianzas.

Se debe hacer un relevamiento del tiempo que se insume en las distintas tareas tratando de no obtener datos distorsionados producto de la medición (la persona trabaja más rápido o más lento debido a que lo están midiendo y le parece más conveniente mostrarse en forma distorsionada).

Si se tiene el valor medio de una medición y no se conoce su distribución, es preferible adoptar una distribución exponencial que una uniforme, pues en la primera, pueden darse situaciones críticas que no se dan en la segunda.

El tiempo empleado validando los datos de entrada está totalmente justificado y es absolutamente necesario para construir un modelo válido sobre el cual se puedan sacar conclusiones aplicables al sistema real.

5) Definición de la estructura del modelo

Se definen:

- Las **entidades permanentes** y sus atributos, es decir, los recursos con que se cuenta en el sistema y cuantitativamente cómo es su comportamiento.
- Las **entidades transitorias** que circulan por el modelo tienen definida probabilísticamente su ruta por el sistema y los tiempos de utilización de los recursos.
- Los **eventos** que provocan los **cambios de estado**, modificando los atributos de las entidades.

Se debe diseñar el modelo de manera que los cambios en su estructura estén en cierto modo previstos.

6) Programación del modelo

Objetivo: obtención del programa de computadora que representa el modelo.

Se debe elegir el lenguaje con que se construirá el modelo.

Una vez elegido, se lo utiliza para construir el modelo, que debe representar fielmente todo lo que ha sido relevado del sistema.

7) Validación del modelo

Aunque imposible de demostrar rigurosamente se trata de verificar al modelo con una serie de situaciones conocidas como para tener un alto grado de confiabilidad.

8) Análisis y crítica de los resultados

Paso previo a la entrega de resultados al usuario se debe:

- Verificar que los resultados obtenidos sean realmente **suficientes** para tomar una correcta decisión.
- Hacer una buena **compactación** en la presentación de los mismos procurando que sean perfectamente **comprensibles** para el usuario.
- Recordar que un **exceso** de información ocasiona casi los mismos inconvenientes que la **falta** de información, ya que el usuario en ambos casos no puede acceder a los resultados que necesita como apoyo a la **toma de decisiones** (en un caso porque no sabe como accederlos, en el otro porque no los tiene).
- Estudiar la **factibilidad**, y, en caso afirmativo, proponer una alternativa que signifique un cambio estructural del sistema y por ende del modelo la que se considera digna de tener en cuenta antes de tomar una decisión definitiva.

SIMULACION: ¿ARTE O CIENCIA?

Simular es un arte, una ciencia "soft", ya que la utilidad de esta técnica depende mucho de la experiencia que tenga el grupo humano que realiza la simulación.

- Hasta ahora no hay teoría científica que garantice la validez del proceso de simulación antes que este se realice.

Para validar el modelo se ensayan alternativas conocidas (vivas realmente) y se comparan los resultados. La coincidencia de los mismos hablarán de la validez del modelo para representar el sistema real.

Si los resultados que el modelo arroja sobre una de esas alternativas vivas no coinciden con los reales quedará demostrada la invalidez del modelo. Lo contrario no es cierto. Aún cuando haya coincidencia de resultados en una cantidad grande de pruebas no es posible afirmar que lo será para la totalidad de los ensayos.

Es interesante adoptar como criterio de trabajo el hacerse una idea de los resultados de un ensayo antes de realizar el mismo

Ejemplo: en la ventanilla de informes se produce un cuello de botella con 10 personas término medio en cola, en las cajas hay como máximo tres personas en cola, una persona

demora unos 10 minutos en hacer el trámite.

Al tenerse los resultados se los juzgará más imparcialmente, evitando aceptarlos porque "la máquina así lo puso y no se equivoca". Teniendo los resultados de antemano hay obligación de aceptar la discrepancia y por consiguiente exigir modificar el modelo de manera que esta no se produzca.

