

## UNIDAD 1. Modelos y Simulación.

UNIDAD 1. Modelos y Simulación. ....	1
Introducción.....	2
Sistemas, modelos y paradigmas .....	2
Modelos y simulación .....	3
Categorías de paradigmas de modelado.....	7
Modelos De Simulación Continuos Vs Discretos .....	8
Ventajas Y Desventajas Del Uso De La Simulación.....	8
Organización Temporal De Un Proceso De Simulación .....	10
Definición de evento .....	10
Desarrollo temporal evento a evento .....	11
Bibliografía .....	12

## ***Introducción***

En general, para implementar sistemas automatizados flexibles, complejos y altamente precisos, debemos construir sistemas de test caros y complejos. Esta complejidad hace que el chequeo sea difícil (o imposible), así como la previsión de su comportamiento y comprensión global, indispensable para minimizar los riesgos en el sistema desarrollado. Para lograr estos objetivos con una aproximación efectiva con respecto a los costos, está difundido el uso de metodologías y herramientas de simulación.

Las ventajas de la simulación son múltiples: puede reducirse el tiempo de desarrollo del sistema, las decisiones pueden chequearse artificialmente, un mismo modelo puede usarse muchas veces, etc. La simulación es de empleo más simple que ciertas técnicas analíticas y precisa menos simplificaciones. El Sistema a construir tendrá como objetivo ayudar a los investigadores a modelar tales fenómenos complejos.

El objetivo de este trabajo es servir como introducción a algunos conceptos generales sobre modelización y simulación utilizando determinadas metodologías.

## ***Sistemas, modelos y paradigmas***

Para comenzar, daremos algunas definiciones. Primero, llamaremos sistema a una entidad real o artificial. De hecho no existe una definición de sistema que tenga aceptación general. Se llama sistema a una parte de una realidad, restringida por un entorno. Está compuesto por entidades que experimentan efectos espacio-tiempo y relaciones mutuas. También se dice que un sistema es un conjunto ordenado de objetos lógicamente relacionados que atraviesan ciertas actividades, interactuando para cumplir ciertos objetivos.

Para lo que nos concierne, distinguimos dos interpretaciones de la palabra sistema:

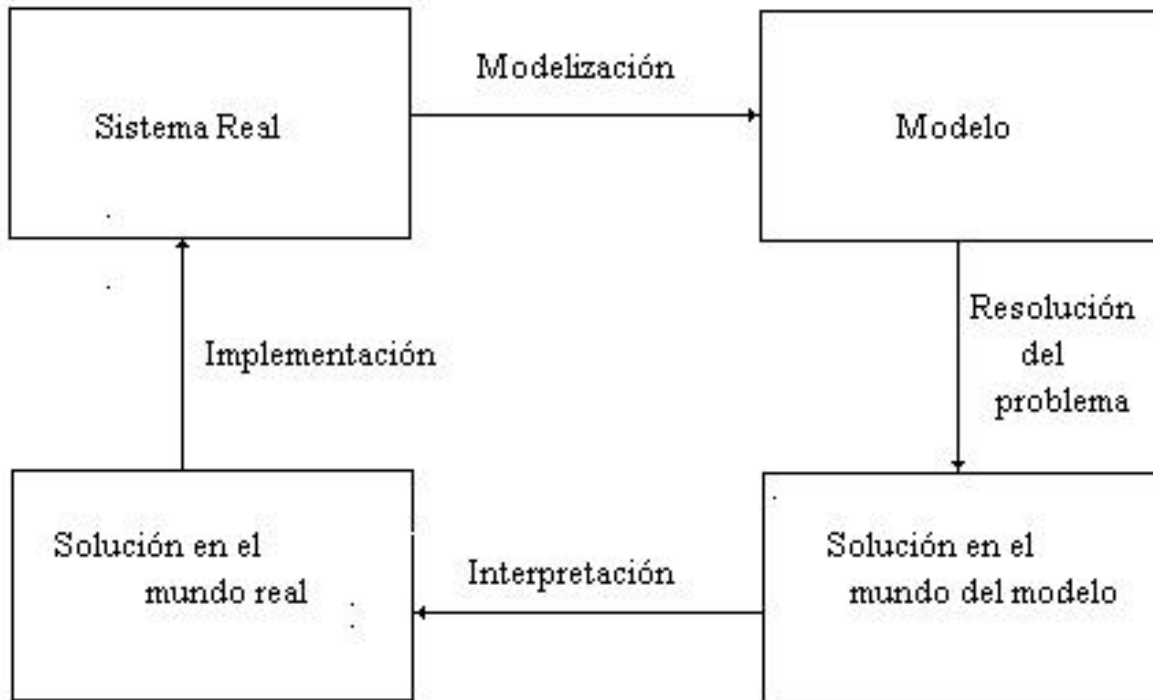
- a) Un sistema real es una combinación de elementos con relaciones estructurales que se influyen mutuamente.
- b) Un sistema dinámico es una construcción formal que nos da conceptos generales de modelización para distintas clases de disciplinas.

