



GOBIERNO DEL
ESTADO DE MÉXICO



TECNOLOGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE
JOCOTITLAN

INGENIERIA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES

“SIMULACION DIGITAL”

M O N O G R A F I A

PRESENTAN:

Domínguez Valente Carlos

López Octaviano Marco Antonio

Martínez Martínez Guillermina

Reyes Martínez Beatriz

Vázquez Hernández Mireya

JOCOTITLAN EDO DE MÉXICO

ABRIL DEL 2008

Índice

Introducción	3
Objetivo	3
1.0 Introducción a la Simulación Digital	4
1.1 Tipos de sistemas	4
1.2 Tipos de modelos	7
1.2.1 Modelos estáticos frente a modelos dinámicos	8
1.2.2 Modelos deterministas respecto a modelos estocásticos	8
1.2.3 Modelos continuos frente a modelos discretos	9
1.3 Características que debe cumplir un buen modelo	9
1.4 Modelos de simulación de eventos discretos	10
1.5 Elementos de interés en los modelos de eventos discretos	10
1,6 Simulación del modelo estocástico	11
1.7 Simulación a mano	12
1.8 Simulación digital mediante un lenguaje de propósito general	17
2.0 Experimentación mediante un entorno de simulación	18
2.1 Ventajas y desventajas de la simulación	19
2.2 Campos de aplicación de la simulación	20
2.3 Ciclo de vida de un proyecto de simulación	23
2.4 El programa de simulación ARENA	27
2.4.1 Elementos de un modelo en ARENA	27
2.4.2 Ejemplo de modelado de un sistema sencillo	29
Conclusiones	34
Bibliografía	34

Introducción

El mundo de hoy está sujeto a constantes cambios, si pensamos en alguno de los aspectos del mundo encontraremos que cambia con cierta frecuencia, por ejemplo la medicina, nuevas curas, nuevos tratamientos incluso nuevas enfermedades son las que están en su entorno.

Estos sectores pueden adaptarse, evolucionar o mejorar si saben con exactitud qué rumbo tomar mediante la toma de decisiones, este conocimiento se puede lograr mediante una práctica herramienta: la simulación, esta técnica nos permite simular un entorno en el cual podría estar inmerso un aspecto o la totalidad de alguna organización y manipularlo de modo que conozcamos de antemano los resultados, ventajas, desventajas y repercusiones de los cambios en nuestro entorno sin afectar nuestro contexto real.

Las técnicas de simulación pueden ser aplicadas de diferentes maneras, sin embargo con el desarrollo de los sistemas de cómputo es posible utilizar una simulación digital, esto quiere decir que con el uso de computadoras y software podemos implementar un modelo de simulación de forma rápida, económica y confiable.

Objetivo

- Dar a conocer al lector los principales aspectos, ventajas y desventajas de la simulación digital.

Introducción simulación digital

La simulación digital es una técnica que permite imitar (o simular) en un ordenador el comportamiento de un sistema real o hipotético según ciertas condiciones particulares de operación.

Aunque la simulación digital es una técnica relativamente reciente y en constante evolución, el uso de la simulación como metodología de trabajo es una actividad muy antigua, y podría decirse que inherente al proceso de aprendizaje del ser humano.

Para poder comprender la realidad y toda la complejidad que un sistema puede conllevar, ha sido necesario construir artificialmente objetos y experimentar con ellos dinámicamente antes de interactuar con el sistema real. La simulación digital puede verse como el equivalente computarizado a este tipo de experimentación.

Para ello es necesario construir objetos (modelos) que representan la realidad, de tal modo que pueden ser interpretados por un ordenador.

El uso de las técnicas de simulación digital para la solución de problemas es un campo interdisciplinario muy amplio, tanto por la variedad de sistemas que pueden ser considerados, como por la diversidad de contextos que pueden describirse.

Es usual encontrar aplicaciones en ingeniería, economía, medicina, biología, ecología o ciencias sociales. La formación en el desarrollo de modelos matemáticos y la utilización de simuladores digitales esta así mismo presente en muchos estudios universitarios, de doctorado, posgrado y maestría.

Tipos de sistemas

Para poder introducir el concepto del modelo de un sistema, y presentar los tipos de modelos de simulación y sus características, debe previamente especificarse que se entiende por sistema.

*Un **sistema** puede definirse como una colección de objetos o entidades que interactúan entre sí para alcanzar un cierto objetivo.*

Ejemplo: si se considera el estudio sobre un número de cajeros necesarios en un supermercado para ofrecer un buen servicio a sus clientes, los objetos del sistema podrían ser en los clientes en espera de ser atendidos y los cajeros/as que realizan dicho servicio.

