

TEMA I : INTRODUCCIÓN A LA SIMULACION

1. INTRODUCCIÓN

2. SIMULACIÓN

3. TAXONOMÍA Y ESTUDIO.

3. EVOLUCIÓN DEL CONCEPTO Y SOFTWARE.

4. VENTAJAS E INCONVENIENTES.

5. DOMINIOS.

**6. HERRAMIENTAS EN LA INDUSTRIA. INVESTIGACIÓN Y
DOCENCIA.**

7. ETAPAS EN LA IMPLEMENTACIÓN.

INTRODUCCIÓN

La creciente capacidad de las computadoras y la inmensa investigación en el campo de la Ciencia de la Computación otorgan nuevas herramientas para apoyar el proceso de la toma de decisiones en diversas disciplinas y áreas de diseño y manejo de la industria. La Simulación es una de las herramientas más importantes y más interdisciplinarias. En pocas palabras podemos decir, que la simulación actúa cuando el ordenador "finge" ser una tienda, un avión o un mercado. El usuario define la estructura del sistema que quiere simular. Una ejecución del programa de simulación correspondiente le dice cual será el comportamiento dinámico de su empresa o de la maquina que está diseñando. Así podemos ver los pronósticos para la demanda y utilidad de nuestro producto, o ver cuando un mecanismo pueda fallar en las condiciones adversas del ambiente donde funcionará.

Las aplicaciones de la simulación parecen no tener límites. Actualmente se simulan los comportamientos hasta las partes más pequeñas de un mecanismo, el pronóstico del tiempo (<http://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/modelosnumeros/hirlam>), el desarrollo de las epidemias, el sistema inmunológico humano, las plantas productivas, sucursales bancarias, el sistema de repartición de pizzas en grandes ciudades, crecimiento de poblaciones de especies de animales, partidos y torneos de fútbol, movimiento de los planetas y la evolución del universo, para mencionar unos pocos ejemplos de las aplicaciones de esta herramienta. Cabe mencionar la creciente importancia de la Simulación en la Investigación de operaciones y en sus aplicaciones industriales. En los países altamente desarrollados la simulación es una herramienta principal en los procesos de toma de decisiones, en el manejo de empresas y la planificación de la producción. Además, la Simulación es cada vez

más “amigable” para el usuario, que no tiene que ser un especialista en computación.

Como el Dr. Ralph Huntsinger, ex-presidente de la “Society for Computer Simulation” y Presidente del Instituto McLeod de las Ciencias de Simulación dijo en sus presentaciones en el Primer Simposio sobre la Simulación por Computadora y la III Conferencia sobre Simulación por Computadora (Universidad Panamericana, Noviembre 1992 y 1995):

***!LA SIMULACIÓN ES ÚTIL Y DIVERTIDA;
¡DISFRUTE SUS VENTAJAS;***

1. SIMULACIÓN

Muchas veces habremos oído la palabra simulación, sin entender plenamente su significado. Una definición formal podría ser: *“La práctica de generar modelos para representar un sistema del mundo real o hipotéticos mundos futuros, experimentando con él para explicar el comportamiento del sistema, mejorar su funcionamiento o diseñar nuevos sistemas con características deseables”*. ¿Qué hay tras esta definición?. Una actividad que, de una manera no profesional, todos realizamos día a día.

Se define la *simulación de sistemas* como una técnica que resuelve simultáneamente las ecuaciones de un modelo matemático a valores crecientes de tiempo.

La técnica de simulación no pretende resolver analíticamente las ecuaciones de un modelo matemático. Por tanto, los modelos construidos para fines de simulación serán de naturaleza muy distinta a los formados para técnicas analíticas. Como consecuencia, el conjunto de restricciones

impuestas en el análisis del modelo mediante simulación será menor que el correspondiente a las técnicas analíticas.

La construcción de un modelo de simulación es pues mucho más libre. Sin embargo, es necesario formar y organizar las ecuaciones dinámicas de tal manera que se puedan utilizar los procedimientos de tipo iterativo empleados en simulación para la resolución simultánea de las mismas.