Llamaremos modelo a una representación inteligible (abstracta y consistente) de un sistema. En muchos casos no se puede resolver un problema directamente sobre un sistema real, por ende razonamos sobre modelos. El proceso de pensar y razonar acerca de un sistema resaltando la reacción de un modelo se llama modelado de sistemas.

**Ejemplo 1:** Consideremos el diseño de un circuito digital. Si analizamos la medición de corrientes y tensiones estamos razonando sobre un modelo eléctrico, en cambio si se hace un estudio de las funciones booleanas que realiza, se razona sobre un modelo lógico.

Para estudiar sistemas complejos, la idea es partir haciendo un modelo del sistema que se quiere estudiar, y se estudian problemas del sistema real estudiando el modelo.

Figura 1. Pasos en el estudio de un sistema por medio de modelización



Llamaremos paradigma a un conjunto de conceptos, leyes y medios que sirven para definir un conjunto de modelos. Los modelos se construyen sobre un paradigma particular.

**Ejemplo 2:** Consideremos un lenguaje de programación algorítmico como Pascal. Aquí usamos el paradigma de modelización secuencial/procedural, con el fin de construir un modelo que en este caso es un programa modelado por una actividad secuencial. De la misma forma, el simbolismo de circuitos lógicos es un paradigma en el cual un esquema es el modelo de un circuito digital. En base a compuertas lógicas y un conjunto de reglas de conexión, permitimos la construcción de un sistema de circuitos lógicos.

### ***Modelos y simulación***

¿Por qué se hacen modelos de los sistemas? ¿Por qué usamos simulación? El motivo es que en muchos casos no se puede experimentar directamente sobre el sistema a estudiar, o se desea evitar costos, peligro, etc. En la actualidad existe una gran variedad de aplicaciones muy complejas en las que se usan modelos y/o simulación, que van desde manufactura hasta diseño de circuitos para computadoras, pasando por aplicaciones bélicas y estudio de experimentos complejos. Las características comunes a estos sistemas son su complejidad y la falta de herramientas de evaluación de desempeño adecuadas.

Distinguiremos, entonces, dos grandes grupos de métodos para modelar sistemas complejos:

a) Analíticos: los modelos están basados en razonamiento. Suelen ser simbólicos, y permiten obtener soluciones generales al problema. La solución se construye usando las reglas de inferencia reconocidas como correctas en el paradigma usado para describir el modelo, y se obtienen bajo una forma general (en el sentido que están bajo una forma simbólica). Las soluciones particulares serán obtenidas reemplazando los valores simbólicos por sus valores numéricos. La idea es que, una vez obtenida la solución, se aplica una variable al modelo obtenido y de esta forma se pueden encontrar soluciones particulares. Un formalismo analítico muy difundido son las ecuaciones diferenciales.

El problema es que si consideramos sistemas complejos, con pocas excepciones serán analíticamente intratables y numéricamente prohibitivos de evaluar. Por ende, para poder usar estos métodos para los problemas que existen en el mundo real se debe simplificar el modelo a un nivel tal que las soluciones obtenidas pueden alejarse de la realidad. Frente a esta situación, la simulación ofrece otra aproximación de resolución de problemas que permite tratar cierta complejidad.