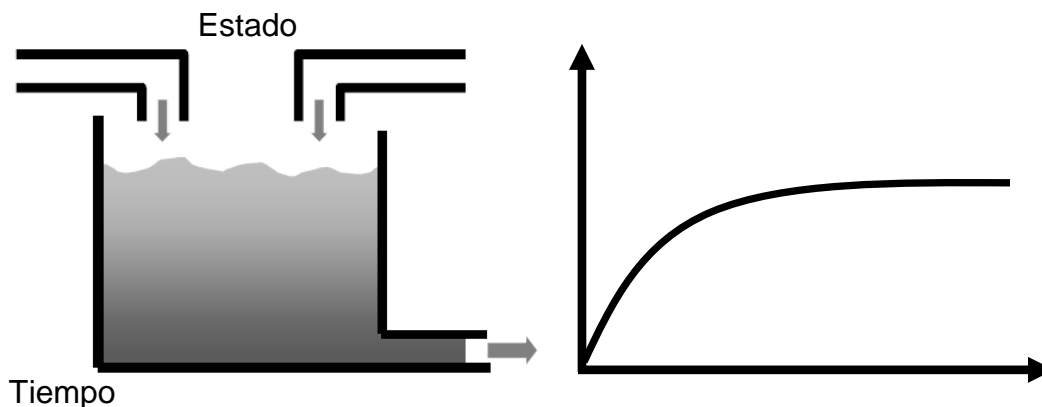
Nótese que los objetos considerados en un sistema pueden ser, un conjunto distinto de los que presentarían si el objetivo a alcanzar por el estudio fuera otro. Considerando el ejemplo anterior, si lo que se desea es estudiar la atención a las necesidades de consumo de los clientes, el sistema deberá contemplar adicionalmente entidades, tales como los productos o la lista personal de la compra, entre otros.

Estado de un sistema: conjunto mínimo de variables necesarias para caracterizar o describir todos aquellos aspectos de interés del sistema en un cierto instante de tiempo. A estas variables las denominaremos **variables de estado**. Así pues en el ejemplo descrito las variables de estado podrían ser el estado de cada uno de los cajeros (en este caso, disponible u ocupado), el número de clientes en cada cola, así como el número total de clientes en el supermercado.

Sin pueden generalidad y considerando como finalidad de los experimentos el estudio del comportamiento de un sistema en el dominio temporal, los sistemas pueden clasificarse en continuo, discreto, orientados a eventos discretos y combinados, atendiendo a la relación entre la evolución de las propiedades de interés y la variable independiente tiempo.

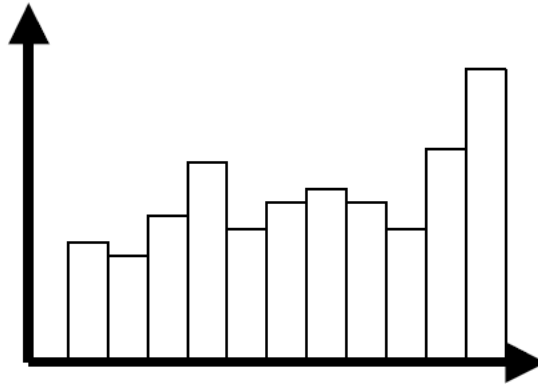
- **Sistemas Continuos:** Las variables del estado del sistema evolucionan de modo continuo a lo largo del tiempo.

Un ejemplo de este tipo es la evolución de la temperatura en una habitación durante cualquier intervalo de tiempo, o bien la del nivel del líquido en un tanque.



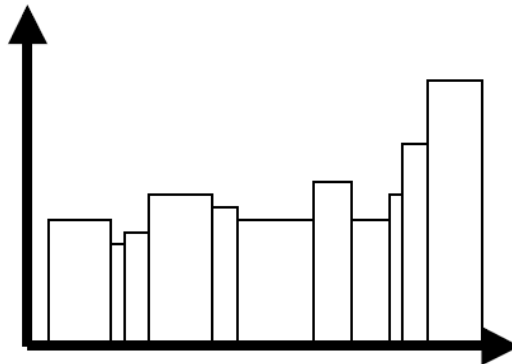
Evolución de sistema continuo.

- **Sistemas Discretos.** Se caracterizan porque las propiedades de interés del sistema cambian únicamente en un cierto instante o secuencia de instantes, y permanecen constantes el resto del tiempo. La secuencia de instantes en los cuales el estado del sistema puede presentar un cambio, obedece normalmente a un patrón periódico.



Evolución de una variable de un sistema discreto.

- **Sistemas orientados a eventos discretos.** Al igual que los sistemas discretos, se caracterizan porque las propiedades de interés del sistema cambian únicamente en una secuencia de instantes de tiempo permaneciendo constantes el resto del tiempo. La secuencia de instantes en los cuales el estado del sistema puede presentar un cambio, obedece a un patrón aleatorio .



Evolución de una variable de un sistema orientado a eventos discretos.

- **Sistemas combinados.** Aquellos que combinan subsistemas que siguen filosofías continuas o discretas, respectivamente. Es el caso de los sistemas que poseen componentes que deben ser necesariamente modelados según alguno de dichos enfoques específicos.

Tipos de modelos.

Existen alternativas a las técnicas de simulación digital para asimilar el comportamiento de un sistema. Sería el caso de la construcción de un prototipo a escala del sistema real (plantas piloto, proceso en miniatura, etc.)

