

**CURSO POSGRADO EN SIMULACIÓN CIENTÍFICA**

<b>DICTADO: BI-ANUAL</b>	<b>CARGA HORARIA: 60 HORAS</b>	<b>PLAN PROUPESTA</b>
--------------------------	--------------------------------	-----------------------

**Profesor Titular: Prof. Dr. Ing. S. Enrique Puliafito****Profesor Adjunto: Dra. Ing. Hebe Cremades**

Horas destinadas a Teoría:	30 Hs.
Horas destinadas a Práctica:	20 Hs.
Horas Teórico-prácticas:	10 Hs.

**1. INTRODUCCIÓN**

La Simulación es una de las herramientas más poderosas disponibles para los responsables en la toma de decisión, diseño y operación de un sistema complejo. Ésta permite el estudio, análisis y evaluación de situaciones que de otro modo no serían posibles. Sin duda la simulación se ha convertido en una herramienta indispensable para los ingenieros, diseñadores, analistas, administradores y directivos en la resolución de problemas. La Simulación permite diseñar un modelo del sistema real, conducir experimentos sobre este modelo, a fin de comprender el comportamiento del sistema y evaluar distintas estrategias operativas del sistema bajo estudio. Un punto crítico es que la representación del sistema conceptualizado como modelo represente lo más fielmente posible el problema real. Una de las fortalezas de la simulación es la capacidad de ensayar tanto sistemas reales existentes, como de aquellos que aún no han sido materializados, es decir aquellos que aún están en los incipientes planos del desarrollo. Por lo tanto concebimos a la Simulación como una metodología aplicada que nos permite, tanto a) describir el comportamiento de un sistema, como b) predecir su comportamiento futuro, es decir, determinar los efectos que se producirá en el sistema ante determinados cambios del mismo sistema o en su régimen operativo.

La Simulación tiene un número importante de ventajas sobre las soluciones analíticas:

- ✓ Se pueden ensayar nuevos diseños y esquemas sin comprometer recursos adicionales de implementación
- ✓ Se puede usar para explorar nuevos procedimientos y políticas empresariales, reglas de decisión, estructuras administrativas y organizacionales, etc., sin interferir con la situación actual.
- ✓ Se pueden detectar cuellos de botellas en flujos de materiales o información y probar nuevos procedimientos que mejoren tal situación.
- ✓ Se usa para probar hipótesis sobre el comportamiento del sistema y ganar así conocimiento sobre el funcionamiento del sistema.
- ✓ En fin la simulación permite responder a las pregunta de "...que pasa si...".

Sin embargo a pesar de estas interesantes ventajas tiene algunas desventajas, de las cual el modelador debe estar prevenido:

- ✓ La simulación requiere de un entrenamiento y habilidades especiales, que se adquieren gradualmente.
- ✓ La simulación necesita de muchos datos de entrada altamente confiables. La adquisición de estos datos puede ser muy costosa en tiempo y dinero. La simulación nunca podrá compensar la mala calidad de los datos de entrada.
- ✓ La simulación es un modelo de entrada-salida, no resuelve el sistema, sino que lo corre con esos datos. Si los datos de entrada son malos, la salida es mala. O si el modelo no está bien descrito, la salida no se ajustará a la realidad. Un mal modelo puede llevar a decisiones equivocadas.

Otro tema importante de la simulación es la conformación de un equipo de trabajo. Si bien pequeños estudios pueden realizarse por una persona, normalmente se requiere de un equipo de trabajo con distintas habilidades conformado por todos aquellos que conocen el sistema a modelar, por ejemplo, ingenieros, diseñadores, ingenieros de procesos, o provenientes de multi-disciplinas si el problema abarca temas sociales económicos, biológicos, etc. La función del ingeniero en sistemas será la de traducir en un lenguaje computacional adecuado los requerimientos y decisiones del grupo.

El proceso de simulación recorre diversas etapas que implican: a) la definición del problema (objetivos, preguntas a resolver), b) la planificación del proyecto (personal, equipos y software disponibles), c) la definición del sistema (límites y restricciones del problema), d) la formulación conceptual del modelo (diagramas de boques o flujos), e) el diseño experimental preliminar (nivel de abstracción, tipos de datos que se necesitan), f) la definición de los datos de entrada (recolectar los datos necesarios), g) la traducción del modelo (traducir el modelo en el lenguaje computacional), h) la verificación y validez del modelo (comprobar el funcionamiento del modelo y su comparación con datos reales), h) el diseño final del experimento (diseñar las pruebas según la pregunta buscada), j) la experimentación (correr el programa y realizar los análisis de sensibilidad), k) el análisis de los resultados (inferir las conclusiones), y l) la documentación (informar los resultados).

En esta breve síntesis se ha querido dar los principales aspectos que implican una simulación, sus ventajas y desventajas, y las etapas en la formulación de un proyecto de simulación. Durante el transcurso de la asignatura se tratarán todo estos aspectos que se desarrollan en los capítulos propuestos para esta asignatura.

## **2. OBJETIVOS GENERALES**

Es necesario que el graduado sepa interpretar la observación de la realidad o de los fenómenos físicos, químicos, biológicos, económicos, sociales y procesos de ingeniería, en forma segura a través de modelos matemáticos o lógicos y pueda elaborar programas de simulación correspondientes a cada modelo. El egresado deberá poder integrarse a un grupo multidisciplinario e interpretar y traducir a un lenguaje computacional los requerimientos del grupo de trabajo.

*Se espera que el ingeniero sea capaz de diseñar un modelo a partir de un sistema real, conducir experimentos sobre este modelo, a fin de comprender el comportamiento del sistema y evaluar distintas estrategias operativas del sistema bajo estudio usando un lenguaje propio o a través de software específico.*

En esta asignatura se espera que el alumno pueda estudiar, analizar sistemas dinámicos lineales y no lineales y predecir el comportamiento de los mismos en situaciones diversas a las observadas. Para ello deberá estar en condiciones de aplicar modelos matemáticos y traducirlos en lenguajes computacionales adecuados y evaluar sus resultados convenientemente. Deberá resolver los distintos sistemas a partir de la selección de alguno de los paradigmas de simulación, decidir cuál será el análisis más conveniente tanto para sistemas continuos como discretos. Será importante que pueda distinguir claramente los parámetros y las variables que intervienen, estimando los márgenes de incertidumbre y el rango de sensibilidad de las variables.

Para cumplir con los objetivos de esta asignatura se requiere del alumno un buen dominio conceptual y práctico de las herramientas matemáticas, numéricas y estadísticas usadas en el análisis de sistemas, (ya vistas durante la Carrera y especialmente en el Área de Modelo), y un manejo solvente de herramientas de programación a fin de traducir los modelos de simulación numérica a los lenguajes computacionales adecuados.

Esta asignatura tiene un carácter integrador de conocimientos y habilidades adquiridas durante la carrera, afianzándolos y aplicándolos en la resolución de casos concretos profesionales propuestos.

### **3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS DE LA ASIGNATURA**

- Desarrollar en el alumno la capacidad de abstracción para sintetizar en un modelo el problema a resolver, usando su propio lenguaje de programación o utilizando software específico.
- Describir el comportamiento de los sistemas utilizando modelos matemáticos.
- Utilizar la simulación de sistemas como herramienta para anticipar la información para la toma de decisiones.
- Diseñar y evaluar los resultados de experimentos de simulación.
- Desarrollar en el alumno la capacidad para aplicar los métodos de simulación en su realidad profesional.

Al terminar el curso el alumno debe ser capaz de:

- Comprender y simular sistemas continuos estacionarios.
- Analizar, modelar y simular procesos dinámicos continuos.
- Analizar, modelar y simular procesos discretos estocásticos.
- Comprender y simular procesos orientados a agentes.
- Utilizar o desarrollar lenguajes de programación orientados a la simulación.

### **4. DESARROLLO TÉMATICO DE LA ASIGNATURA SIMULACIÓN**

#### **4.1 CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

##### **4.1.1 DESCRIPCIÓN**

La *modelación* es una herramienta para resolver y analizar los problemas de la vida real. Es muy práctico cuando el ensayo sobre un prototipo es muy costoso o imposible. El modelado permite optimizar el sistema antes de su realización. Éste requiere del mapeo de un problema de la vida real al mundo de los modelos, este paso es el de *abstracción*, en donde se ensaya y estudian las posibles opciones, para luego trasladar las soluciones nuevamente al mundo real.

Se pueden distinguir entre modelos analíticos y modelos de simulación. En los modelos estáticos o *analíticos*, la salida es el resultado de una relación funcional entre entradas, parámetros. Son fáciles de implementar, pero requieren un conocimiento de detalle acabado de todas las variables intervinientes, por lo que no siempre son posibles de realizar. En los casos que estos no son posibles debe optarse por una simulación dinámica. En los modelos de *simulación*, se definen ciertas reglas (ecuaciones, diagramas de flujo, estado del sistema, agentes, etc.) que condicionan los cambios del sistema modelado en el futuro, a partir de su estado inicial o actual. Entonces la simulación es la descripción de los sucesivos cambios de estados (continuos o discretos) que asume el modelo a medida que transcurre el tiempo.