B) Basados en simulación: en ellos no existen soluciones generales sino que buscan soluciones particulares para el problema. Si el problema es simple, es conveniente el uso de métodos analíticos ya que nos permiten obtener soluciones generales con seguridad. En cambio, si es complejo, usando simulación se pueden probar distintas condiciones de entrada que no serían posibles de probar y obtener resultados de salida significativos. Así se obtienen datos que pueden estudiarse para analizar algún comportamiento que interese.

El uso de simulación permite experimentación controlada, compresión de tiempo (una simulación se realiza en mucho menos tiempo que el sistema real que modela), y análisis de sensibilidad. Otra gran ventaja es que su uso no afecta al sistema real, que puede seguir utilizándose (o no existir). Finalmente, la simulación es una herramienta efectiva de entrenamiento. Algunos problemas que existen en el uso de simulación son su tiempo de desarrollo, en que los resultados pueden tener divergencia con la realidad (precisan validación), y en que para reproducir el comportamiento del sistema simulado se precisa colección extensiva de datos.

<p><b>Definición:</b> La simulación es la reproducción del comportamiento dinámico de un sistema real en base a un sistema con el fin de llegar a conclusiones aplicables al mundo real.</p>
--

Por ende, la simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real, y conducir experimentos basados en computadoras para describir, explicar y predecir el comportamiento del sistema real. En general, para hacer un simulador se siguen los siguientes pasos:

a) *Planteo del problema*: en esta fase se toma un sistema real y se trata de entenderlo. Para ello, primero se trata de identificar el problema a resolver y se describe su operación en términos de objetos y actividades dentro de un marco físico. Luego, se trata de identificar las variables de entrada y salida del sistema y se las categoriza. Las variables de entrada pueden ser de decisión (controlables) o parámetros (no controlables). En esta etapa también se trata de definir medidas de desempeño del sistema (como función de variables de salida) y una función objetivo (una combinación de algunas de las medidas).

Habiendo finalizado esta especificación, se trata de construir una estructura preliminar del modelo, interrelacionando las variables del sistema y las medidas de desempeño, introduciendo

presunciones y simplificaciones adecuadas. Finalmente se construye una estructura del modelo más detallado, identificando todos los objetivos con sus atributos e interfaces.

*b) Recolección y análisis de los datos de entrada:* en esta fase se estudia el sistema real para obtener datos de entrada vía observación. Por ende, se hace observación directa y recolección de los atributos seleccionados en la etapa anterior. Al estudiar el flujo de las entidades a través del sistema, se trata de identificarlas con valores de tiempo. Otra cuestión importante en esta fase es seleccionar un tamaño de muestra estadísticamente válido, y un formato de datos procesable por computadora. Finalmente se decide qué datos serán tratados como aleatorios y cuáles se asumirán como determinísticos.

*c) Modelización:* en esta fase se construye un modelo del sistema con los aspectos que se quieren simular. Para ello hay dos fases.

*En una primera etapa* se trata de comprender el sistema, ya sea siguiendo una aproximación de flujo físico basado en el flujo de entidades a través del sistema con sus puntos de procesamiento y reglas de decisión, o una aproximación de eventos (o cambio de estados), basado en la definición de variables de estado internas seguida por una descripción de la operación del sistema cuando ocurre un evento. *En una segunda etapa* se construye el modelo. Para ello se definen objetos, atributos, métodos, en el paradigma elegido. También en esta fase se elige un lenguaje de implementación.