Ejemplo: La representación con otros sistemas físicos o biológicos, como la experimentación de drogas en animales para prever sus efectos en las personas.

La descripción de las características de interés de un sistema se conoce como **modelo del sistema**, y el proceso de abstracción para obtener esta descripción se conoce como **modelado**.

Existen muchos tipos de modelos (modelos físicos, modelos mentales, modelos simbólicos) para representar los sistemas en estudio. Puesto que uno de los objetivos para los cuales se van a desarrollar los modelos es su uso en computadoras, es necesario que los modelos formalicen el conocimiento que se tiene del sistema de modo conciso sin ambigüedades, y puedan ser procesados por un ordenador. Estas características determinan el uso de **modelos simbólicos matemáticos** como herramienta para representar las dinámicas de interés de cualquier sistema en un entorno de simulación digital.

Los modelos simbólicos matemáticos mapean las relaciones existentes entre las propiedades físicas del sistema que se pretende modelar en las correspondientes estructuras matemáticas. El tipo de formalización matemática que se utilice va a depender de las características intrínsecas de las dinámicas de interés que se quieran representar.

La descripción en términos matemáticos de un sistema real no es una metodología de trabajo propia de la simulación digital, sino que es inherente a la mayoría de las técnicas que se utilizan para solventar cualquier tipo de problema, las cuales suelen seguir unas pautas que, de modo general, se pueden resumir en:

- Reconocimiento del problema.
- Formulación del modelo matemático.
- Solución del problema matemático.
- Interpretación de los resultados matemáticos en el contexto del problema real.

Consideraciones que se deben tener en cuenta para garantizar una representación eficiente del sistema real para el desarrollo de modelos matemáticos y sistemas físicos:

- Un modelo se desarrolla siempre a partir de una serie de aproximaciones e hipótesis y, consecuentemente, representa tan sólo parcialmente la realidad.

- Un modelo se construye para una finalidad específica y debe ser formulado para que sea útil a dicho fin.
- Un modelo tiene que ser por necesidad un compromiso entre la simplicidad y la necesidad de recoger todos los aspectos esenciales del sistema en estudio.

Un buen modelo debe preservar las siguientes propiedades:

- Representar adecuadamente aquellas características del sistema que son de nuestro interés.
- Ser una representación abstracta de la realidad lo suficientemente sencilla como para facilitar su mantenimiento, adaptación y reutilización.

Atendiendo las características que debe poseer un buen modelo, así como los objetivos del estudio de simulación donde suelen clasificarse en diferentes formas como son:

Modelos Estáticos frente a Modelos Dinámicos

Los *Modelos Estáticos* suelen utilizarse para representar el sistema en un cierto instante de tiempo; por tanto, en su formulación no se considera el avance del tiempo.

$$STOCK = Stock\ inicial + Material\ entrada - Material\ consumido$$

Este tipo de modelo es muy útil cuando el sistema se encuentra en equilibrio. Si se cambia el punto de equilibrio alterando uno o mas de los valores del sistema el modelo permite reducir el resto de los valores pero no muestra la manera en que cambiaron.

Los *Modelos Dinámicos* permiten deducir cómo las variables de interés del sistema en estudio evolucionan con el tiempo. Un ejemplo de un modelo dinámico es la evolución de material en un STOCK, que depende de los flujos de entrada y salida cada uno de los cuales conlleva implícita la evolución del tiempo.

$$Evolución\ del\ STOCK = Flujo\ de\ entrada - Flujo\ de\ salida$$

Las ecuaciones siguientes describen matemáticamente la evolución de un stock suponiendo que las variables de interés evolucionan de una manera continua o discreta respectivamente donde F_1 y F_0 representan los flujos de entrada y salida del almacén

$$\frac{dS}{dt} = F_i(t) - F_o(t)$$

$$S(k + 1) = S(k) + F_i(k) - F_o(k)$$

Modelos Deterministas respecto a Modelos Estocásticos.

Un modelo se denomina *Determinista* si su nuevo estado puede ser completamente definido a partir del estado previo y de sus entradas. Es decir, ofrece un único conjunto de valores de salida para un conjunto de entradas conocidas.

Los *Modelos Estocásticos* requieren de una o más variables aleatorias para formalizar las dinámicas de interés. En consecuencia, el modelo no genera un único conjunto de salidas cuando es utilizado para realizar un experimento, sino que los resultados son utilizados para estimar el comportamiento real del sistema.

Modelos Continuos frente a Modelos Discretos.

Los *Modelos Continuos* se caracterizan por representar la evolución de las variables de interés de forma continua. En general suelen utilizarse ecuaciones diferenciales ordinarias si se considera simplemente la evolución de una propiedad respecto al tiempo, o bien ecuaciones en derivadas parciales si se considera también la evolución respecto a otras variables adicionales.

De modo análogo a la definición de los modelos continuos, los *Modelos Discretos* se caracterizan por representar la evolución de las variables de interés de forma discreta.