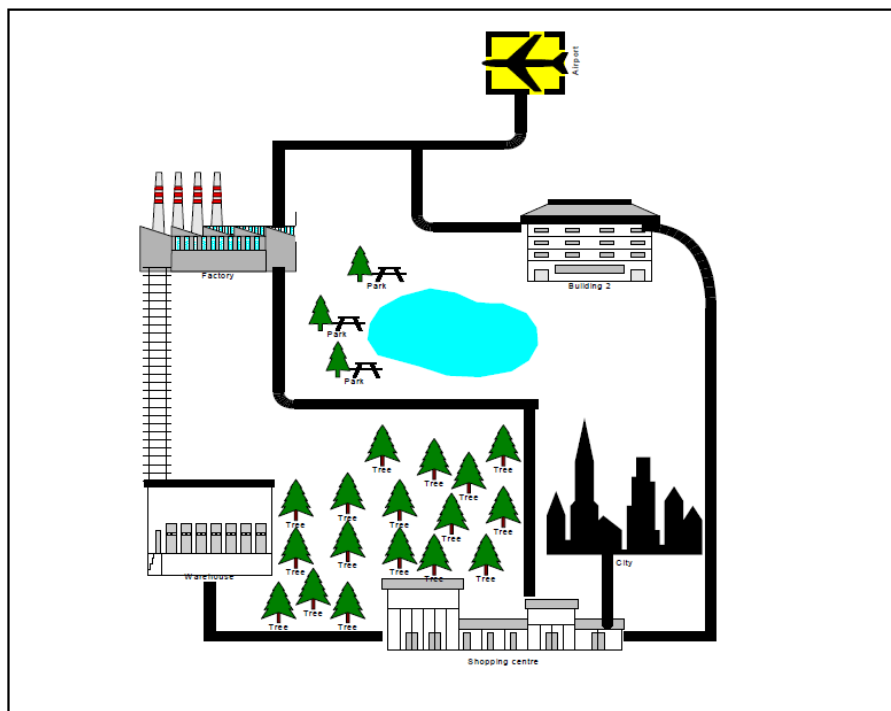


Figura 1: Sistema real a modelar

La simulación de Sistemas Continuos y Discretos requiere la utilización de ecuaciones diferenciales y ecuaciones en diferencias respectivamente para su descripción. Para los Sistemas de Eventos Discretos se utilizarán un conjunto de ecuaciones lógicas que expresen las condiciones para que ocurran determinados eventos.

¿Cuándo se debe utilizar la Simulación?

Cuando realizamos cualquier acción, normalmente la simulamos anteriormente de una forma mental, como cuando movemos un mueble en una habitación. Antes nos imaginaremos el movimiento del mueble y cual serán las acciones mejores para realizar este movimiento. Pues esta acción tan habitual es lo que llamamos simulación ('Simulación' es la resolución de un modelo lógico-matemático, resuelto fundamentalmente mediante métodos numéricos).

Su utilización a nivel profesional se viene realizando desde hace aproximadamente medio siglo, auspiciado por el crecimiento de los ordenadores, que hacían posible la realización de muchas operaciones matemáticas, fundamentales en la simulación, y ha ido creciendo con el paso de los años, llegando a convertirse en una herramienta de uso fundamental en la industria e investigación, por una serie de ventajas frente a otros métodos tradicionales que enumeraremos más adelante.

Conviene precisar que la simulación no se restringe al uso de computadoras, y se puede aplicar de muchos modos, aunque el uso de éstas es el principal. Tomemos por ejemplo un túnel de viento, donde se prueban aviones, y todo tipo de material aerodinámico. En este caso estamos simulando el comportamiento, por ejemplo, de un avión, en una tormenta dentro de nuestro túnel de viento. Sin embargo, es mucho más sencillo incluso económico, reproducir en un ordenador los fenómenos físicos asociados al vuelo del avión y realizar la simulación en una computadora.

De todos modos, la simulación va unida fielmente al desarrollo de las otras ciencias, y no es posible simular aquello que no se puede estudiar adecuadamente, de modo que en algunas situaciones la simulación no es una situación posible.

⇒ Los sistemas simulados son de Entrada-Salida.

Por otro lado debemos tener en cuenta que los sistemas simulados son de Entrada-Salida. Estos sistemas nos darán una salida para unos datos iniciales que nosotros debemos suministrar.

Por ello son incapaces de generar una solución por sí mismos. Sólo pueden servir como herramienta para el análisis del comportamiento de un sistema en condiciones especificadas por el experimentador.