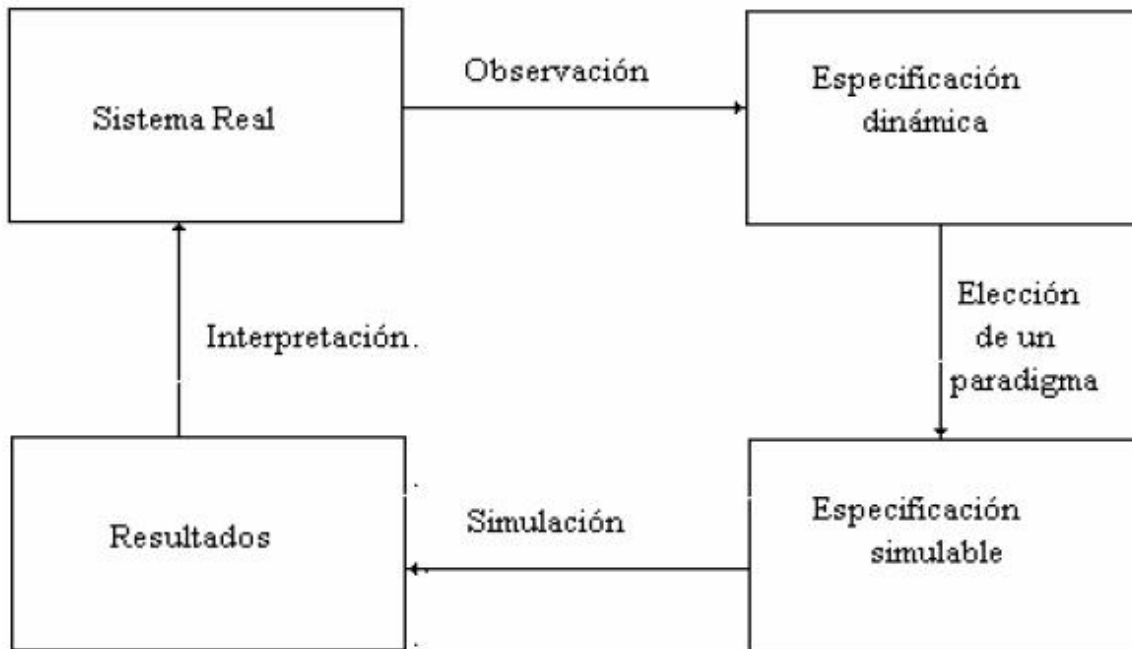
*d) Implementación:* en esta etapa, en base al lenguaje elegido se construye una simulación del modelo que pueda ejecutarse en una computadora.

*e) Verificación y validación del modelo:* durante los pasos anteriores se construyeron tres modelos: el conceptual (especificación), el lógico (diseño) y el de computadora (código). La verificación es un asunto de consistencia interna entre los tres modelos. La validación enfoca la correspondencia entre el modelo y la realidad. En base a los resultados obtenidos durante la validación y verificación, el modelo y su implementación deben refinarse.

*f) Experimento de simulación y optimización:* en esta fase se hace evaluación estadística de las salidas del simulador para determinar algún nivel de precisión de las medidas de desempeño. Si el objeto en interés pasa por un comportamiento de período se debe tener cuidado de hacer el análisis sobre estados estacionarios. Se hace diseño de experimentos de simulación basados en la repetición de la simulación con las variables de decisión en varios niveles.

*g) Análisis de datos de salida:* en la última fase se analizan las salidas de la simulación para comprender el comportamiento deseado del sistema. Estas salidas se usan para obtener respuesta al comportamiento del sistema original.

Figura 2. Pasos en el estudio de sistemas con simulación



En función del nivel de intervención de la persona que decide sobre el sistema real, se definen cuatro niveles de uso de modelos para simulación:

- de exploración: se usa simulación para adquirir una mejor comprensión de las operaciones del sistema real;
- de predicción: se usa un modelo para predecir el concepto futuro del sistema real;
- de mejoras: se utiliza para optimizar el desempeño del sistema real, y estudiar distintas alternativas (por ejemplo, un sistema de producción, de stocks, etc.);
- de concepción: el sistema no existe, y se usa simulación para chequear distintas soluciones posibles (por ejemplo, porque no se puede hacer un prototipo).

En cualquier caso, nos interesa tener modelos ejecutables de sistemas, o sea, descripciones inteligibles sobre las que se pueden ejecutar algoritmos en tiempo finito. Para poder construir un modelo simulable, el sistema en consideración deber obedecer a dos principios fundamentales:

**Causalidad:** el futuro no puede influenciar sobre el pasado. El estado del sistema al instante presente  $t$  es independiente de todo lo que se pueda producir en horas futuras a  $t$ .

**Determinismo:** el futuro del sistema puede estar determinado a partir de su estado presente y su pasado. En todo instante  $t$  existe un valor positivo  $\epsilon$  tal que el comportamiento del sistema puede calcularse hasta  $t+\epsilon$ .