Es importante notar a partir de la clasificación de modelos realizada, que es posible describir un sistema continuo mediante un modelo discreto ya al revés, también es posible describir un sistema discreto mediante un modelo continuo. La decisión de utilizar un modelo continuo o discreto depende de los objetivos particulares de cada estudio y no tanto de las características del sistema.

CARACTERÍSTICAS QUE DEBE CUMPLIR UN BUEN MODELO

- Un modelo es un objeto o concepto que utilizamos para representar cualquier otra entidad compleja mediante un proceso de abstracción se muestra un formato adecuado de acuerdo a las características de interés de un objeto real o hipotético
- Un modelo es una representación simplificada de un sistema que nos facilitara explicar, comprender, cambiar, prever y posiblemente controlar el comportamiento del mismo.

- Un modelo puede ser sustituto de un sistema físico concreto
- Debe representar el conocimiento que se tiene de un sistema de modo que facilite su interpretación, formalizando los factores relevantes para los objetivos del modelado.
- Un modelo debe de ser tan sencillo como sea posible siempre y cuando represente los aspectos de interés

Modelos de simulación de eventos discretos.

Los Modelos de Eventos Discretos son *modelos dinámicos, estocásticos y discretos* en los que las variables de estado cambian de valor en instantes no periódicos del tiempo. Estos instantes de tiempo se corresponden con la ocurrencia de un evento.

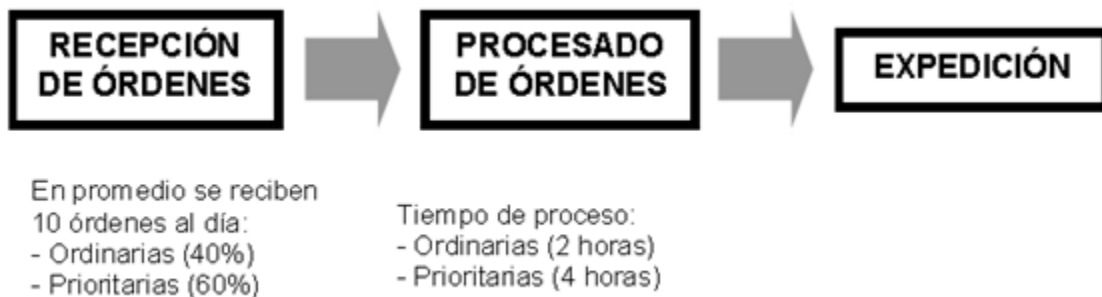
Un *evento* se define como una acción instantánea que puede cambiar el estado de un modelo.

ELEMENTOS DE INTERES DE LOS MODELOS DE EVENTOS DISCRETOS

- **ACTIVIDADES:** son las tareas o acciones que tienen lugar en el sistema. Están encapsuladas entre dos eventos. Por ejemplo la reparación de una maquina, el procesado de una pieza o el transporte de un cliente.
- **ENTIDADES:** Son el conjunto de objetos que constituyen o fluyen por el sistema, pueden ser temporales o permanentes
- **ENTIDADES TEMPORALES:** son objetos que se procesan en el sistema como por ejemplo las piezas, los clientes o los documentos. Entidades diferentes pueden tener características diferentes que denominaremos atributos. Las entidades temporales son los objetos que llegan, sé procesan y salen del sistema.
- **RECURSOS O ENTIADAS PERMANENTES:** son los medios gracias a los cuales se pueden ejecutar las actividades. Los recursos definen quien o que ejecuta la actividad.

Con el objetivo de ilustrar diferentes alternativas para experimentar con el modelo de simulación de un sistema orientado a eventos discretos, considérese el sistema de procesado de órdenes 12.5 donde las tres actividades más significativas del sistema en estudio son:

La recepción, el procesado y finalmente la expedición de las órdenes recibidas.



Esquema de procesado de órdenes.

Los parámetros más significativos del sistema son:

- Hay 4 trabajadores por cada turno diario de 8 horas.
- Se trabaja desde las 9 de la mañana hasta las 5 de la tarde. No obstante, la jornada laboral se alarga si no ha sido posible expedir todas las órdenes recibidas a lo largo del día.
- Sólo se aceptan órdenes hasta las 13 horas.
- En promedio, se reciben 10 órdenes cada día.
- Hay dos tipos de órdenes, las ordinarias (el 40%) y las prioritarias (el 60% restante).
- En promedio, una orden prioritaria requiere 4 horas de proceso, mientras que una ordinaria sólo 2 horas.

Simulación del Modelo Estático.