Dependiendo del nivel de abstracción, conocimiento de detalle del sistema, cantidad de objetos que intervienen, y objeto de la modelación, se definen los distintos paradigmas de la simulación. Así podemos distinguir los *sistemas dinámicos* (SD), o sistemas físicos o matemáticos, generalmente representados por ecuaciones diferenciales o variables de estados, que contienen un alto nivel de detalle y conocimiento del sistema. Normalmente el tiempo discurre en forma continua.

En el otro nivel de abstracción está la *dinámica de los sistemas* (DS) o dinámica industrial, primeramente ideada por Forrester (en los años 1950) estudia como la realimentación de información, la estructura organizacional, los retardos en las decisiones afecta el desempeño industrial. La unidad básica de simulación son los niveles, flujos e información que condicionan los flujos. Como veremos en el desarrollo de esta cátedra, DS se ha convertido en un poderosa herramienta de simulación de cualquier sistema dinámico, entre ellos modelos poblacionales, ecológicos, sociales, etc.

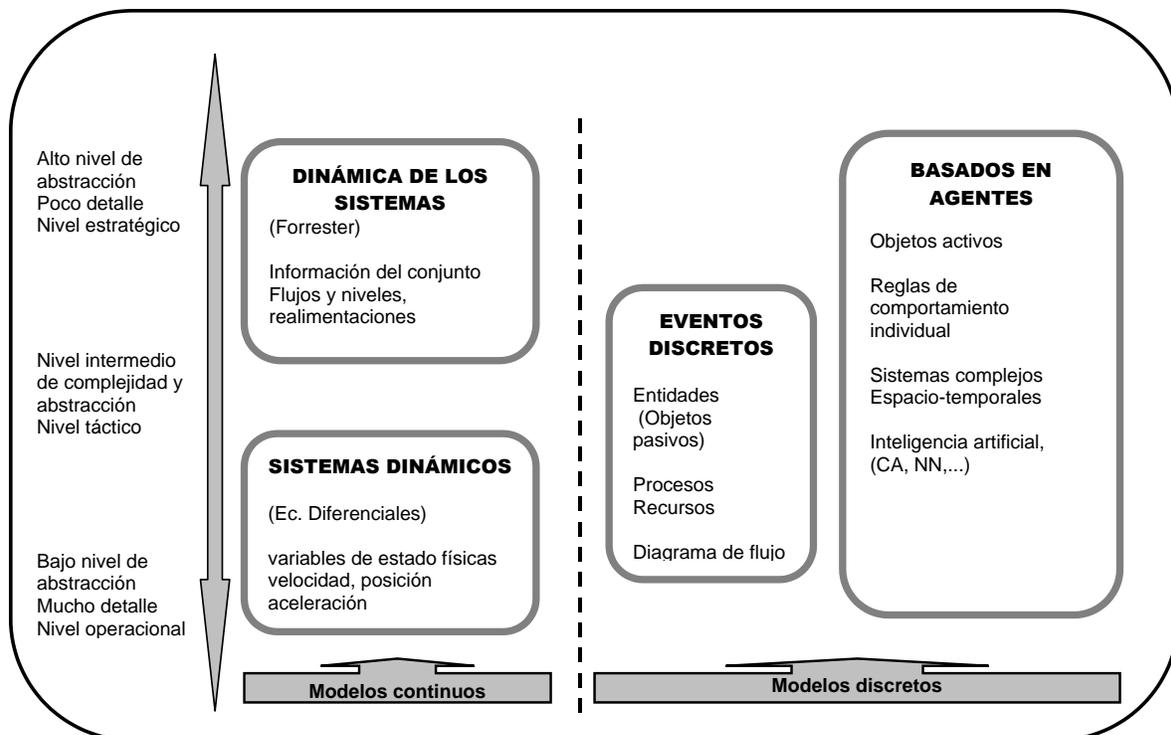
La simulación de *eventos discretos* (ED) fue propuesta por Gordon (alrededor de los 1960). En este paradigma el modelo se desarrollo para tiempos discretos. Una unidad o entidad se mueve a través de bloques de procesos (recibe un servicio) a través de líneas de espera. Se definen por entidad (o cliente) a los objetos, personas, materiales, documentos, máquinas; que reciben un proceso (o servicio). Se define por eventos a las situaciones predefinidas que ocurren, normalmente en forma aleatoria (p. ej. llegada de un cliente) generando un cambio de estado. El tiempo se mueve de evento en evento.

Finalmente en la simulación *basada en agentes* (BA) se define sólo el comportamiento de cada agente, desde un punto de vista particular y las reglas de transición de cada agente. El comportamiento global del sistema, surge del resultado de muchos agentes interactuando. El conjunto de agentes determina un comportamiento emergente (una propiedad del conjunto, pero inexistente en cada individuo). Esta simulación permite captar la estructura dinámica temporal pero también espacial. Se usa en biología, ecología, ciencias sociales, pero actualmente se los usa en numerosas aplicaciones. Se usa para estudiar sistemas complejos.

Los agentes pueden ser: personas, animales, aviones, vehículos, materiales, etc. Ejemplos de modelación por agentes son los autómatas celulares, las redes neurales, los algoritmos genéticos, todos asociados a la inteligencia artificial.

En el desarrollo de la cátedra iremos tratando cada uno de estos paradigmas primero desde un punto de vista general teórico y luego a través de la solución de casos prácticos. Para ello desarrollaremos nuestros propios códigos de programación o usaremos lenguajes típicos de programación. Dada la naturaleza diversa de las señales y variables a usar: tanto discretas como continuas, determinísticas o aleatorias, se requiere rever algunos conceptos tales como la simulación de Monte Carlo, generación de números pseudoaleatorios, generación de variables discretas y variables continuas. Finalmente, un capítulo importante de la simulación es la capacidad de evaluación, presentación y calibración de los resultados

**Figura 1: Paradigmas de la Simulación**



#### 4.1.2 OBJETIVOS

- Tener una visión general de los paradigmas de la simulación.
- Comprender la utilidad de la simulación como modelación y ensayo de sistemas.
- Reconocer las ventajas e inconvenientes de la simulación.
- Introducir al alumno en el ámbito propio de la simulación.
- 

#### 4.1.3 TEMAS

1. A. Presentación de la materia. Objetivos del curso. Conceptos básicos de señales, sistema, modelo y simulación. Aplicaciones típicas e importancia de la simulación. Ventajas y desventajas de la simulación. Simulación como modelado de sistemas.

### **4.2 CAPÍTULO II: SISTEMAS y MODELOS**

#### 4.2.1 DESCRIPCIÓN

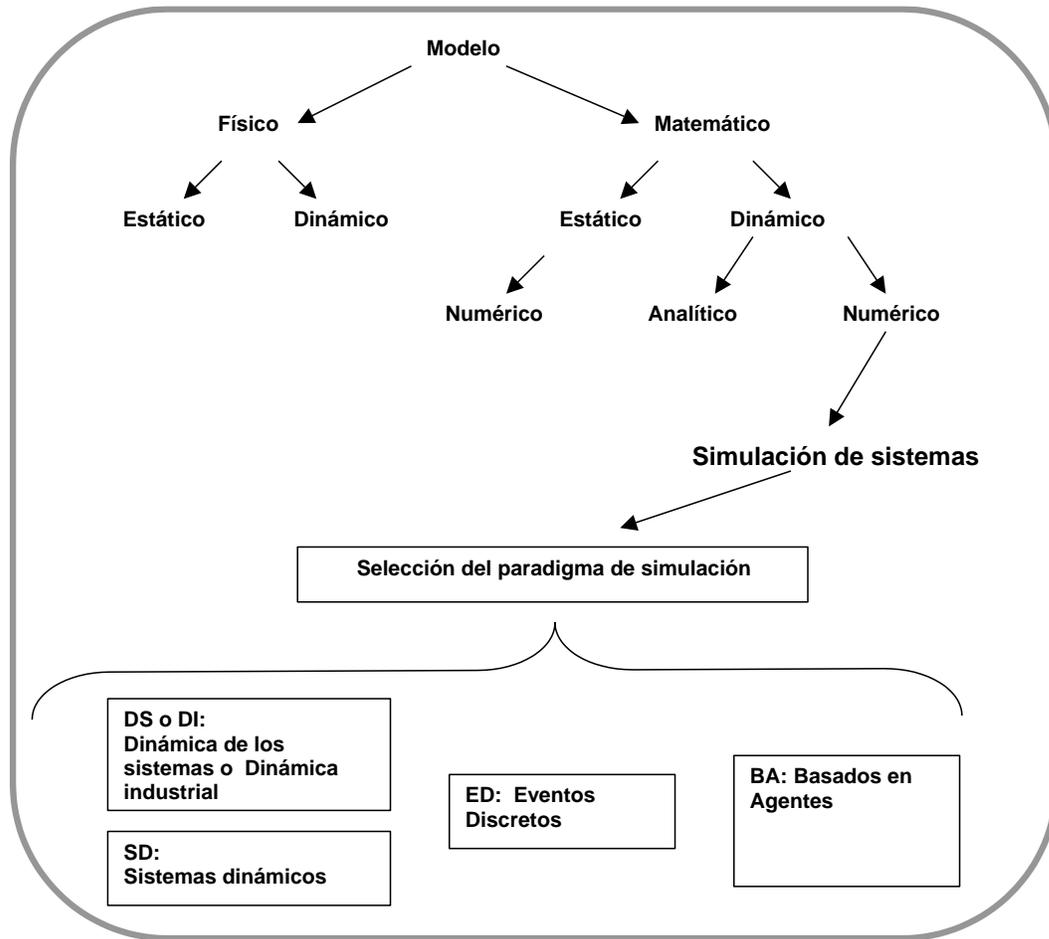
El primer objetivo de este capítulo es recordar los conceptos de señal, sistema y modelo. La obtención de un modelo matemático que represente el comportamiento de un sistema es necesaria para el proceso de simulación. La resolución de este modelo para el cálculo de las variables de salida a partir de unas determinadas señales de entrada constituye una simulación. En este primer tema se tratan y clasifican los conceptos de señal, sistema, modelo y simulación.