### ***Categorías de paradigmas de modelado***

Durante siglos el desarrollo de sistemas dinámicos estuvo basado en el estudio de modelos de ecuaciones diferenciales ordinarias y parciales. Estas permitieron modelar exitosamente los sistemas dinámicos encontrados en la naturaleza (de hecho, los éxitos de la física y esta línea de investigación fueron tan grandes que penetraron casi todo el pensamiento científico). Pero por otro lado, la tecnología moderna ha permitido que el hombre cree sistemas dinámicos que no pueden ser descritos fácilmente por medio de ecuaciones diferenciales ordinarias o parciales. Como ejemplos de tales sistemas podemos mencionar líneas de producción o ensamblado, las redes de computadoras y comunicaciones, los sistemas de control tráfico (en el aire y tierra), los sistemas de control militar, etc. En estos sistemas, la evolución en el tiempo depende de interacciones complejas de varios eventos discretos y de su temporalidad, tales

Como la llegada o partida de un trabajo, y la iniciación o finalización de una tarea, etc. El "estado" de tales sistemas sólo cambia en instantes discretos de tiempo en lugar de continuamente [Ho89].

La simulación aparece como una alternativa para estudiar el comportamiento de estos sistemas complejos.

Una de las primeras aplicaciones de simulación con computadoras fue en el proyecto Manhattan, donde se estudió la difusión aleatoria de neutrones para el desarrollo de la bomba atómica, usando métodos de Montecarlo. El impacto de la tecnología de computadoras ha tenido gran influencia en el desarrollo de técnicas de simulación, y en la actualidad existe hardware, interfaces con el usuario y herramientas de programación que influenciaron los métodos teóricos existentes.

La gran variedad de paradigmas de modelado puede clasificarse de acuerdo a distintos criterios:

Con respecto a la base de tiempo, hay paradigmas a tiempo continuo, donde se supone que el tiempo evoluciona de forma continua (es un número real), y a tiempo discreto, donde el tiempo avanza por saltos de un valor entero a otro (el tiempo es un entero).

Con respecto a los conjuntos de valores de las variables descriptivas del modelo, hay paradigmas de estados o eventos discretos (las variables toman sus valores en un conjunto discreto), continuos (las variables son números reales), y mixtos (ambas posibilidades).

#### **Ejemplo 3**

- Ecuaciones diferenciales: paradigma de variables continuas a tiempo continuo.
- Ecuaciones en diferencias: paradigma de variables continuas a tiempo discreto.
- Máquinas de estados finitos: paradigma de variables discretas a tiempo discreto.

Con respecto a la caracterización del problema a modelar, los modelos pueden ser prescriptivos si formulan y optimizan el problema (en general son métodos analíticos) o descriptivos si describen el comportamiento del sistema (suelen ser métodos numéricos).

Por otro lado, un modelo se dice que es determinístico si todas las variables tienen certeza completa y están determinadas por sus estados iniciales y entradas. El modelo se dice probabilístico en el caso que una respuesta pueda tomar un rango de valores dado el estado inicial y sus entradas (si usa variables aleatorias se dice que el modelo es estocástico). En un modelo probabilístico, los cambios de estado del modelo se producen por medio de leyes aleatorias: las entradas al modelo son aleatorias (siendo el modelo determinista), ó el tiempo de llegada de los eventos es aleatorio

De acuerdo al entorno, los modelos son autónomos (no existen entradas) o no autónomos (existen entradas). Los autónomos evolucionan en base a la función de tiempo.

### ***Modelos De Simulación Continuos Vs Discretos***

Los modelos de simulación discretos y continuos, se definen de manera análoga a los sistemas discretos y continuos respectivamente. Pero debe entenderse que un modelo discreto de simulación no siempre se usa para modelar un sistema discreto. La decisión de utilizar un modelo discreto o continuo para simular un sistema en particular, depende de los objetivos específicos de estudio. Por ejemplo: un modelo de flujo de tráfico en una supercarretera, puede ser discreto si las características y movimientos de los vehículos en forma individual es importante. En cambio si los vehículos pueden considerarse como un agregado en el flujo de tráfico entonces se puede usar un modelo basado en ecuaciones diferenciales presentes en un modelo continuo.