A partir de una formulación estática del sistema en la que no intervienen directamente el tiempo, es posible analizar el comportamiento del sistema llegando a conclusiones erróneas, como que no exista ningún retraso en las órdenes y que los recursos humanos estén aprovechados en un 100%

$$\text{órdenes ordinarias} = 4 \frac{\text{órdenes}}{\text{día}} \times 2 \frac{\text{horas}}{\text{orden}} = 8 \frac{\text{horas}}{\text{día}}$$

$$\text{órdenes prioritarias} = 6 \frac{\text{órdenes}}{\text{día}} \times 4 \frac{\text{horas}}{\text{orden}} = 24 \frac{\text{horas}}{\text{día}}$$

$$\text{capacidad necesaria} = 8 + 24 = 32 \frac{\text{horas}}{\text{día}}$$

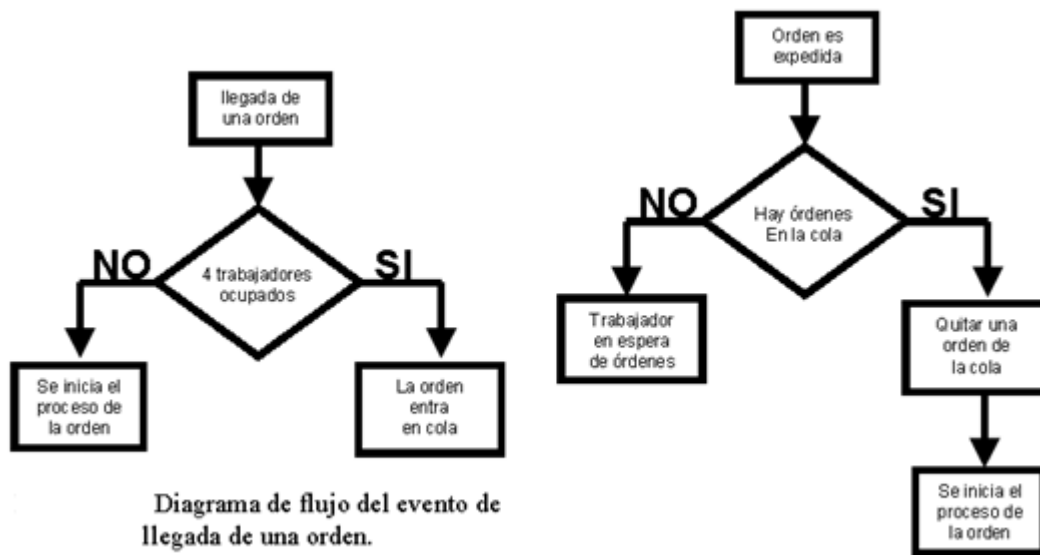
$$\text{capacidad disponible} = 4 \frac{\text{trabajadores}}{\text{día}} \times 8 \frac{\text{horas}}{\text{trabajador}} = 32 \frac{\text{horas}}{\text{día}}$$

$\text{porcentaje de utilización} = \frac{\text{capacidad necesaria}}{\text{capacidad disponible}} \times 100 = \frac{32}{32} \times 100 = 100\%$

Simulación a mano

Para realizar una simulación de modelo orientado a eventos discretos es necesario formalizar los distintos eventos que afectan a las variables de interés del estudio, los instantes del tiempo en que pueden aparecer dichos eventos, así como las actividades que deben realizarse como consecuencia de la aparición de dichos eventos.

En la figura se muestra en forma de organigramas, las acciones asociadas al evento de llegada de una orden. Si todos los trabajadores están ocupados las órdenes se esperan en la cola. En caso contrario, se asigna un trabajador a la orden y se inicia su proceso.



En la figura se representan las acciones ligadas al evento de expedición de una orden. Al finalizar el proceso de una orden uno de los trabajadores queda libre. Si hay órdenes en la cola el trabajador selecciona la orden más prioritaria e inicia su procesamiento. En caso contrario, el trabajador permanece a la espera de llegada de nuevas órdenes.

Tabla Distribución de probabilidades.

Órdenes / Hora	Probabilidad (%)	Probabilidad Acumulada	Números Aleatorios
1	40	40	00 – 39
2	30	70	40 – 69
3	20	90	70 – 89
4	10	100	90 – 99

Tabla Distribución de probabilidades.

Tipo de Orden	Probabilidad (%)	Probabilidad Acumulada	Números Aleatorios
Ordinaria	40	40	00 – 39
Prioritaria	60	100	40 – 99

Tabla Resumen de la simulación del proceso de llegada de órdenes.

Hora	Número Aleatorio	Número de llegadas	Numero Aleatorio	Tipo de orden
9 horas	54	2	02	Ordinaria
			38	Ordinaria
10 horas	12	1	11	Ordinaria
11 horas	36	1	78	Prioritaria
12 horas	60	2	21	Ordinaria
			47	Prioritaria
13 horas	90	4	92	Prioritaria
			50	Prioritaria
			82	Prioritaria
			44	Prioritaria

Para analizar el comportamiento del sistema se simula la dinámica del proceso en el cual la llegada de órdenes es aleatoria. En la figura se muestra para cada una de las órdenes, la hora de llegada, el tiempo que está en la cola, el tiempo de procesado y la hora de expedición.