De esta forma veremos rápidamente los tipos de señales: continua o analógica, que se presenta comúnmente en los sistemas físicos, es de naturaleza continua en amplitud y en tiempo. Señal cuantificada. Es continua en el tiempo pero discreta en amplitud. Señal muestreada. Es discreta en el tiempo y continua en amplitud. Señal digital. Es discreta en tiempo y amplitud.

Luego se definen los conceptos de sistema y modelo indicando su clasificación típica. Se tratan únicamente los modelos matemáticos. Un *modelo matemático* es una descripción matemática de las relaciones funcionales existentes entre las señales de entrada y salida de un sistema. Ya que un modelo es sólo una aproximación al sistema real, generalmente no es posible obtener una descripción completamente exacta. En el proceso de elaboración de un modelo existe un compromiso entre fidelidad y complejidad. Los modelos más complejos, y por tanto más exactos, son más difíciles de analizar. Es importante considerar que un modelo sólo es válido en el contexto y bajo las suposiciones con las que ha sido desarrollado.

Al ser el modelo una representación aproximada de un sistema real, el modelo puede tomar las características del sistema. De este modo si el sistema es dinámico, el modelo que lo represente también es dinámico. Sin embargo, en algunas ocasiones se pueden emplear modelos con un carácter diferente al del sistema original. Por ejemplo, una aproximación lineal de un sistema no lineal, o un modelo discreto de un sistema continuo. Entonces clasificaremos a los sistemas (y modelos) en estacionarios o dinámicos, deterministas o estocásticos, continuos o discretos,  lineales o no lineales, y en otras categorías. De acuerdo a la modelación de sus principales variables podrán ser Sistemas continuos: definidos por ecuaciones diferenciales y/o algebraicas; sistemas muestreados: ecuaciones en diferencias; sistemas de eventos discretos asíncronos: modelos de colas; sistemas de eventos discretos síncronos: máquinas de estado finitos.

**Figura 2: Una de las posibles clasificaciones de los modelos**



#### 4.2.2 OBJETIVOS

*Se espera que el alumno:*

- Distinga, defina y clasifique las señales, sistemas y modelos reconociendo sus propiedades.
- Reconozca y especifique los parámetros y variables en un modelo.

#### 4.2.3 TEMAS

2. A. Señales continua o analógica, cuantificada, muestreada y digital. Definición de sistema y modelo. Clasificación: Estacionario o dinámico, determinístico o estocástico, continuo o discreto, lineal o no lineal, parámetros concentrados o distribuidos, modelos físicos, teoría de la caja negra, modelos de estado.

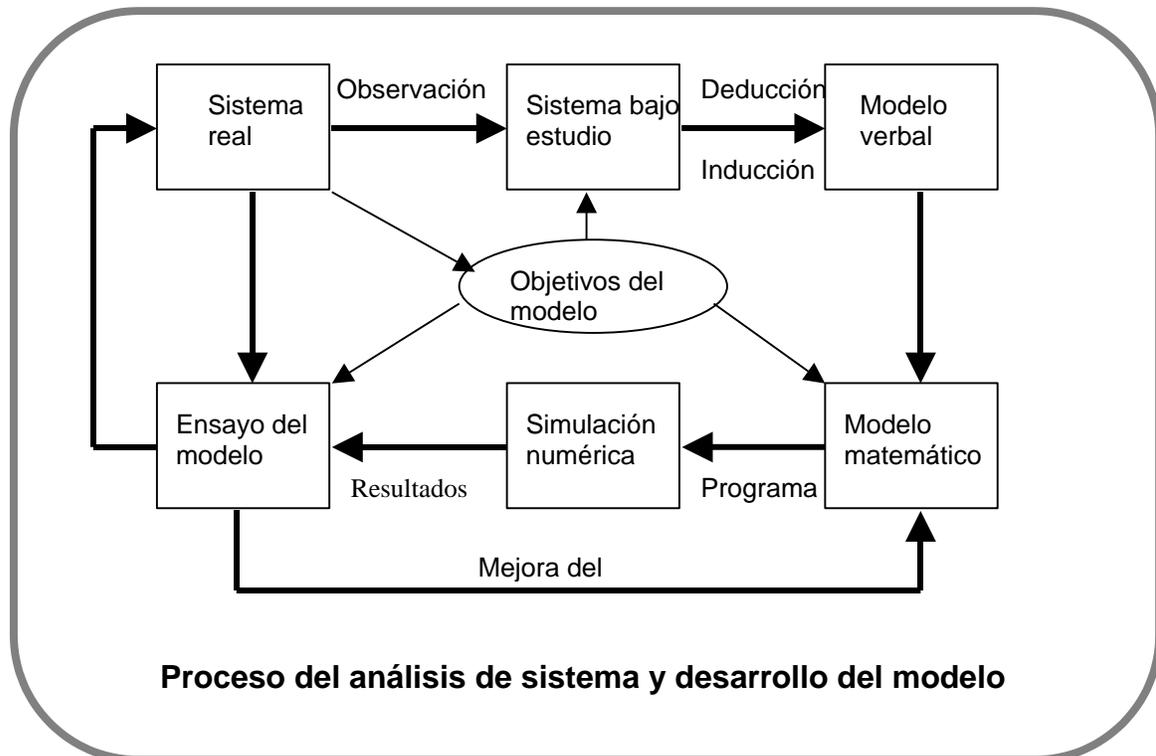
2. B. Diagrama de bloque de un sistema: entidades, atributos, eventos, variables de entrada, variables de estado, variables de salida, parámetros y perturbaciones. Propiedades de los sistemas.

### 4.3 CAPÍTULO III: SIMULACIÓN

#### 4.3.1 DESCRIPCIÓN

La finalidad de la simulación de sistemas es comprender lo mejor posible el comportamiento del sistema dado, generalmente con el objeto de tomar una decisión o controlar mejor ese sistema. Esto significa describir el sistema y conocer los procesos que lo conforman, de manera de responder y predecir el comportamiento del sistema bajo condiciones diversas. Normalmente no es suficiente una descripción estadística del sistema, ya que ésta sólo representa las condiciones pasadas del sistema, siendo imposible predecir qué ocurriría con el sistema en otras condiciones futuras posibles. Es por ello que para comprender mejor un sistema se desarrollen modelos que intentan representar lo más fielmente posible el sistema real, describir su comportamiento presente y ante posibles escenarios futuros. Evidentemente todo modelo será una simplificación de la realidad, por lo que será muy importante establecer con toda claridad los objetivos y alcances del modelo. La figura describe el proceso global de análisis del sistema y desarrollo del modelo.

**Figura 3: Etapas en el desarrollo de un modelo**



En este capítulo se pretende introducir al alumno en las diversas etapas de la formulación de un modelo de simulación, se definirán los criterios básicos de selección de cada etapa: por ejemplo, *Simpleza*: Un modelo se llama simple si contiene un número relativamente pequeño de parámetros; *Coherencia de los datos*: Se deben realizar una serie de pruebas para comprobar si el modelo es consistente con los datos. Así, toda variación de la aleatoriedad de los residuos debe ser cuidadosamente investigada, pues puede indicar la ausencia de alguna variable; *Consistencia con los conocimientos a priori*: La teoría de fondo debe proveer información a priori sobre el tamaño o magnitud de los parámetros usados. El modelo desarrollado debe ser consistente con los conocimientos a priori. *Admisibilidad de los datos*: El modelo debe ser incapaz de predecir valores que violan las condiciones de contorno. Por ejemplo muchas variables no pueden ser negativas, etc. *Estabilidad estructural*: Un modelo debe no sólo ajustarse bien a los datos usados en la muestra sino que debe también ajustarse bien a datos fuera de esa muestra. Para ello los

parámetros deben permanecer constante en el intervalo del período muestreado y mantenerse para los períodos posteriores. *Globalidad (abarcatividad)*: un modelo se dice que es abarcativo si frente a una formulación alternativa, el modelo puede explicar los resultados dados por el otro modelo. Este modelo no necesariamente debe ser más complejo, sino mantener su simpleza.