⇒ EN ORDENADORES DE INVESTIGACIÓN Y EN ANÁLISIS DE SISTEMAS:

- 1) La simulación permite el estudio y la experimentación de interacciones de un sistema complejo o de un subsistema incluido en un sistema complejo.
- 2) Se pueden combinar la información, la organización o el entorno mediante simulación y observar el efecto de estas alteraciones en el comportamiento de un sistema.
- 3) El conocimiento adquirido durante el diseño de un modelo de simulación puede ser de gran valor a la hora de sugerir mejoras en el sistema.
- 4) Mediante el cambio de las variables de entrada se obtiene información sobre las más importantes y cómo interactúan entre ellas.
- 5) Validación de soluciones analíticas como recurso pedagógico para reforzar metodología de solución analítica.
- 6) Experimentar con nuevos diseños y políticas para su implementación o para preparar FUTURO.

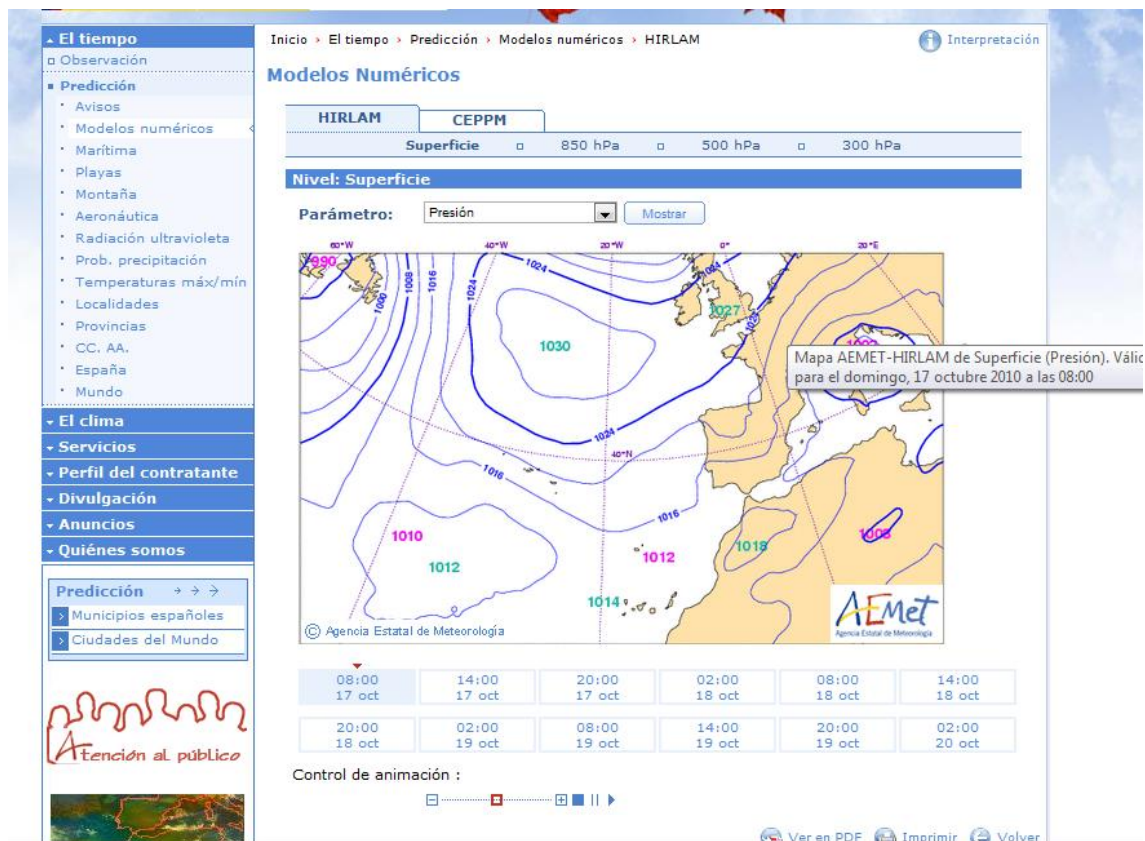


Figura 2: Modelos numéricos en meteorología

2. CLASIFICACIÓN DE SIMULACIÓN.

- **Simulación Analógica.**

La Simulación Analógica emplea computadores analógicos y las variables del sistema son continuas, estando representadas en las tensiones de los amplificadores operacionales. La forma de operación es en paralelo, al producir el computador todas las variables del sistema simultáneamente. Esto hace posible la simulación en tiempo real.

La programación es realizada interconectando integradores, sumadores y potenciómetros que resuelvan la ecuación diferencial del sistema.