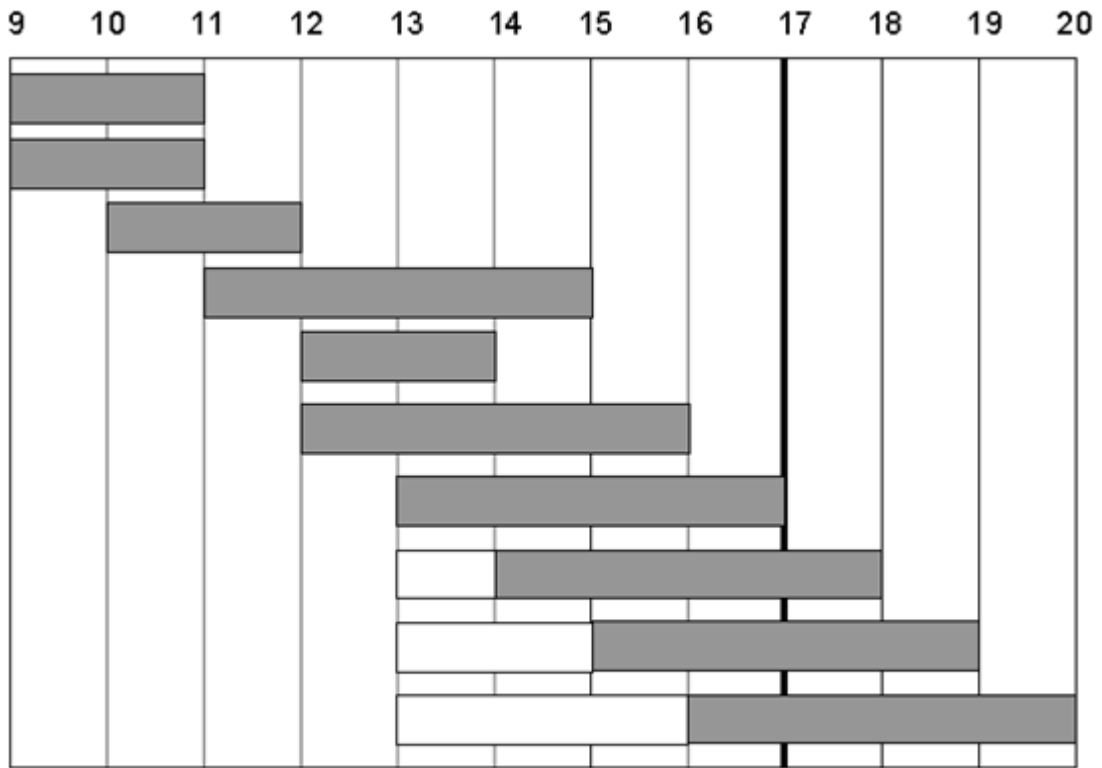


Diagrama de la simulación manual.

Tabla de la simulación manual del procesado de órdenes.

Hora	Número de orden	Tipo de orden	Tipo de evento	Número en cola	Número en sistema	Tiempo en cola	Tiempo en el sistema
9	1	Ordinaria	Llegada	0	1	-	-
9	2	Ordinaria	Llegada	0	2	-	-
10	3	Ordinaria	Llegada	0	3	-	-
11	1	Ordinaria	Expedición	0	2	-	2 h.
11	2	Ordinaria	Expedición	0	1	-	2 h.
11	4	Prioritaria	Llegada	0	2	-	-
12	3	Ordinaria	Expedición	0	1	-	2 h.
12	5	Ordinaria	Llegada	0	2	-	-
12	6	Prioritaria	Llegada	0	3	-	-
13	7	Prioritaria	Llegada	0	4	-	-
13	8	Prioritaria	Llegada	1	5	-	-
13	9	Prioritaria	Llegada	2	6	-	-
13	10	Prioritaria	Llegada	3	7	-	-
14	5	Ordinaria	Expedición	2	6	-	2 h.
15	4	Prioritaria	Expedición	1	5	-	4 h.
16	6	Prioritaria	Expedición	0	4	-	4 h.
17	7	Prioritaria	Expedición	0	3	-	4 h.
19	8	Prioritaria	Expedición	0	2	1 h.	5 h.
19	9	Prioritaria	Expedición	0	1	2 h.	6 h.
20	10	Prioritaria	Expedición	0	0	3 h.	7 h.

$$\text{tiempo de ciclo promedio para órdenes ordinarias} = \frac{2 + 2 + 2 + 2 \text{ horas}}{4 \text{ órdenes}} = 2 \frac{\text{horas}}{\text{orden}}$$

$$\text{tiempo de ciclo promedio para órdenes prioritarias} = \frac{4 + 4 + 4 + 5 + 6 + 7 \text{ horas}}{6 \text{ órdenes}} = 5 \frac{\text{horas}}{\text{orden}}$$

$$\text{tiempo promedio en la cola} = \frac{0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 1 + 2 + 3 \text{ horas}}{10 \text{ órdenes}} = 0,6 \frac{\text{horas}}{\text{orden}}$$

$$\text{tiempo máximo en la cola} = 3 \text{ horas}$$

$$\text{nivel de servicio promedio} = \frac{7 \text{ órdenes a tiempo}}{10 \text{ órdenes}} \times 100 = 70\%$$

3 trabajadores han tenido que trabajar un total de 6 horas extras para completar las órdenes

Aun que inicialmente parecía que el diseño del proceso era adecuado, las llegadas aleatorias provocan colas y retardos posteriores en el procesado de las órdenes.