En estas etapas reconocemos la a) *descripción del problema*, b) la definición del *objeto del modelo*: c) describir el *entorno del sistema*: Una vez descrito el modelo y especificado su objeto, es posible definir los límites del sistemas. Esto es, que variables son externas y cuáles son internas al sistema. d) Expresar las ideas en un *modelo verbal*: El primer paso en el desarrollo de un modelo debería ser la descripción de sus elementos, sus funciones y sus relaciones estructurales, en un lenguaje sencillo. e) *Elementos del sistema*: En el modelo verbal ya aparecen los principales elementos del sistema con sus categorías correspondientes (parámetros externos, parámetros del sistema, variación temporal de las variables del entorno, condiciones iniciales, tasas de variaciones y variables intermedias). f) *Relaciones estructurales*: Las relaciones y uniones estructurales entre los elementos deben incorporarse al modelo verbal. En cuanto se conocen estas relaciones, ya se pueden realizar el diagrama del sistema. g) *Diagrama de efectos*: Este diagrama contiene los elementos del sistema junto con sus relaciones estructurales. Este diagrama es la base para la elaboración del diagrama de simulación. h) *Relaciones funcionales*: El diagrama de efectos, muestra los elementos con sus relaciones, pero no muestra las funciones propias. Estas relaciones funcionales pueden estar expresadas como funciones matemáticas, estadísticas o en forma de tablas. i) *Cuantificación*: El desarrollo de un programa de simulación nos exige una cuantificación de las variables en juego. En especial deben considerarse las condiciones iniciales de las variables del sistema. j) *Diagrama de simulación*: Una vez que se conocen los elementos, las funciones, la estructura del sistema y todos los parámetros, puede realizarse el diagrama de simulación. k) *Programación*: El modelo de simulación, puede desarrollarse en diversos lenguajes de programación. l) *Prueba, corroboración y validación del modelo*: Una vez que el modelo corre por primera vez, debe comprobarse la validez del mismo. Este paso debe hacerse exhaustivamente para descubrir posibles errores en la formulación. Normalmente se usan datos históricos, si existen, para comprobar la validez del modelo. m) Simulación y aplicación: Una vez probado el modelo, se ingresan todos los parámetros iniciales, tiempos, condiciones de entorno. A través de numerosas corridas del modelo, comienza a entenderse el sistema. Generalmente la simulación tiene por objeto comprobar otras condiciones que al momento pudieron no haberse dado. Debe tenerse siempre presente el objeto del modelo y su validez. No es apropiado extender las conclusiones más allá de la validez del modelo.

De estos criterios deberá surgir el nivel de abstracción requerido, conforme al objeto del modelo. Juntamente con la naturaleza física o matemática del modelo se seleccionará entre los paradigmas de la simulación la conveniente de uno u otro tipo de modelo: sistemas dinámicos, dinámica de los sistemas, sistemas de eventos discretos y sistemas basados en agentes. En éstos se analizará las ventajas y desventajas de usar uno u otra formulación.

Los *sistemas continuos*, que se modelan con ecuaciones diferenciales y/o algebraicas, presentan estados continuos en tiempo continuo. Los *sistemas discretos* o *muestreados* merecen un estudio detallado. Definidos como sistemas de estado continuo y tiempo discreto, necesitan algunas aclaraciones sobre el carácter continuo del estado. En primer lugar, se abordará el origen de estos sistemas. Los *sistemas discretos* o *muestreados* se originan cuando se utilizan dispositivos digitales en los sistemas de control de procesos o en los sistemas de medida de señales.

#### 4.3.2 OBJETIVOS

El alumno deberá poder

- Reconocer las etapas de formulación de un modelo simple a partir de la observación y descripción de la realidad.
- Describir verbalmente un modelo simple.
- Seleccionar el paradigma adecuado para el sistema seleccionado.
- Traducir en lenguaje computacional un modelo simple, a través de la resolución de un caso de ingeniería para sistemas dinámicos.
- Que comprenda con claridad el alcance de su sistema simulado

4.3.3 TEMAS

3.A. Etapas para realizar una simulación. Factores a analizar en una simulación. Definición del problema. Definición, pasos involucrados en la simulación de un sistema, evaluación del modelo de simulación, validación, diseño de experimentos de simulación, análisis de resultados. Condiciones iniciales y de contorno. Tratamiento analítico o numérico de un modelo matemático.

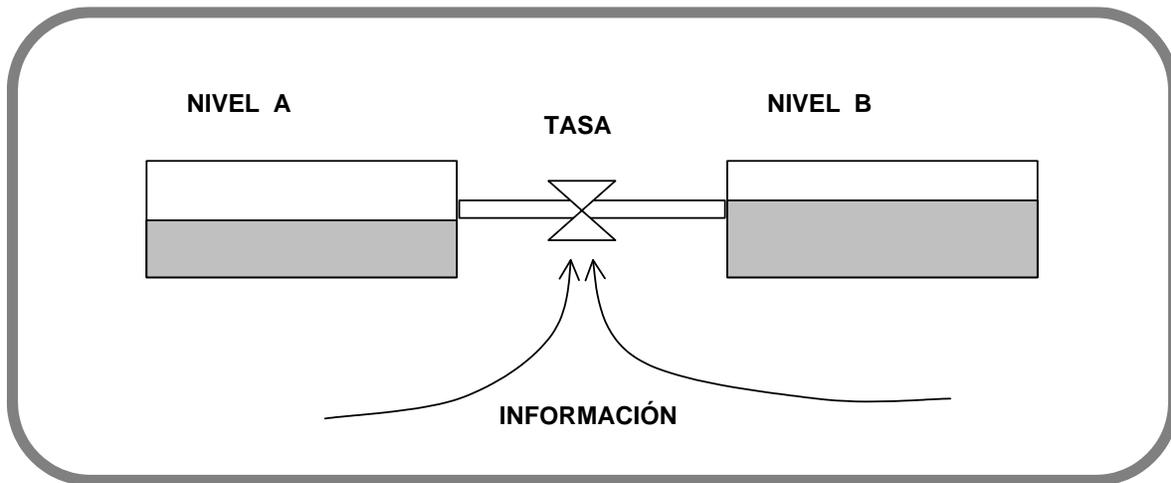
3.B. Nivel de abstracción: nivel de detalle u operacional, nivel intermedio o táctico, nivel alto o estratégico. Paradigmas o tipos de la simulación: sistemas dinámicos, dinámica de los sistemas, sistemas de eventos discretos y sistemas basados en agentes. Ventajas, desventajas y riesgos de la simulación. La simulación en comparación con las soluciones analíticas.

**4.4 CAPÍTULO IV: SIMULACIÓN DE SISTEMAS CONTINUOS**

4.4.1 DESCRIPCIÓN:

Los modelos de cambios continuos se caracterizan porque sus variables se definen en términos de ecuaciones que describen su comportamiento en el tiempo. Los modelos continuos se construyen en a partir de ecuaciones diferenciales o por medio de variables de estado. En este capítulo se introduce el concepto de variable de estado en orden a ilustrar como los modelos con redes se pueden desarrollar en conjunto con variables cuyos valores cambian continuamente con el tiempo. Una variable de estado se puede monitorear para detectar el momento en que su valor cruza un valor predefinido. Tales cruces se llaman eventos de estado, y cuando esto ocurre, se puede poner una entidad en la red para iniciar cualquier cambio que se deban desarrollar. En este capítulo, se introducen los conceptos de variables de estado y de eventos de estado. Forrester describió a los sistemas continuos como una interacción entre niveles o variables de estados y flujos o tasas, controlados por información que realimenta el sistema.

**Figura 4: Dinámica de los sistemas**



- **Define un sistema por un conjunto de niveles, flujos, tasas , retrados, y realimentación de información**
- **Niveles: cantidad o existencia de bienes: metriales, conocimiento, personal, dinero, etc**
- **Flujo: variación de los bienes, regulada por tasas y retardos**

Este capítulo introducirá al alumno en la descripción de los sistemas dinámicos continuos mediante el uso de los diagramas de Forrester. Para ello se usarán los lenguajes de programación del tipo VENSIM o STELLA. Con la implementación de modelos poblacionales, de inventarios, etc Se busca que el alumno se familiarice con la operación de los programas, pero también asocie la idea de los gráficos con un sistema de ecuaciones diferenciales o sistemas de variables de estado. Otro aspecto importante que se debe considerar en el estudio de sistemas dinámicos es el retraso que se produce en la transmisión de información o de materiales a lo largo de estos. Al construir el diagrama de un sistema se debe considerar que la relación causal que liga a dos variables puede implicar la transmisión de información o material para la cual se requiere el transcurso de cierto tiempo; es entonces cuando se está en presencia de un retraso, retardo o demora. Para formarse una idea sobre la situación de cierto problema es necesario que trascorra cierto tiempo antes de tomar una decisión, y una vez tomada está, debe transcurrir algún tiempo hasta que se observen los efectos en la misma. Estos retrasos pueden producir oscilaciones en la salida de los sistemas. Los retrasos de materiales se producen cuando existen elementos en el sistema que almacenan el material que fluye por el mismo. El orden de los retrasos viene dado por el número de niveles necesarios para la simulación del mismo. Finalmente se estudiarán sistemas lineales y no lineales de segundo grado usando los diagramas de Forrester a fin de introducir al alumno con algunos problemas de estabilidad derivados de los mismos, y su posible caracterización mediante diagramas de fases. Se darán algunos conceptos introductorios sobre caos determinístico

#### 4.4.2 OBJETIVOS

- Reconocer los conceptos básicos sobre simulación continua de sistemas.: nivel, tasa, realimentación y retardo.
- Reconocer la estructura de los programas de simulación continua.
- Desarrollar de un modelo usando diagramas de Forrester.
- Traducir un modelo continuo a un lenguaje de programación VENSIM, STELLA o similar.
- Desarrollar modelos poblacionales y ecológicos.
- Comprender los efectos de estabilidad y oscilación en sistemas de segundo grado.