Ejemplo: Sistema de suspensión con ecuación diferencial.

$$M.\ddot{x} + D.\dot{x} + kx = F(t)$$

El circuito que simula este sistema se describe en la siguiente figura:

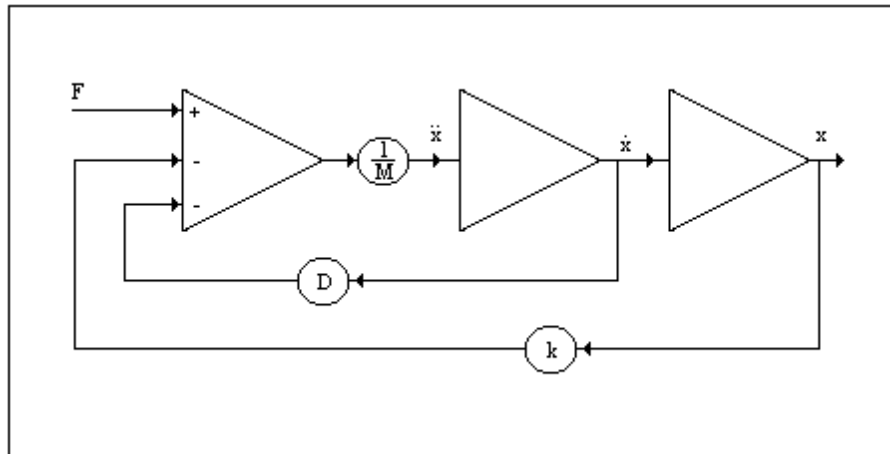


Figura 3: Simulación analógica del sistema de suspensión

El inconveniente de la simulación analógica está en que necesita un escalado de magnitudes previo a la implementación del circuito simulador con el fin de no saturar los amplificadores operacionales, provocando de esta forma una falta de flexibilidad.

- **Simulación Digital.**

La Simulación Digital emplea el computador digital resolviendo el modelo matemático del sistema de forma numérica. Las variables del sistema son definidas en tiempo discreto, a diferencia de la simulación analógica, esto es, en intervalos específicos de tiempo y están representadas por una combinación de bits.

La programación tradicional se realiza de forma secuencial siendo pues este tipo de simulación capaz de resolver problemas en tiempo real.

Ejemplo: Simulación del sistema con ecuación diferencial.

$$\dot{x} + ax = r(t) \quad \text{con } x(0) = 0$$

ante una entrada $r(t)$ de tipo escalón unitario.

La discretización de la variable $r(t)$ en la serie $r(k)$, $k = 0, 1, \dots, N$ y la resolución numérica de la ecuación diferencial conducen a:

$$x_{i+1} = x_i - aTx_i + T.r_i$$

siendo 'T' el periodo de discretización e integración. La resolución de la ecuación del sistema se transforma en una resolución iterativa fácilmente implementable en un computador.

No posee el inconveniente del escalado al utilizarse la aritmética del punto flotante, pero sin embargo, sí se necesitan utilizar convertidores A/D y D/A, pues resultarán errores de cuantificación, aparte del efecto del muestreo.

- **Simulación Híbrida.**

La Simulación Híbrida combina los anteriores tipos de simulación y se basa en la utilización óptima de los elementos de computación analógicos y digitales. Una interface formada por convertidores A/D y D/A permite la comunicación entre ambos elementos, según aparece en la siguiente figura:

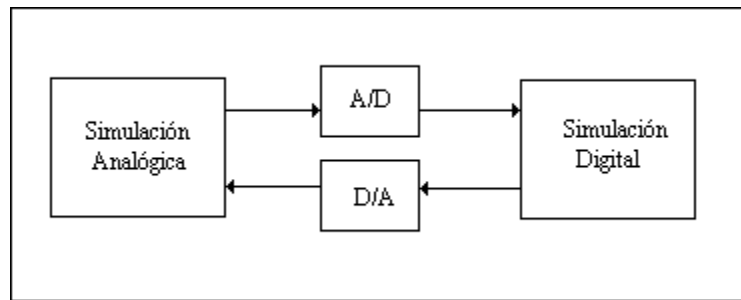


Figura 4: Interface de simulación híbrida

La sección analógica se encarga de simular la parte dinámica de la simulación incluyendo integración, mientras la sección digital realiza los cálculos imposibles de efectuar la sección analógica.

Permite que la realización de la simulación sea efectuada en tiempo real, pero tiene como inconveniente la dificultad de programar ambas secciones.

Entre los tres tipos de simulación se utilizará la digital debido fundamentalmente al avance surgido en los computadores digitales en lo que se refiere a incremento de velocidad y potencia de cálculo, añadiéndose además la posibilidad de utilización de procesamiento en paralelo.