Otro ejemplo: Un fabricante de comida para perros, requiere el auxilio de una compañía consultora con el objeto de construir un modelo de simulación para su línea de fabricación, la cual produce medio millón de latas al día a una velocidad casi constante. Debido a que cada una de las latas se representó como una entidad separada en el modelo, éste resulto ser demasiado detallado y por ende caro para correrlo, haciéndolo poco útil. Unos meses más tarde, se hizo una reformulación del modelo, tratando al proceso como un flujo continuo. Este nuevo modelo produjo resultados precisos y se ejecuto en una fracción del tiempo necesario por el modelo original.

### ***Ventajas Y Desventajas Del Uso De La Simulación***

Aunque la técnica de simulación generalmente se ve como un método de último recurso, recientes avances en la metodología de simulación y la gran disponibilidad de software que actualmente existe en el mercado, han hecho que la técnica de simulación sea una de las herramientas más ampliamente usadas en el análisis de sistemas. Además de las razones antes mencionadas, Thomas H. Naylor ha sugerido que un estudio de simulación es muy recomendable porque presenta las siguientes ventajas:

- A través de un estudio de simulación, se puede estudiar el efecto de cambios internos y externos del sistema, al hacer alteraciones en el modelo del sistema y observando los efectos de esas alteraciones en el comportamiento del sistema.
- Una observación detallada del sistema que se está simulando puede conducir a un mejor entendimiento del sistema y por consiguiente a sugerir estrategias que mejoren la operación y eficiencia del sistema.
- La técnica de simulación puede ser utilizada como un instrumento pedagógico para enseñar a estudiantes habilidades básicas en análisis estadísticos, análisis teórico, etc.
- La simulación de sistemas complejos puede ayudar a entender mejor la operación del sistema, a detectar las variables más importantes que interactúan en el sistema y a entender mejor las interrelaciones entre estas variables.



- La técnica de simulación puede ser utilizada para experimentar con nuevas situaciones, sobre las cuales tiene poca o ninguna información. A través de esta experimentación se puede anticipar mejor a posibles resultados no previstos.
- La técnica de simulación se puede utilizar también para entrenamiento de personal. En algunas ocasiones se puede tener una buena representación de un sistema (como por ejemplo los juegos de negocios), y entonces a través de él es posible entrenar y dar experiencia a cierto tipo de personal.
- Cuando nuevos elementos son introducidos en un sistema, la simulación puede ser usada para anticipar cuellos de botella o algún otro problema que puede surgir en el comportamiento del sistema.
- Los sistemas los cuales son sujetos de investigación de su comportamiento no necesitan existir actualmente para ser sujetos de experimentación basados en la simulación. Solo necesitan existir en la mente del diseñador.
- El tiempo puede ser comprimido en los modelos de simulación. El equivalente de días, semanas y meses de un sistema real en operación frecuente pueden ser simulados en solo segundos, minutos u horas en una computadora. Esto significa que un largo número de alternativas de solución pueden ser simuladas y los resultados pueden estar disponibles de forma breve y pueden ser suficientes para influir en la elección de un diseño para un sistema.
- En simulación cada variable puede sostenerse constante excepto algunas cuya influencia está siendo estudiada. Como resultado el posible efecto de descontrol de las variables en el comportamiento del sistema necesitan no ser tomados en cuenta. Como frecuentemente debe ser hecho cuando el experimento está desarrollado sobre un sistema real.
- Es posible reproducir eventos aleatorios idénticos mediante una secuencia de números aleatorios. Esto hace posible usar las técnicas de reproducción de varianza para mejorar la precisión con la cual las características del sistema pueden ser estimadas para dar un valor que refleje el esfuerzo de la simulación.

A diferencia de las ventajas mencionadas, la técnica de simulación presenta importantes desventajas, éstas son:

- Falla al producir resultados exactos. Se supone que un sistema está compuesto de uno o más elementos que están sujetos a un comportamiento al azar. Cuando una simulación es desarrollada con un modelo del sistema, los valores de cada variable son registrados y los promedios de estos valores son dados en una postsimulación. Pero el promedio en una muestra de observación solo a veces provee un estimado de lo esperado, es decir, una simulación solo provee estimados, no resultados exactos.
- Fallas al optimizar. La simulación es usada para contestar preguntas del tipo “¿Qué pasa si?”, “pero no de”, “¿qué es lo mejor?”. En este sentido, la simulación no es una técnica de optimización. La simulación no generará soluciones, solo evalúa esas que han sido propuestas.