#### 4.4.3 TEMAS

4. A. Conceptos básicos sobre simulación continua de sistemas. Métodos de integración. Ventajas y desventajas, Sistemas de primer orden, sistemas de segundo orden. Variables de estado. Retrasos y realimentación. Diagramas causales, representación temporal de funciones, ecuaciones, codificación.

4. B. Diagramas de Forrester: elementos, reglas para la formación de los diagramas, construcción, ejemplos. Avance del tiempo de simulación, ecuaciones de nivel y tasas. Modelos de crecimiento y decrecimiento exponencial. Lenguajes de Simulación de sistemas continuos (VENSIM, STELLA, otros). Modelo de Inventario.

4.C. Análisis de sistemas lineales y no lineales mediante lenguajes de simulación: Oscilador lineal sin amortiguamiento. Oscilador lineal con/sin amortiguamiento. Modelos de población. Modelos ecológicos evolutivos: ecuación logística, ecuación de Lotka Volterra. Estabilidad. Diagramas de fase. Oscilador caótico. Introducción al caos determinístico.

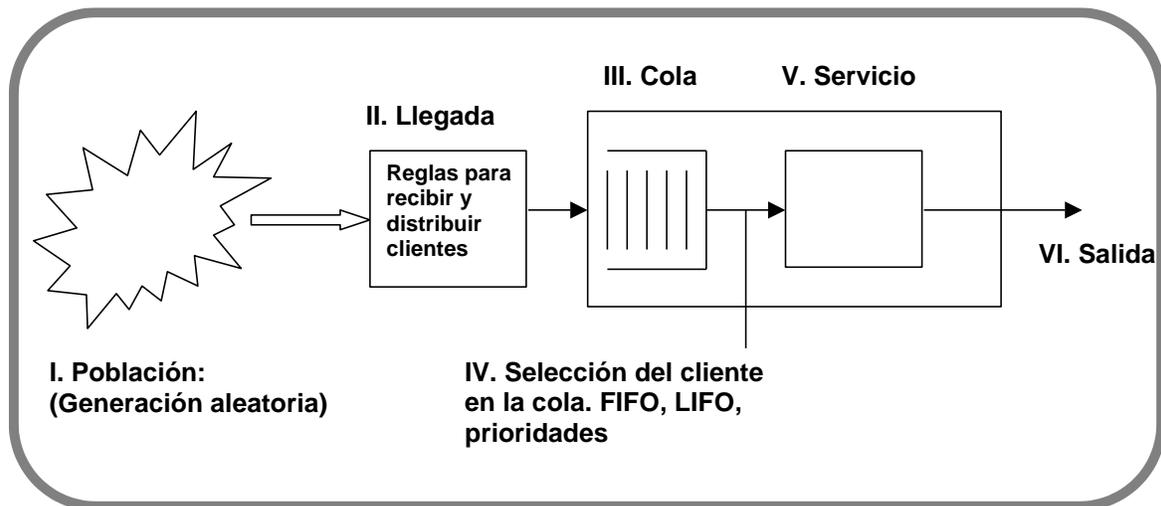
### 4.5 **CAPÍTULO V: SIMULACIÓN DE SISTEMAS DISCRETOS**

#### 7.5.1 DESCRIPCIÓN

Los *sistemas de eventos discretos*, son sistemas de estados discretos cuya transición de estados (evolución) está dirigida por eventos. Un evento es un suceso instantáneo que puede cambiar de manera brusca el valor de algunas señales o la relación entre ellas. Cuando los eventos se producen en instantes predeterminados, generalmente periódicos, se habla de *sistemas de eventos discretos sincrónicos* o *periódicos*. Un ejemplo de estos sistemas es un circuito electrónico

secuencial síncrono. Estos circuitos actualizan sus estados en los flancos de una señal de reloj periódica (eventos síncronos). También reciben el nombre de *máquina de estados finitos*. Una *máquina de estados finitos* es un sistema secuencial de estado discreto y tiempo discreto, que consta de tres partes: entradas, estados y salidas. El número de posibles estados es fijo (estados finitos), y las transiciones entre estos dependen del valor de las entradas y del estado en que se encuentre. Las salidas dependen del estado actual y en algunos casos del valor de las entradas. Si los eventos tienen lugar en cualquier instante, se habla de *sistemas de eventos discretos asíncronos* o *aperiódicos*. Un caso típico de estos son los modelos de línea de espera. Por ejemplo se desea determinar el tiempo medio de espera de una persona en las colas formadas en cualquier establecimiento y su relación con el número de ventanillas de atención al público, con objeto de calcular un número de empleados óptimos en relación a unos criterios determinados. Para estudiar este tipo de problemas se utilizan los modelos de colas. Para caracterizar el sistema necesitamos saber el número de puestos, el número de personas en cada cola, etc. Los eventos que hacen evolucionar los estados del sistema son la llegada de un nuevo usuario a cada cola y la salida del usuario atendido en cada cola. Estos eventos se producen según las distribuciones probabilísticas que se consideren, y por tanto no en instantes predeterminados. En consecuencia, se trata de un *sistema de eventos discretos asíncronos*

**Figura 5: Simulación basada en eventos discretos**



- **El modelo se estudia para tiempos discretos.**
- **Una unidad o entidad se mueve a través de bloques de procesos (recibe un servicios) a través de líneas de espera.**
- **Entidad (o cliente) : objetos, personas, materiales, documentos, máquinas**
- **Eventos: situaciones predefinidas que ocurren, normalmente en forma aleatoria (p. ej. llegada de un cliente), son cambios de estados.**
- **Procesos (o servicios): actividades predefinidas a realizar sobre el cliente, por ejemplo : cargar gas al auto, atender un cliente en la caja, etc.**
- **Se usa para evaluar diseños de plantas, “cuellos de botellas” en el funcionamiento de una fábrica, evaluar rendimientos, p. ej. cuántos empleados son necesarios para atender en un banco, etc**
- **El tiempo se mueve de evento en evento.**

En este capítulo se espera que el alumno reconozca los modelos típicos de naturaleza discreta y modelable por eventos. Se introducirá el lenguaje de simulación GPSS / SIMULA / SIMSCRIP II para simular varios casos típicos como los de línea de espera. Se reverán las nociones principales de variables y distribuciones aleatorias. Un punto central es el reconocimiento de los diversos modos de programación temporal de eventos, programación por evaluación de actividades y programación por interacción del proceso.

#### 4.5.2 OBJETIVOS

- Reconocer los componentes y organización de un modelo de simulación discreto.
- Determinar los mecanismos de avance del tiempo: métodos de incremento fijo e incremento variable de tiempo.
- Representación de arribos de nuevas entidades. (clientes, piezas, etc.).
- Representación de lo que sucede con las entidades dentro del sistema.
- Programación de los eventos discretos mediante una sucesión temporal de eventos, por evaluación de actividades, o mediante interacción de proceso.
- Utilización de lenguajes de programación para eventos discretos tipo GPSS/PC, SIMSCRIPT II y SIMULA.

#### 4.5.3 TEMAS

5. A. Simulación de sistemas discretos. Tipo de lenguajes específicos de simulación. Revisión histórica de algunos programas típicos GPSS/PC, SIMSCRIPT II y SIMULA. Lenguajes de simulación vs. software de simulación. Programación temporal de eventos. Programación por evaluación de actividades. Programación por interacción del proceso.

5. B. Ejemplos de Modelos de líneas de espera: incremento fijo y variable de tiempo, sistemas de múltiples servidores en paralelo, múltiples servidores en serie, sistemas de producción.

5.C. Mecanismos de avance del tiempo: métodos de incremento fijo e incremento variable de tiempo. Técnicas de modelación: Grafos de sucesos. Análisis de las Salidas. Experimentación y optimización con modelos de simulación discretos.