CLASIFICACIÓN SEGÚN LA VARIABLE:

- * Estático: (Monte-Carlo) Representa un sistema en un determinado instante de tiempo.
- * Dinámico: Variable con el tiempo.
- * Deterministas: No contienen variables aleatorias: poseen un número conocido de entradas, las cuales darán un único conjunto de salidas.
- * Estocásticas: Variables de entrada aleatorias, lo que da lugar a salidas aleatorias.
- * Discreto o continuo: En instantes de tiempo o en un periodo de tiempo.
- * Bucle abierto o cerrado: Cerrado la simulación depende de la interacción con las variables de salida.

3. NATURALEZA EXPERIMENTAL DE LA SIMULACIÓN

La simulación no pretende aislar las relaciones entre determinadas variables, sino que busca observar la forma en que cambian todas las variables del modelo a través del tiempo. Las relaciones entre las variables deben ser deducidas de las observaciones. Para lograr comprender las relaciones que participan en el sistema, es necesario realizar varias "ejecuciones" de simulación, por consiguiente, la Simulación debe planearse como una serie de experimentos.

La manera en que se desarrolla una simulación depende fundamentalmente de la naturaleza del estudio a realizar. Los estudios de simulación son de tres tipos: Análisis del Sistemas, Diseño de Sistemas y Postulación de Sistemas.

- **Análisis de Sistemas.**

El Análisis de Sistemas pretende comprender la manera en la que opera un sistema existente o propuesto (no hay conocimiento del comportamiento). La situación ideal sería que el investigador pudiera experimentar con el propio sistema, pero lo que se hace realmente es construir un modelo y mediante simulación se investiga el comportamiento del modelo.

Los resultados obtenidos se interpretan en términos del comportamiento del modelo.

- **Diseño de Sistemas.**

Tiene como propósito el producir un sistema que satisfaga un conjunto de especificaciones. El diseñador puede para ello elegir o planear

determinados sistemas de componentes y conceptualmente elige una determinada combinación para construir el sistema. El sistema propuesto se modela y se predice su comportamiento mediante la simulación.

- si el comportamiento se compara favorablemente con el deseado, se acepta el diseño.
- en caso contrario, se rediseña el sistema y se repite el proceso.

Con frecuencia se utiliza el término Ingeniería de Sistemas que describe el estudio de sistemas combinando el Análisis y el Diseño, comprendiendo primero como trabaja el sistema y preparando modificaciones al mismo, para cambiar su comportamiento después.

- **Postulación de Sistemas.**

La Postulación de Sistemas parte del conocimiento del comportamiento del sistema pero no de los procesos que producen dicho comportamiento. Se establecen hipótesis de un conjunto de elementos y procesos que tienen lugar en el sistema que puedan explicar el comportamiento.

La Postulación del Sistema se utiliza en estudios sociales, económicos, políticos y médicos, en los cuales se conoce el comportamiento del sistema, pero no se conocen los procesos que provocan dicho comportamiento.

El estudio compara la respuesta del modelo con base en esas hipótesis frente al comportamiento del sistema, ya conocido. Si la comparación es favorable se puede postular una estructura del sistema.

Ejemplo: Funcionamiento del hígado (postulación de sistemas).

Se inyecta tiroxina en la sangre, llega al hígado que la cambia a yodo y que es eliminado en forma de bilis. Parte de la tiroxina vuelve al torrente sanguíneo como recirculación, tal que:

- se conoce la rapidez de eliminación de tiroxina en la sangre, hígado y bilis mediante isótopos radiactivos (conocimiento del comportamiento).
- no se conoce el mecanismo específico de transferencia de sangre-hígado ni hígado-bilis (no conocimiento de los procesos responsables del comportamiento).

Se utiliza un modelo matemático tricompartimental descrito en la siguiente figura:

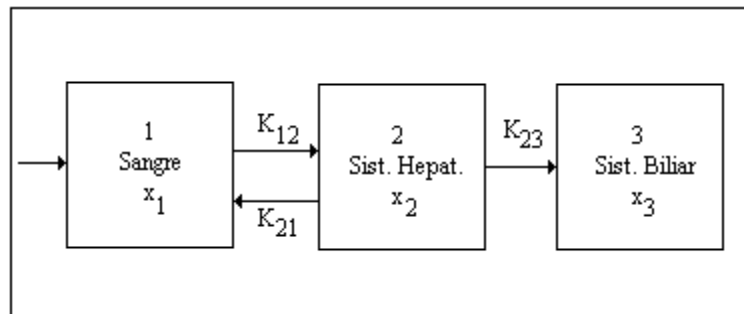


Figura 5: Modelo Tricompartimental del Hígado

Suponiendo la transferencia de tiroxina proporcional a su concentración, se obtienen las ecuaciones diferenciales del sistema siguientes:

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= -k_{12} \cdot x_1 + k_{21} \cdot x_2 \\ \dot{x}_2 &= k_{12} \cdot x_1 - (k_{21} + k_{23}) \cdot x_2 \\ \dot{x}_3 &= k_{23} \cdot x_2\end{aligned}$$

El conjunto de ecuaciones diferenciales con condiciones iniciales dadas se resuelve analíticamente o por simulación y en la siguiente figura

(transparencia) se comparan las mediciones reales con las predicciones del modelo para valores supuestos de k_{ij} .

Se puede observar que la correspondencia de resultados es buena y se pueden aceptar las hipótesis de las tasas de transferencia k_{ij} y tres compartimentos.

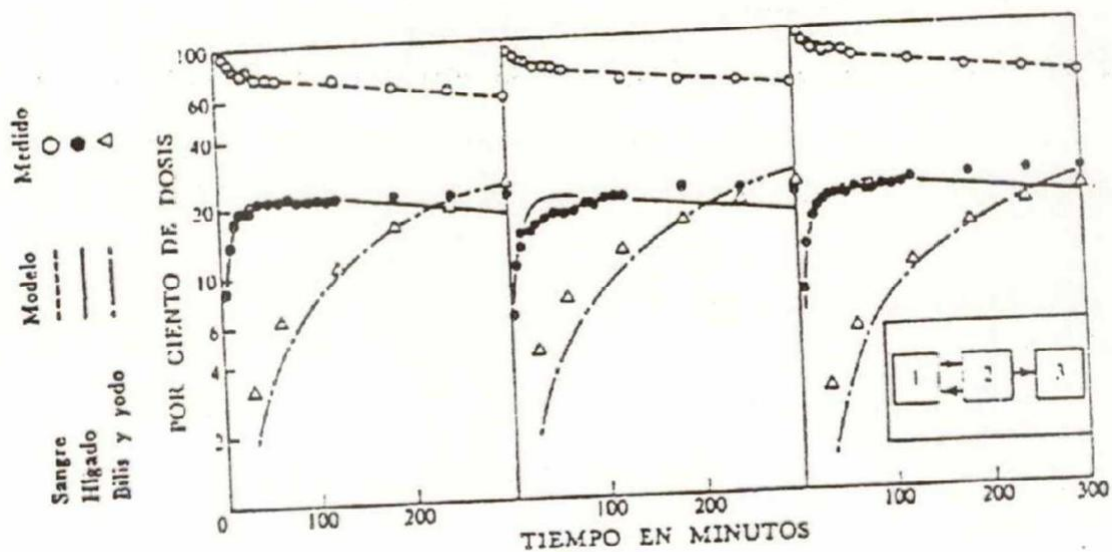


Figura 6

EVOLUCIÓN DEL CONCEPTO Y SOFTWARE.

PRIMERAS SIMULACIONES.

- Salida de resultados numéricos, sólo comprensible para el científico o profesional desarrollador.

SEGUNDA FASE.

- A los resultados numéricos se les acompañaban de gráficos

SOFTWARE DE SIMULACIÓN ACTUAL.

- Entornos gráficos interactivos.
- Resultados numéricos y gráficos.
- Visualización de variables.
- Animaciones explicativas de la evolución del sistema.
- Público en general y no únicamente expertos en la materia.
- Aplicaciones:
 - Investigación
 - Docencia
 - Lúdico

VENTAJAS E INCONVENIENTES.

El hecho de que no siempre se pueda aplicar la técnica de la simulación y su uso no produzca una solución analítica, nos sugiere una pregunta: ¿cuándo es útil la utilización de la simulación?.

En general, nos será útil siempre que nos sea más barato o más fácil que la realización del experimento sobre el sistema real, bien sea porque el experimento exige parar el sistema, no existen herramientas analíticas para desarrollar una solución o porque alguna de la condición a reproducir es difícil de conseguir.

En general, las ventajas que presenta la simulación son las siguientes:

- Permite, de una forma económica representar y estudiar prácticamente cualquier sistema, dentro de categorías científicas muy diferentes.
- El experimento se puede repetir tantas veces como sea necesario sin un gran coste adicional. Permite jugar con el tiempo de forma totalmente imposible para un experimento tradicional.