- Una vez construido un modelo, fiel representación de un sistema, es posible crear una historia artificial del sistema simulando aquellos hechos cuya impicancia se desea observar, examinar e incluso prevenir.

El conjunto de estas alternativas brinda la posibilidad al que realiza los ensayos de llegar a ser un conocedor experimentado del sistema (sin que este tenga necesidad de existencia real).

Ejemplo: Los simuladores de vuelo. Da experiencia en situaciones de emergencia e incluso de catástrofe, midiendo y mejorando la pericia del piloto (por supuesto, que las condiciones de "stress" no son las mismas, lo cual puede alterar la validez de los resultados obtenidos).

- Una mala selección de alternativas a ensayar puede dar una experiencia inútil o magra.

VENTAJAS DE LA SIMULACION

- Permite:
 - Adquirir una rápida experiencia a muy bajo costo y sin riesgos. No se compromete la confiabilidad del sistema en los ensayos (las aglomeraciones, las largas demoras son simuladas y no reales).
 - Identificar en un sistema complejo aquellas áreas con problema ("cuellos de botella")
 - Un estudio sistemático de alternativas (variaciones uniformes en los parámetros intervinientes imposibles de lograr en un sistema real).
 - Utilizarse en "training" para gerentes/ejecutivos. Un modelo de "juego de empresas" les permite probar sus medidas en el modelo y ver sus resultados luego de pasado el período simulado. Se repite el proceso durante varios períodos y cada ejecutivo observa los resultados de sus decisiones. Se analizan errores, se comparan estrategias hallando ventajas y desventajas de cada una. Excelente herramienta para instrucción y entrenamiento de ejecutivos.
 - Ensayar estrategias de guerra, faceta donde primero se empleó la simulación (operaciones de guerra en las llamadas maniobras).

En los "juegos de guerra" los oficiales superiores ensayan operaciones de las fuerzas armadas en los campos de batalla. Analizados los resultados se ensayan nuevas operaciones hasta completar la batalla o incluso la guerra. Permite, al igual que el "juego de empresas", analizar errores y comparar estrategias. Todo ello realizado a

bajísimo costo.

- No tiene límite en cuanto a complejidad. Cuando la introducción de elementos estocásticos hace imposible un planteo analítico surge la modelización como único medio de atacar el problema. Todo sistema, por complejo que sea, puede ser modelizado, y sobre ese modelo es posible ensayar alternativas.
- Puede ser aplicada para diseño de sistemas nuevos en los cuales se quieren comparar alternativas muy diversas surgidas de utilización de diferentes tecnologías. Puede utilizarse, durante la vida de un sistema, para probar modificaciones antes que estas se implementen (si es que los resultados de la simulación aconsejan su uso).

DESVENTAJAS DE LA SIMULACION

- No se lo debe utilizar cuando existan técnicas analíticas que permitan plantear, resolver y optimizar todo el sistema o alguna parte del mismo.

Existe un gran deseo de incluir todo en la simulación donde los resultados son visibles y comprendidos por todas las personas (especialistas o no), las cuales gustan hacer ensayos.

- No es posible asegurar que el modelo sea válido:

Se corre el riesgo de tomar medidas erróneas basadas en aplicar conclusiones falsas obtenidas mediante un modelo que no representa la realidad.

- No existe criterio científico de selección de alternativas a simular (Estrategia).

Es posible omitir una buena sugerencia de innovación simplemente porque a nadie se le ocurrió ensayarla.

- Existe el riesgo de utilizar un modelo fuera de los límites para el cual fue construido, queriendo realizar ensayos para el cual el modelo no es válido.

Es posible elaborar todo un gran andamiaje de pruebas y resultados falsos, basados en un modelo confiable y válido bajo otras condiciones.

Simulación por computadora

LA COMPUTACION HERRAMIENTA IMPORTANTE PARA SIMULAR

El advenimiento de las computadoras significó un gran empuje para la utilización de la simulación como auxiliar importante en la concreción de proyectos.