- Largo tiempo de conducción. Un estudio de simulación no puede ser conducido o llevado a cabo en solo un fin de semana. Meses de esfuerzo pueden ser requeridos para reunir información, construir, verificar y validar modelos, diseñar experimentos y evaluar e interpretar los resultados.
- Costos para proveer capacidad de simulación. El establecimiento y mantenimiento de capacidad de simulación, envuelve tener mejor personal, software, hardware, entrenamiento y otro tipo de costos.
- Abuso de simulación. Hay muchas facetas para un balanceo y comprensivo estudio de la simulación. Ya que una persona debe tener conocimiento de una gran variedad de áreas antes de llegar a ser un practicante de la simulación. Este hecho es algunas veces ignorado, sin embargo como resultado, cada estudio puede incorrectamente ser desarrollado, o podría estar incompleto, o podría caer en otro tipo de caminos, quizá resultado de una falla del esfuerzo de la simulación.

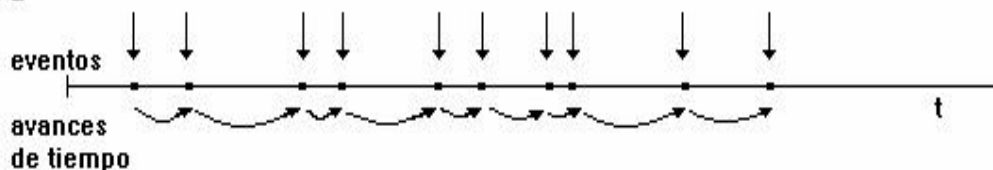
**En conclusión:** la simulación ofrece poderosas ventajas pero también sufre desventajas. Afortunadamente muchas de estas desventajas están disminuyendo en importancia en el tiempo, gracias a las herramientas que emplean simulación. Metodologías, desarrollo de computadoras y de software y decrementos en los costos de los mismos.

Como nosotros hemos visto la simulación es una herramienta buena, aun ahora en medio de tantas alternativas y sus méritos podrían continuar a través del tiempo.