- Posibilita realizar experimentos que físicamente serían irrealizables.
- Permite explorar infinidad de alternativas para un problema sin modificar el funcionamiento del mismo, caso de una fábrica. Podríamos rediseñar el Layout sin necesidad de pararla y, de este modo, perder ingresos.
- ES COMPLETAMENTE REPETIBLE Y NO DESTRUCTIVA.
- La propia naturaleza repetitiva de los experimentos de simulación nos permite obtener muchos datos y traducirlos en resúmenes estadísticos, determinando así propiedades que tal vez no sean visibles en un único experimento.
- Permiten analizar el efecto de un evento incluso aunque las variables iniciales estén incompletas.
- Los resultados mediante simulación son más fáciles de obtener que en el sistema real.
- Los métodos de simulación son más fáciles de aplicar que los analíticos \Rightarrow Potencialmente más aplicación y utilidad.
- Los métodos de simulación no requieren las simplificaciones que los analíticos \Rightarrow Los datos generados se pueden utilizar para estimar cualquier resultado posible.
- Es la única forma de llegar a la solución de un problema:
Ejemplo: Oscilaciones no lineales / Caos.
Futuro de especies.

EN SU CONTEXTO MÁS AMPLIO: la Simulación nos permite la animación y visualización de los parámetros más relevantes que definen al sistema físico.

De aquí que el Campo de la Simulación se haya ampliado y diversificado en los últimos años hacia nuevas áreas, considerándose también el estudio de sistemas que pueden ser representados mediante modelos matemáticos que se explican o responden a soluciones exactas.

Mediante la simulación nos centramos en el problema físico, dejando menos tiempo a la resolución matemática.

Pero no todo es bueno dentro de la simulación. Si tenemos fe ciega en ella podremos encontrarnos con problemas indeseables. Por ello es importante tener en cuenta estos inconvenientes:

- El desarrollo de un buen modelo de simulación es costoso y requiere de mucho tiempo.
- Puede parecer que una simulación refleja con precisión una situación del mundo real cuando, en verdad, no lo hace. Ciertos problemas intrínsecos a la simulación pueden producir resultados erróneos si no se resuelven correctamente.
- La simulación es imprecisa y no podemos medir con exactitud el grado de imprecisión.

CAMPOS DE INFLUENCIA

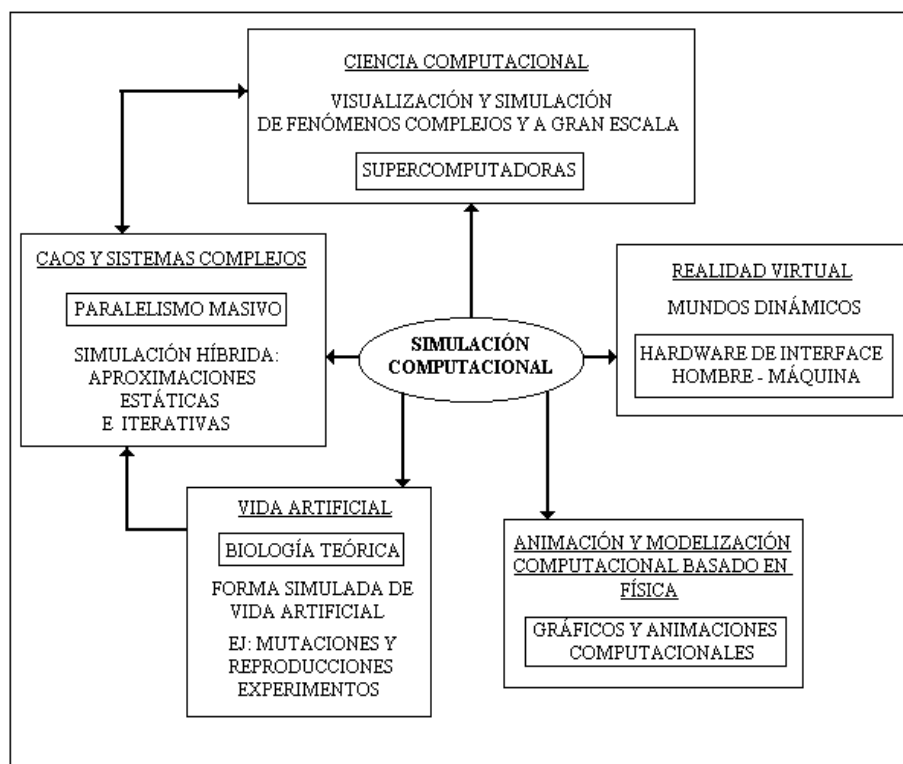


Figura 7: Dominios de la SIMULACIÓN

HERRAMIENTAS EN LA INDUSTRIA. INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA.