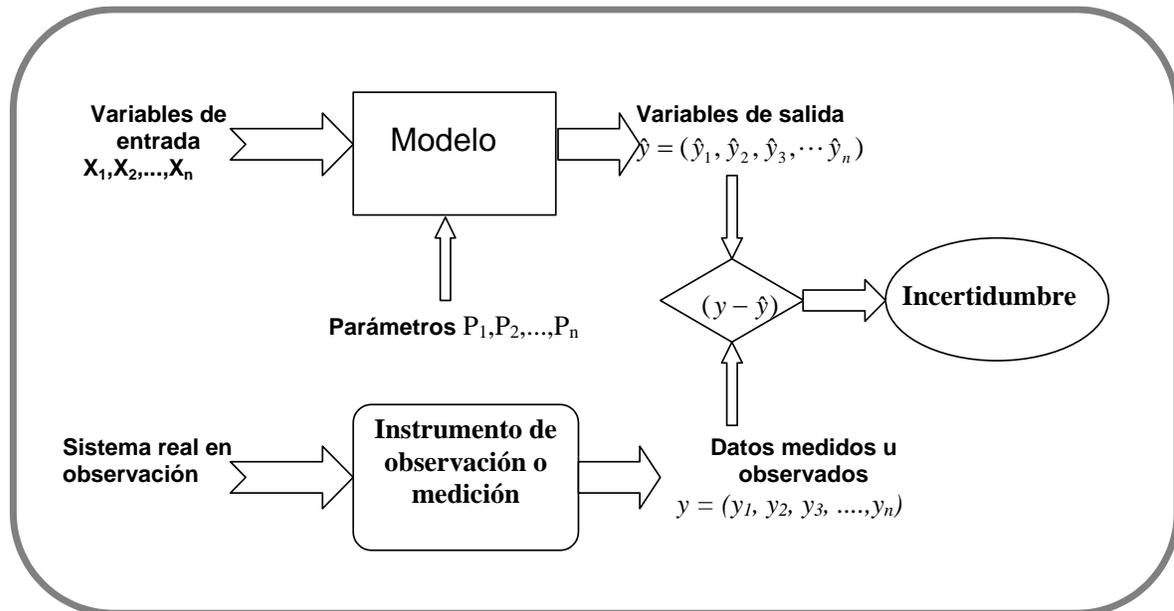
### **4.6 CAPÍTULO VI: CONTROL Y APTITUD DE UN MODELO**

#### 7.6.1 DESCRIPCIÓN

En los capítulos anteriores se explicó en forma general y a través de ejemplos, el mecanismo para la formulación de un modelo. En este proceso una de las etapas fundamentales de la formulación del modelo matemático, es la estimación de los parámetros y coeficientes que hemos de usar en nuestro modelo. En muchas ocasiones estos parámetros y coeficientes surgen de estudiar la realidad a través de mediciones, observaciones, encuestas o aproximaciones realizadas sobre el sistema real.

Es por ello que es fundamental dominar las herramientas de la estadística, que nos permitirán no sólo evaluar estos parámetros, sino también, caracterizar el comportamiento del modelo diseñado. Por otra parte, los métodos de simulación arriba presentados, tienen como parte central la generación de entradas aleatorias, como parte del proceso de explorar diversos escenarios posibles. Por ello se ha incorporado un breve repaso a los principales conceptos de la muestra, población, probabilidad y estadística. Tanto en la estadística como en la probabilidad, se usan muestras y poblaciones, pero cada una desde un punto de vista "inverso". En los problemas de *estadística* se conocen las características de la muestra y se infieren conclusiones de la población. Mientras que en los problemas de *probabilidad*, se suponen conocida una población y se discuten aspectos sobre las características que tendrá una muestra extraída de esa población

Figura 6: Control del modelo



Una vez seleccionado el modelo, el tema principal es evaluar el comportamiento del mismo, es decir, responder si el modelo realizado es adecuado para el objetivo planteado. En general, el modelo simulado diferirá del sistema real modelado. El origen de esta incertidumbre se origina en las numerosas inexactitudes propias del modelo; desde la varianza de las mediciones, defectos en el modelo verbal, imprecisiones en la determinación de los parámetros, hasta errores de redondeo o de cálculo. Por lo tanto es importante primero caracterizar la incertidumbre del modelo y estimar la sensibilidad del modelo a las diversas variables usadas. Una vez hecho esto, el segundo paso es generar datos (aleatorios) lo más parecido posible a la realidad, a fin de estudiar las posibles salidas del modelo a escenarios distintos de los medidos. Ambos problemas plantean la necesidad de simular datos aleatorios de acuerdo con una función de probabilidad determinada. Esta función de probabilidad viene definida por la serie de observaciones realizadas sobre el sistema real. El cálculo de la sensibilidad e incertidumbre de un modelo puede realizarse por diversos medios. Entre ellos se pueden mencionar el método de la *propagación de la incertidumbre*, especialmente para estimar la influencia de cambios en los parámetros de entrada; el *análisis de incertidumbre*, que estudia el efecto que tiene la incertidumbre de las variables de entrada en la incertidumbre de las variables de salida; el *análisis de sensibilidad*, que permite determinar el peso relativo en cambios en las variables de entrada; el *estudio de los escenarios posibles*, similar al anterior pero pesando cada variable de entrada con una probabilidad de ocurrencia, y analizando sus efectos a las salidas, etc. Todos estos métodos tienen versiones analíticas y numéricas. Debido a la complejidad de algunos métodos analíticos frente a sistemas con más de dos o tres variables, se han desarrollado varios métodos numéricos. En este capítulo desarrollaremos principalmente el método de simulación de Monte Carlo y similares, que nos permitirá la evaluación de un modelo y determinar su incertidumbre y sensibilidad. Este método análisis de incertidumbre se basa en una secuencia de simulación, generalmente caracterizada en tres pasos importantes: 1) caracterización de los parámetros y variables de entrada, y generación de muestras aleatorias; 2) ejecución del modelo; 3) caracterización estadística de los valores de la salida.

El método de muestreo por Monte Carlo, sin embargo, tiene el inconveniente que su precisión aumenta con el número de muestras realizadas. Esto exige que se realicen numerosas corridas del programa de simulación del modelo, lo que requiere tiempo y disponibilidad computacional. En algunos modelos complejos, este problema puede ser una limitación seria. Una forma de salvar

estos inconvenientes es la planteada por el método de muestreo de Monte Carlo estratificado denominado *Muestreo Hiper cubo Latino*. En este método se divide en tres partes: a) estratificación, b) muestreo de cada intervalo y c) apareamiento aleatorio.

El objetivo del análisis de sensibilidad es cuantificar el efecto que produce un cambio de una variable de entrada en la salida. Existen diversos métodos para medir esta sensibilidad, entre ellos podemos citar los *coeficientes de correlación (CC)*, los *coeficientes de correlación parcial (PCC)*, los *coeficientes de regresión normalizados o estándar (SRC)*, los *coeficientes de correlación de rango (RCC)*, entre otros. Finalmente en este capítulo se dedicará algún momento para rever los métodos matemáticos disponibles para test de hipótesis y de comparación de distribuciones y prueba de calidad del ajuste como ser el Chi-cuadrado, Chi-cuadrado con probabilidades iguales y Kolmogorov-Smirnov.

El punto central de este capítulo se orienta entonces a capacitar al alumno en el manejo de herramientas estadísticas propias que le permitan evaluar las datos y salidas de los modelos; pudiendo caracterizar apropiadamente validez del modelo realizado.

Dado que muchas de las herramientas aquí propuestas son necesarias en forma paralela con el desarrollo de los capítulos anteriores, estos temas se irán intercalando, sea en forma de trabajos prácticos, sea en forma de exposición teórica cuando los contenidos así lo requieran.

#### 4.6.2. OBJETIVOS

- Estudiar el comportamiento de un modelo usando las herramientas del análisis estadístico
- Determinar la incertidumbre y sensibilidad de un modelo usando herramientas y métodos estadísticos.
- Generar números pseudoaleatorios, de variables discretas: método de tablas de búsqueda, variables continuas: métodos de inversión, rechazo y composición.
- Determinar la validez y ajuste del modelo.

#### 4.6.3. TEMAS

6.A. Generación de Números Aleatorios: Métodos congruenciales, pruebas estadísticas para comprobar la aleatoriedad de la sucesión. Técnicas de Montecarlo: método de la transformada inversa, método de la composición, método del rechazo, generación de variables estocásticas de distribuciones continuas y discretas de probabilidad. Muestreo estratificado.

6. B. Control y aptitud de un modelo: Fuentes de incertidumbre de un modelo, objetos del análisis de incertidumbre y sensibilidad. Métodos para el análisis de incertidumbre. Superficie de respuesta Métodos para el análisis de sensibilidad: coeficientes de correlación parcial, coeficientes de regresión estándar.

6. C. Ajuste de curvas: métodos de regresión lineal, polinómica y múltiple, coeficientes de determinación y correlación. Test de hipótesis, ensayos de una parte de la población, Análisis de varianzas: ANOVA. Prueba de calidad del ajuste: Chi-cuadrado, Chi-cuadrado con probabilidades iguales, Kolmogorov-Smirnov. Presentación de los resultados. Calibración y validación de los resultados. Alcances e interpretación de los resultados.