Realizado el programa que representa al sistema que se quiere estudiar, ensayar alternativas no es otra cosa que dar los datos a la máquina para que esta imprima los resultados.

Utilizando los lenguajes de programación de uso universal (FORTRAN, PASCAL, BASIC, COBOL, ALGOL, PL/I, etc.) la construcción de modelos no es sencilla.

En cambio, si se usa un **lenguaje orientado a la simulación** (preparado para construir modelos donde se pueda simular) el esfuerzo, según se estima, se reduce a la décima parte.

Un lenguaje orientado a la simulación debe manejar:

- 1) **Fácilmente al modelo**, permitiendo el ensayo de alternativas.
- 2) **El tiempo "simulado"** (meses, días, horas, segundos, milisegundos).
- 3) **Eventos**, es decir, acciones que provocan los cambios de estado:
Los **cambios de estado** se materializan por dos eventos:
 el de comienzo y el de finalización.
La **acción** está definida por:
 instante de comienzo y duración.
El **lenguaje** se encarga de hacer finalizar la acción.
- 4) **Variables random** fácilmente definibles, generadas en forma automática por el lenguaje.
- 5) **Acumulación/cálculo/impresión de estadísticas** de las entidades intervinientes en el sistema.
- 6) El **estado del sistema** en cualquier instante (imprimiéndolo en caso necesario).
- 7) La **extensión del período** de simulación.

LENGUAJES ORIENTADOS A LA SIMULACION

Citados por orden de aparición:

- 1) **General Purpose Simulation System (GPSS)** desarrollado por Geoffrey GORDON (IBM) tuvo su primera versión en 1961, desarrollada en lenguaje de máquina. Actualmente existe también una versión para PC (desarrollada por Minuteman Software).
- 2) **SIMSCRIPT**, desarrollado por B. DIMSDALE, H. M. MARKOWITZ, B. HAUSNER, y H. W. CARR (RAND Corporation) tuvo su primera versión en 1962. Originalmente estuvo basado en FORTRAN.
- 3) **SIMULA**, desarrollado por O.J. DAHL y K. NYGAARD (NORWEGIAN COMPUTING CENTER, OSLO) tuvo su primera versión en 1965. Desarrollado como una extensión de ALGOL.
- 4) **SIMPL/I** un lenguaje de simulación basado en PL/I, introducido por IBM en 1972.

También pueden citarse:

- 1) A General Activity Simulation Program (**GASP**), basado también en lenguaje FORTRAN. Fue desarrollado por Philip J. KIVIAT y puede ser utilizado en cualquier máquina que posea compilador FORTRAN.
- 2) **SIMULATE**, lenguaje escrito en FORTRAN IV, por Charles C. HOLT y otros colaboradores del SOCIAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, de la Universidad de WISCONSIN, utilizado para construcción de modelos econométricos, los que contienen mecanismos complejos de retroalimentación.
- 3) General Simulation Program (**GSP**), desarrollado por el Dr. K. D. TOCHER y sus colegas de la empresa UNITED STEEL COMPANIES LTD de INGLATERRA (1960) escrito para la computadora Ferranti Pegasus y la Elliot 503, se usó en Europa y el Reino Unido. Posteriormente para la máquina Elliot surgió el **ESP** desarrollado para ALGOL y para la Ferranti Pegasus I el **MONTECODE** (usado para planeamiento industrial).
- 4) Control and Simulation Language (**CSL**), un lenguaje desarrollado en base a FORTRAN por John BUXTON, extendido por Alan CLEMENTSON.