Para efectuar la simulación anterior se ha supuesto conocido el número de órdenes que llegan en cada franja horaria. Sin embargo, en la práctica diaria esta secuencia precisa de tiempos puede no ser conocida | ocurrir que:

- El proceso simulado todavía no existe en la realidad
- O se desea simular el comportamiento de un sistema real según condiciones diferentes de operación

Simulación digital mediante un lenguaje de propósito general.

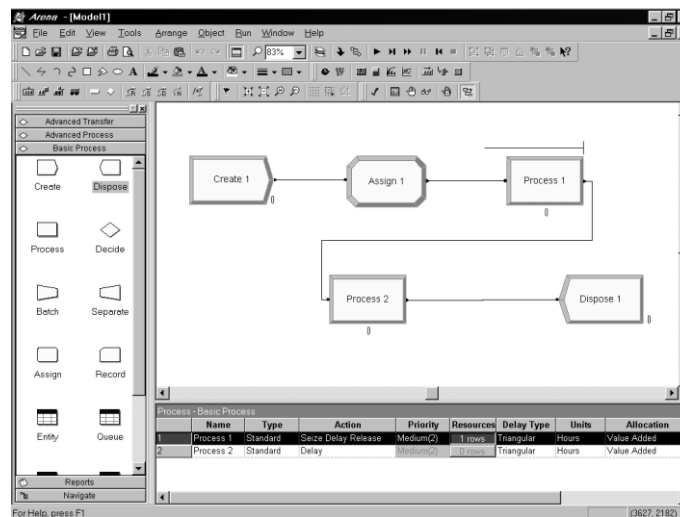
Los lenguajes que se utilizan para la simulación de un sistema orientado a eventos discretos pueden ser tanto lenguajes de programación de propósito general como lenguajes de simulación los cuales aparecieron a partir de 1960. La principal característica de los lenguajes de programación es que ofrecen una librería de instrucciones suficientemente compleja como para permitir programar cualquier tipo de modelo por complejo que este sea

La codificación del modelo de un sistema orientado a eventos discretos requiere de una inversión considerable de tiempo y personal especializado para el

desarrollo del modelo de simulación con lo que el mantenimiento del mismo para futuros experimentos suele presentar grandes limitaciones si no se ha formalizado correctamente.

Experimentación mediante un entorno de simulación.

El objetivo principal para el que se desarrollan entornos de simulación es facilitar el uso de la simulación en la fase de programación del modelo, a costa de restringir los campos de aplicación. Los primeros entornos de simulación aparecieron a principios de los 80 y son definidos como una toolbox con un número finito de herramientas de programación; aunque estos entornos no ofrecen aun la flexibilidad de los lenguajes de programación de propósito general.



Interfaz grafica del modelo del un simulador ARENA.

En la figura se muestra la interfaz de ARENA en la que pueden observarse las herramientas de programación grafica que permiten el desarrollo del modelo a partir de la interconexión de los módulos predefinidos.

Ventajas y desventajas de la simulación.

La disponibilidad en el mercado de entornos de simulación, con librerías preprogramadas y validadas de componentes típicos, junto con la capacidad de programación gráfica y de visualización han hecho posible que la simulación sea una técnica cada vez más utilizada en el análisis y la mejora de sistemas.

Algunos de los objetivos para los cuales pueden utilizarse las técnicas de simulación de sistemas orientados a eventos discretos son:

- El análisis y estudio de la incidencia y sobre el rendimiento global del sistema de pequeños cambios realizados sobre algunos de sus componentes. En la actualidad los sistemas logísticos son considerados sistemas complejos, porque un pequeño cambio o una mala sincronización entre sus elementos pueden derivar fácilmente en un comportamiento no deseado, lo que implica una repercusión económica.
- Cambios en la organización de una empresa, así como en la gestión de la información pueden ser fácilmente simulados, y los efectos sobre el sistema real pueden ser analizados a partir de la experimentación con el modelo.
- El conocimiento que se obtiene en el desarrollo de un modelo de simulación es de interés para poder sugerir posibles mejoras en su rendimiento.
- La observación de los resultados que se obtienen de un simulador a partir de experimentar con ciertos parámetros del modelo, así como los cambios en las entradas, permiten inferir aspectos relativos a la sensibilidad del sistema y que variables son las que más pueden beneficiar el rendimiento del mismo.
- La simulación puede ser utilizada como una perspectiva pedagógica para ilustrar y facilitar la comprensión de los resultados que se obtienen mediante técnicas analíticas.
- Experimentar con condiciones de operación que podrían ser peligrosas o de elevado coste económico en un sistema real.