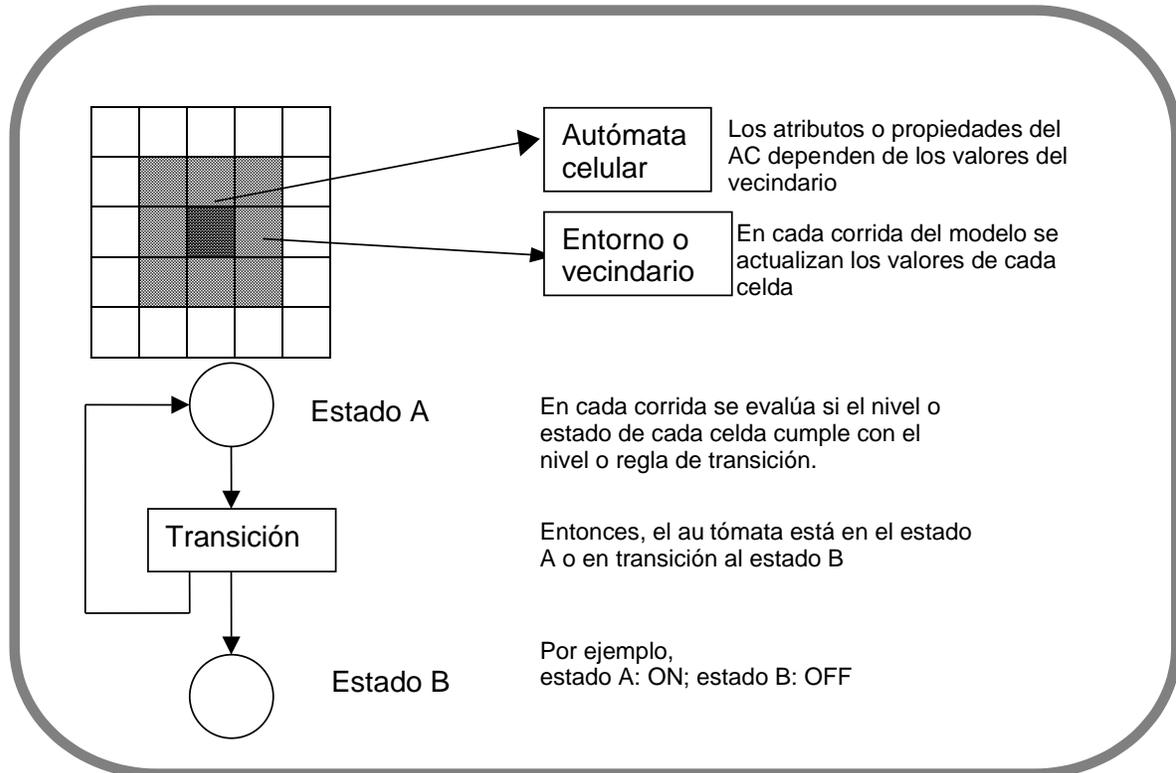
### 4.7 **CAPÍTULO VII: SIMULACIÓN BASADA EN AGENTES**

#### 4.7.1. DESCRIPCIÓN

La simulación basada en agentes utiliza herramientas computacionales para modelar y estudiar el comportamiento de sistemas complejos, desde una concepción bottom-up del problema. Comienza con la identificación y posterior implementación mediante software de las entidades individuales o agentes que participan, así como de sus relaciones e interacciones, para finalmente estudiar los fenómenos que emergen mediante la simulación informática del sistema. Esta idea implica simular las interacciones de muchas individualidades y observar el comportamiento del conjunto. La descripción del nivel micro de un sistema sería suficiente para generar, y por lo tanto explicar, la macro-estructura del sistema, que suele ser con frecuencia

el objeto de interés en el estudio de los fenómenos reales. El modelado basado en agentes constituye una metodología especialmente interesante para abordar los estudios espacio-temporales Desde una perspectiva metodológica porque:

**Figura 7: Simulación basada en agentes**



- Se define sólo el comportamiento de cada agente, desde un punto de vista particular.
- Se definen las reglas de transición de cada agente.
- El comportamiento global del sistema, surge del resultado de muchos agentes interactuando. El conjunto de agentes determina un comportamiento emergente (una propiedad del conjunto , pero inexistente en cada individuo).
- Comparten un espacio común con otros agentes.
- Pueden captar la estructura dinámica espacial y temporal.
- Se usa en biología, ecología, ciencias sociales, pero actualmente se los usa en numerosas aplicaciones. Se usa para estudiar sistemas complejos.
- Agentes: personas, animales, aviones, vehículos, materiales, etc,
- Estructura: casa, calles, trabajo, vías de circulación, antenas de celulares, etc
- Por ejemplo: autómatas celulares, redes neurales, algoritmos genéticos, todos asociados a la inteligencia artificial.

- Son expresión de una metodología bottom-up que se adapta mejor al estudio y comprensión de fenómenos complejos. Desde una perspectiva de modelado de fenómenos temporal-geográfico porque permite:
- Un proceso de modelado más fiel a la realidad, por cuanto recoge con más detalle las características de los agentes y el entorno que conforma el problema observado. Podemos construir modelos contextualizados, donde el comportamiento de los agentes depende de los factores geográficos, económicos, sociales y culturales observados en los fenómenos reales.
- Observar la evolución del sistema modelando la micro diversidad y los procesos de selección que explican los fenómenos como por ejemplo, la innovación, el cambio tecnológico, la aglomeración, así como los fenómenos de dependencia histórica.
- Crear modelos completos sin tener que recurrir a variables exógenas, ya que la dinámica del sistema está dirigida únicamente por las interacciones entre los agentes.
- Integrar el espacio geográfico como elemento activo de los modelos.

Desde una micro perspectiva, que mira con detalle los actores que intervienen, porque permite:

- Modelar la diversidad de agentes, los individuos (consumidores, trabajadores, emprendedores), los grupos (empresas, familias, organizaciones) o las instituciones (mercados, regiones).
- Captar la individualidad de cada agente, sus relaciones e interacciones, así como modelar su comportamiento, caracterizado por la racionalidad limitada en la toma de decisiones y por procesos de aprendizaje endógenos.
- Aprovechar los aportes de otras ramas de la Inteligencia Artificial que han desarrollado diferentes estrategias para modelar los procesos de aprendizaje de las personas (autómata celular, algoritmos genéticos, redes neuronales).
- Modelar no solo la proximidad geográfica sino también otros niveles de proximidad, como la proximidad cognitiva, o la proximidad social a través de las redes sociales tan importantes en los fenómenos de difusión de conocimiento.

Y por último como herramienta computacional porque permite:

- Construir herramientas de simulación, a modo de laboratorios experimentales con los que poder hacer investigación teórica, positiva y normativa.
- Integrar los modelos multi-agentes con los sistemas de información geográfica (GIS), para desarrollar modelos de simulación de entornos reales.
- Realizar estudios más sistemáticos de los diferentes factores que determinan las economías de aglomeración, simulando sus efectos conjuntamente y por separado.

Aunque no debemos obviar alguna de las dificultades que el modelado basado en agentes presenta, y que podemos resumir en:

- Es probable encontrarse con diferentes modelos capaces de explicar un fenómeno, lo que obliga a estudiar cuál de ellos se aproxima más al mundo real, tarea tanto más compleja y heurística en tanto los fenómenos que estamos modelando sean más complejos.
- El trabajo de definir, implementar y simular modelos software de agentes en ocasiones puede adolecer de falta de rigor científico. Aspecto muy importante cuando se pretende explicar algo en base a un modelo generado mediante una colección de líneas de código

Aquellos que desean utilizar estas técnicas de simulación han de ser conscientes de la complejidad de las diferentes etapas de abstracción, implementación y simulación, así como de las

repercusiones que posibles errores en ellas pueden tener en los resultados finales. A diferencia de otras metodologías el modelado basado en agentes requiere de técnicas de validación a través de la replicación de modelos, la repetición de experimentos y la comparación de resultados.

Este capítulo se orienta a dar una introducción al nuevo paradigma de simulación basada en agentes, dar sus principios básicos de funcionamiento y realizar algunos ejemplos de simulación sencilla. El objetivo es dar a los alumnos una nueva perspectiva y que pueda comparar las ventajas y desventajas de este tipo de simulación con las de simulación continua y discreta.

#### 4.7.2 OBJETIVOS

Se espera que el alumno:

- Tome conocimiento de la simulación basada en agente.
- Conozca las potencialidades y áreas de aplicación actuales.
- Realice una programación de casos sencillos.
- Compare con otros paradigmas de simulación.

#### 4.7.3. TEMAS

7. A. Definición de agente, propiedades de cooperación, complejidad, emergencia, mecanismos de autoorganización, autómatas celulares, el juego de la vida, áreas de aplicación, ejemplos de sociología, ecología, urbanismo, teleinformática y telecomunicaciones. Clasificación de agentes: Agentes Inteligentes, Reactivos. Pro-Activos, Interacción con otros agentes. Simulación basada en agentes. Simulación de un sistema presa predador en dos dimensiones. Comparación con otros métodos de simulación. Ventajas y desventajas. Introducción a la modelación multiagente.

### 5. PROGRAMA DE TRABAJOS PRÁCTICOS

Todas las prácticas se desarrollarán en las aulas de prácticas, donde el alumno deberá resolver los caos propuestos a través de la escritura de sus propios códigos de programación o mediante el uso de lenguajes propios de simulación. Los temas centrales abarcan:

- La generación de números pseudoaleatorios.
- La construcción de generadores de datos y distribuciones discretas y continuas.
- La simulación de sistemas estáticos y continuos en diversas aplicaciones como modelos poblacionales, ecológicos, osciladores, etc.
- La simulación de sistemas discretos, para aplicaciones en modelos de colas, inventarios, y otros ejemplos.
- El análisis de las salidas y experimentación con modelos discretos.
- La simulación de sistemas basados en agentes sencillos, como autómatas celulares.

*TRABAJO PRÁCTICO N°1:* Generación de números aleatorios. Técnicas para generar números aleatorios uniformes y no uniformes. Prueba de validez de números pseudo-aleatorios. Generación de distribuciones típicas y arbitrarias. El alumno deberá escribir su propio programa computacional, presentar los gráficos de distribuciones y comprobaciones apropiadas.