## ***Organización Temporal De Un Proceso De Simulación***

### **Definición de evento**

figura 2



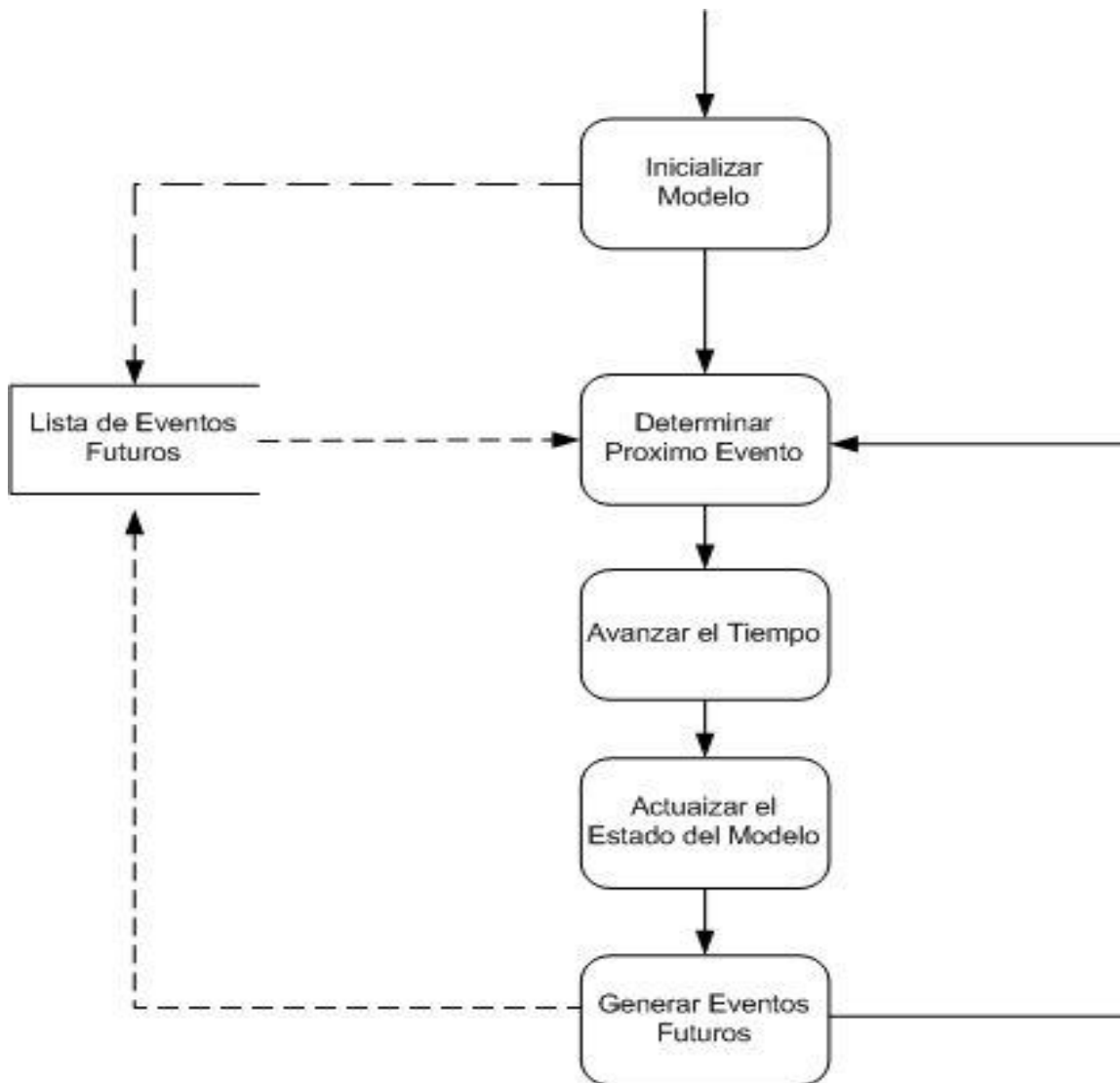
Un concepto básico para organizar temporalmente un proceso de simulación es el de evento. Se denomina evento, en un modelo discreto, al instante (representado por un valor particular de la variable tiempo) en que cambia el valor de alguna de las restantes variables del modelo. Ese cambio representa la generación o desaparición de uno o más elementos del sistema modelado o una modificación de alguna de sus características.

Un estado del modelo está determinado por valores particulares que toman sus variables. En consecuencia, la ocurrencia de un evento implica un cambio de estado en el modelo o, inversamente, un cambio de estado está causado por la ocurrencia de un evento.

La investigación de una historia secuencial de estados de un modelo se puede realizar rastreando solamente la aparición de eventos a lo largo del tiempo, ya que el estado del modelo no cambia entre dos eventos sucesivos.

## Desarrollo temporal evento a evento

Presentamos un DFD del proceso en su visión mas general



Una forma de realizar el proceso temporal de la simulación consistirá, de acuerdo a lo visto en el punto anterior, en avanzar el tiempo hasta encontrar un evento, investigar que cambio de variables lo produce, avanzar nuevamente el tiempo hasta el evento siguiente y así sucesivamente. (Figura 2).

El procedimiento que realiza las operaciones necesarias para investigar y procesar un evento (ciclo de simulación) se indica en el DFD. Su realización para cada evento hace avanzar el modelo a través del tiempo dentro de un intervalo determinado.

Un elemento fundamental en este procedimiento es el mantenimiento permanente de una lista con los eventos futuros (tipo y tiempo en que corren) de la que se obtiene el próximo evento, una vez procesado el anterior.

A dicha lista se incorporan, cuando se investiga un evento, los eventos futuros generados por él. En particular, algunos eventos no se generan siempre que se investiga el evento, sino que están condicionados al estado del modelo producido por aquel.

## Bibliografía

Apunte construido en base a extractos de:

- “Modelos y simulación”. Guido J. Pace (UNNE FCENA), 1993.
- “Introducción a la Simulación de Eventos Discretos”. Gabriel A. Wainer. Departamento de Computación – FCEN, UBA.
- “Simulación de Sistemas Discretos”. Jaime Barcelo, ISDEFE 1996.