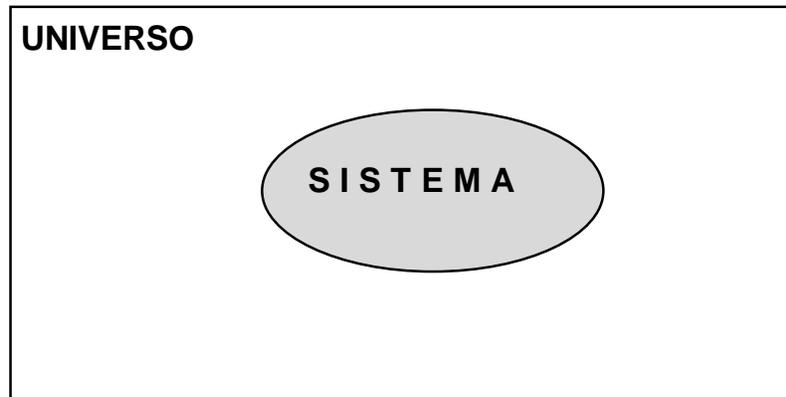
En modelos representados por ecuaciones, se puede citar:

- 1) **DYNAMO** (Dynamic Models), desarrollado por Phyllis FOX y Alexander L. PUGH del MASSACHUSETTS INSTITUTE of TECHNOLOGY (M.I.T.) Utiliza ecuaciones diferenciales de primer orden para aproximar procesos continuos. Es apropiado para simular cierto tipo de sistemas dinámicos de información con retroalimentación, definibles con un conjunto de ecuaciones de diferencias finitas. Se lo ha usado mucho para simular sistemas económicos de gran escala (modelos econométricos); se lo puede usar en modelos biológicos, físicos y sociales.
- 2) **CSMP** (Continuos System Modeling Programs), desarrollado por IBM, en una mezcla con FORTRAN; **DSL/90** (Digital Simulation of Continuos Systems); **MIMIC**; **BHSL** (Basic Hytran Simulation Language); **DIHYSYS** para Borroughs B5500 son lenguajes orientados a resolver problemas planteados con ecuaciones diferenciales.

BIBLIOGRAFÍA:

- "A General Purpose Simulation Program", Geoffrey Gordon.
- *La teoría general de sistemas*, Pedro VOLTES BOU. Editorial Hispano Europea
- *Simulation with GPSS and GPSS V*, BOBILLIER-KAHAN y PROBST. Prentice Hall.
- *Técnicas de Simulación en Computadoras*, NAYLOR-BALINTFY-BURDICK-KONG CHU. Editorial Limusa Mexico.

RESUMEN ESQUEMATICO DE LOS CONCEPTOS PRINCIPALES



SISTEMA: Conjunto de elementos que interactúan entre sí que se aíslan del Universo para su estudio.

La **complejidad** de los sistemas es una regla y no una excepción. Aumenta dramáticamente año tras año, instante a instante.
Existe una necesidad imperiosa de hacer estudios previos antes de implementar nuevos sistemas o modificar a los ya existentes. Para ello se representa a los sistemas teniendo en cuenta aquello que es importante para lo que estoy estudiando. Se simplifica así el problema, acotándolo por lo que es objeto de mi interés.

Es decir:

Se aísla lo que se quiere estudiar → se define el sistema.

Se lo representa para estudiarlo → se construye el modelo.
(se tiene en cuenta lo relevante)

Se realizan ensayos en el modelo → se simula.

Se sacan conclusiones → se infiere lo que va a pasar.

Se estudian las conclusiones → se aconseja la mejor alternativa.

La simulación predice el futuro ante hipótesis ciertas (Si pasa esto y aquello sucederá que...)

La simulación puede fracasar por:

- Modelo inválido: no representa fielmente al sistema en estudio.
- Mala estrategia en la selección de alternativas: al aconsejar la mejor se aconseja la “menos mala” que está lejos de la mejor.

Muchos casos en los que hay concordancia entre el comportamiento del modelo y el sistema real no aseguran la validez del modelo; basta un solo caso en que el modelo no se comporta

como el sistema real para afirmar que el modelo es inválido.