*TRABAJO PRÁCTICO N°2:* Resolución de un modelo simple continuo y dinámico: Establecer las etapas en la formulación de un modelo: determinar el modelo verbal, modelo matemático formal. Resolver usando ecuaciones diferenciales, integrales y variables de estado. Resolución de un sistema de segundo grado: oscilador lineal con amortiguación: masa-resorte-amortiguador, circuito RLC; sistema poblacional simple, sistema poblacional con estratificación etárea. Sistema presa-predador. El alumno deberá escribir su propio programa computacional y graficar los resultados.

*TRABAJO PRÁCTICO N°3:* Resolución de un modelo simple usando la dinámica de los sistemas. Se empleará el programa computacional VENSIM. Se reprogramarán los casos del práctico 2 y se

compararán los resultados. Resolución de un caso de inventario de almacenes; modelo poblacional, modelo ecológico presa-predador. Se analizarán los efectos del retardo y realimentación en la estabilidad del sistema. Resolución de sistemas oscilatorios caóticos, diagramas de fases.

**TRABAJO PRÁCTICO N°4:** Resolución de sistemas usando la técnica de eventos discretos. Se usará el programa GPSS / SIMULA O SIMSCRIPT II.5, para resolver diversos casos típicos de colas o líneas de espera: resolver algunos casos como: una estación de servicio de carga de combustible, una carpintería, un supermercado, etc. Reconocer los eventos y entidades intervinientes en cada caso. Representación gráfica de los resultados. Análisis de los resultados. Ensayo de escenarios cambiando las variables del problema.

**TRABAJO PRÁCTICO N°5:** Confección de modelos basados en agentes. Programación de un autómatas celular XY. Modelo presa-predador en dos dimensiones (espacio-temporal); el juego de la vida. El alumno deberá realizar su propia programación y graficación de los resultados.

## **6. CONDICIONES PARA REGULARIZAR LA MATERIA Y RÉGIMEN DE EVALUACIÓN:**

- Asistencia al 80% de las clases
- Presentar y aprobar una carpeta de trabajos prácticos
- Presentar y aprobar los casos resueltos en lenguaje computacional.
- Coloquio exponiendo y defendiendo los criterios utilizados para la resolución de un caso.
- Aprobar un Examen escrito.

## **7. BIBLIOGRAFÍA :**

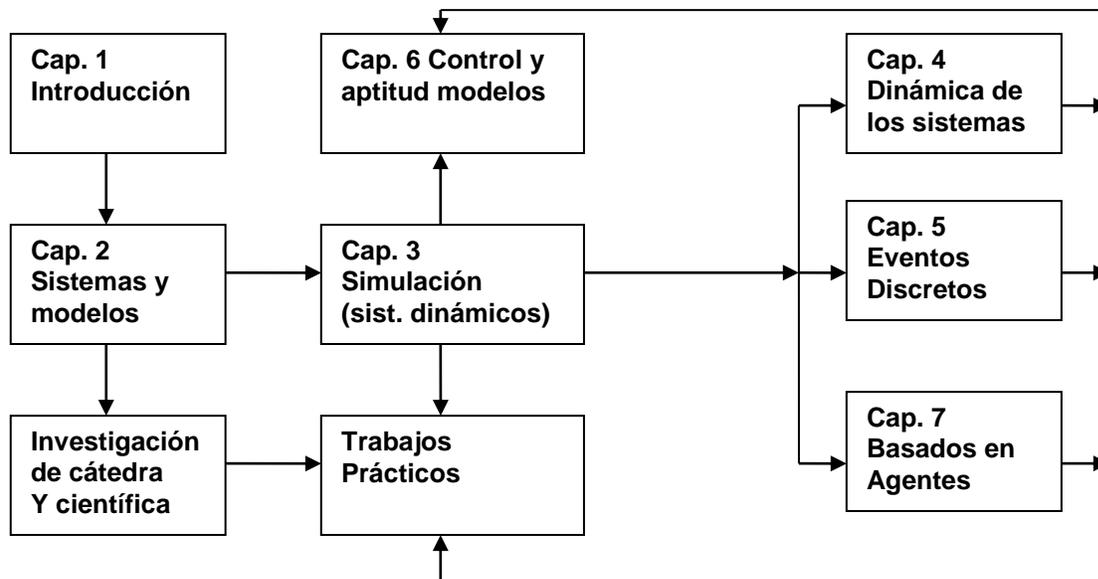
1. Arias, J., Suarez, A., Díaz, R.: Teoría de colas y simulación de eventos discretos, *Pearson-Prentice-Hall*, 2003.
2. Averil, M. Law y W. David Kelton, *Simulation Modeling and Analysis*, Ed. Mc. Graw-Hill, 1991.
3. Banks J., Carson J., Nelson B., *Discrete-Event System Simulation*, *Prentice Hall*, 1996.
4. Barceló, J., *Simulación de Sistemas Discretos*, *Publicaciones de Ingeniería de Sistemas*, 1996.
5. Blanchard, B., *Ingeniería de Sistemas*, *Publicaciones de Ingeniería de Sistemas*, 1995.
6. Bossel, H., *Simulation dynamischer Systeme*, Ed. Vieweg, 1989
7. Bu, R., *Simulación un enfoque práctico*, *Limusa*, 1997
8. Devore, J., *Probability and Statistics for Engineering and Sciences*, *Duxbury Press*, 1990.
9. Fishman, G., *Conceptos y métodos en la simulación de Sistemas Discretos*, Ed. *Limusa*, 1980.
10. Gordon, G., *Modeling and Simulation*, *Prentice Hall*, 1978.
11. Gotts, N.M.; Polhill, J.G ; Law, A.N.R., Agent-based simulation in the study of social dilemmas. *Artificial Intelligence Review*, Vol. 19, No. 1, pp. 3-92, 2003.
12. Gould, H., Tobochnik J. *An Introduction to Computer Simulation Methods. Application to Physical Systems*, *Addison-Wesley*, 1996.
13. Jain, R., *The Art of Computer System Performance Analysis – Techniques for Experimental Design, Measurement, Simulation and Modeling*, Ed. *John Willey & Sons*, 1991.
14. Khoshnevis B., *Discrete System Simulation*, *McGraw-Hill*, 1994.
15. Law, A., Kelton W., *Simulation Modeling & Analysis*, *McGraw-Hill*, 1991.
16. Mas, A., *Agentes software y sistemas multi-agente: conceptos, arquitecturas y aplicaciones*, *Pearson-Prentice-Hall*, 2005.
17. Nakamura, S., *Métodos numéricos aplicados con software*, *Prentice Hall*, 1992.

18. Pajares, J.; Hernández, C.; López, A. , Modeling learning and R&D in innovative environments: a cognitive multi-agent approach. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, Vol. 7, No. 2, 2004
19. Pajares, J.; Hernández, C.; López, A., Industry as an Organization of Agents: Innovation and R&D Management. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, Vol. 6, No. 2, 2003.
20. Puliafito, E., Apuntes de la Cátedra de Modelos y Simulación, *UM*, 2001.
21. Thomson, J., Stewart, H., Signals and Systems, continuous and discrete, Nonlinear Dynamics and Chaos, *John Willey and Sons*, 1987.
22. Viñuela, P, Glaván, I., Redes de neuronas artificiales, un enfoque práctico. *Pearson-Prentice-Hall*, 2004.

## 8. MAPA EXPLORATORIO

La figura 8 muestra un resumen del desarrollo propuesto en esta cátedra, pero bien puede usarse conceptualmente también la figura 2 sobre los paradigmas de la simulación. Comienza con una introducción a la materia a estudiar y un reconocimiento de los paradigmas o visiones de la simulación (Cap. 1). Luego de dar una visión general de las etapas en la formulación de un modelo de simulación (Cap. 2 se va desarrollando cada uno de los módulos presentados: Sistemas dinámicos (Cap. 3); Dinámica de los sistemas (Cap. 4); Eventos Discretos (Cap 5) y Basados en Agentes (Cap 7). Como elemento común transversal a los tres capítulos centrales, se destacan el análisis de los resultados de la modelación, el Cap 6, donde repasa algunas nociones de generación de números aleatorios y técnicas de Montecarlo, y la realización de los trabajos prácticos.

**Figura 8: mapa exploratorio de la cátedra.**



**9. PLANIFICACIÓN HORARIA**

TEMA	DÍA	HORARIO	HORAS TEORIA	HORAS PRACT.	ACUM.
CAPÍTULO 1			5		5
CAPÍTULO 2			3		8
PRACTICO 1				2	10
PRACTICO 1				2	12
CAPÍTULO 2			3		15
CAPÍTULO 3			5		20
PRACTICO 2				2	22
CAPÍTULO 3			3		25
CAPÍTULO 4			3		28
PRACTICO 3				2	30
CAPÍTULO 4			5		35
CAPÍTULO 5			3		38
PRACTICO 3				2	40
CAPÍTULO 5			5		45
CAPÍTULO 6			3		48
PRACTICO 4				2	50
CAPÍTULO 6			5		55
CAPÍTULO 7			3		58
PRACTICO 5				2	60
EVALUACIÓN				2	62
TOTAL			46	16	62

*Prof. Dr. Ing. S. Enrique Puliafito*  
[epuliafito@frm.utn.edu.ar](mailto:epuliafito@frm.utn.edu.ar)