Algunos ejemplos de áreas donde la simulación es una herramienta de uso habitual podrían ser:

- Servicios financieros. Son habituales las simulaciones de sistemas bancarios o seguros.
- Logísticas. Su uso es habitual en el diseño de almacenes o en el reparto de trabajo dentro de una planta de producción.
- Diseño en Ingeniería. Se suele simular el funcionamiento de circuitos electrónicos, complejos mecanismos y todo tipo de maquinaria. Nunca se produce un diseño sin antes haber sido simulado.
- Transporte. Se suele modelar y simular el tráfico en carreteras para descubrir posibles atascos o problemas de tráfico.

ETAPAS EN LA IMPLEMENTACIÓN.

Las etapas en las que se dividirá un proceso de simulación podrían ser las siguientes:

Pasos en la Simulación

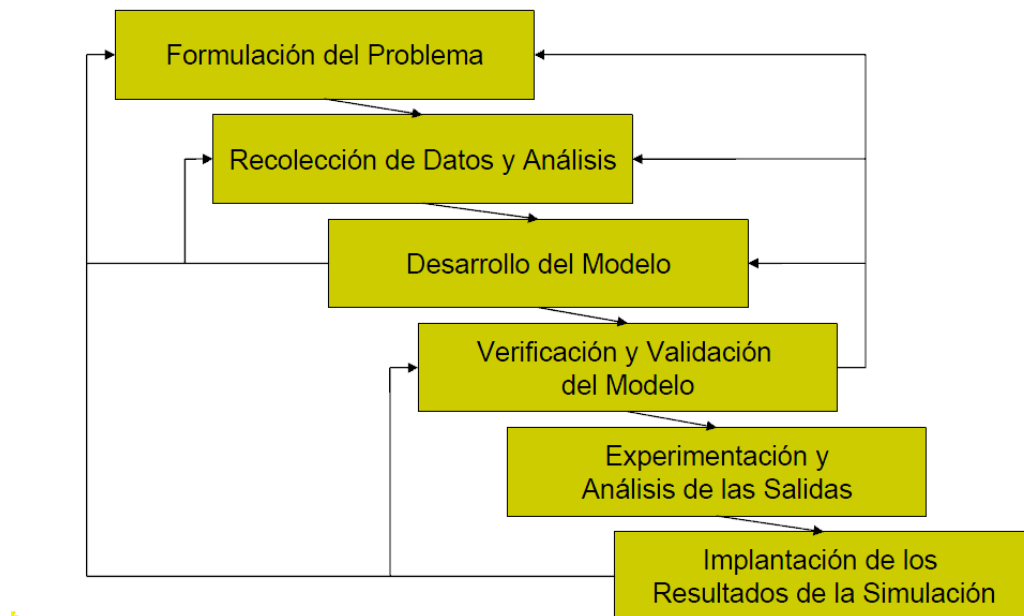


Figura 8: Etapas de la SIMULACIÓN

1. *Definición del sistema*, determinación de los límites, restricciones y medidas de efectividad.
2. *Formulación del modelo*, reducción o abstracción del sistema real a un diagrama de flujo lógico o a un modelo matemático.
3. *Preparación de datos*, identificación de los datos que el modelo requiere y reducción de éstos a una forma adecuada.
4. *Translación del modelo*, descripción del modelo en un lenguaje que comprenda el ordenador. En esta etapa será donde centraremos nuestros esfuerzos en los próximos números, donde aprenderemos a trasladar el modelo del lenguaje formal al lenguaje de simulación.
5. *Validación*, comprobar que el modelo realmente representa el sistema real.
6. *Planeación estratégica*, diseño de un experimento que producirá la información deseada. El experimento será lo que reproduzcamos con el ordenador. Una vez modelado el sistema, fijaremos cómo varían sus parámetros y esto nos dará la información deseada.
7. *Planeación táctica*, determinación de cómo se realizará cada una de las ejecuciones de prueba especificadas en el diseño experimental.

8. *Experimentación*, ejecución de la simulación para generar los datos deseados y efectuar el análisis de sensibilidad.

9. *Interpretación*, obtención de inferencias con base en datos generados por la simulación.

10. *Implantación*, uso del modelo y resultados.

11. *Documentación*, registro de las actividades del proyecto y resultados, así como de la documentación del modelo y su uso.