Las técnicas de simulación pueden ser utilizadas como una metodología de trabajo barata y segura que permite responder satisfactoriamente a preguntas del tipo “¿Qué ocurriría si realizamos éste cambio en...?”.

Por otro lado la toma de decisiones basada únicamente en el estudio realizado mediante la simulación, conlleva un elevado riesgo si el modelo en el cual se basó el estudio no ha sido validado y las fases del proyecto convenientemente verificadas.

Campos de aplicación de la simulación.

En La Actualidad, la mayoría de las empresas han crecido en complejidad y han visto aumentados los requerimientos de competitividad, flexibilidad y calidad en sus actividades. Por ello han debido innovar y adaptarse a los constantes cambios provocados por su pertenencia a un mercado cada vez más global.

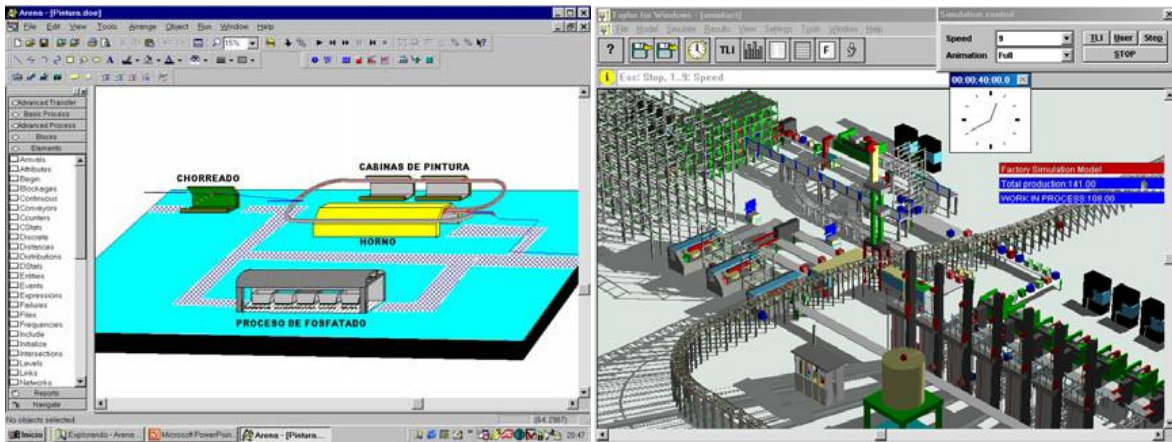
La falta de herramientas analíticas que ayuden y faciliten la toma de decisiones es uno de los problemas a los que se enfrentan los directivos, que ven la necesidad de mejorar el rendimiento de aquellos sistemas cuyo comportamiento depende de un número elevado de variables de decisión.

La dificultad que comportan estos procesos se hace evidente en una gran diversidad de campos en los que se desconoce la influencia de determinados cambios en algunas variables de decisión, sobre el rendimiento global de la empresa.

Las herramientas de simulación ofrecen una plataforma que permite abordar con éxito un proceso de mejora continua de sistemas complejos para los cuales las técnicas clásicas no pueden ser utilizadas para formalizar la complejidad de los procesos.

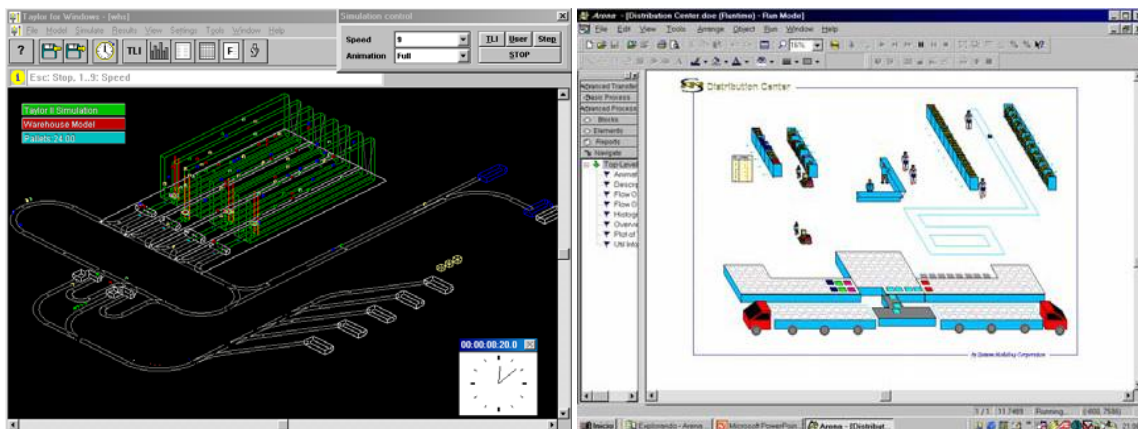
La Winter Simulation Conference nos da una perspectiva de los diferentes campos de aplicación de las técnicas de simulación:

- **Procesos de fabricación.** Fue una de las primeras áreas beneficiadas por estas técnicas. La simulación se emplea tanto para el diseño como para la ayuda a la toma de decisiones operacionales.



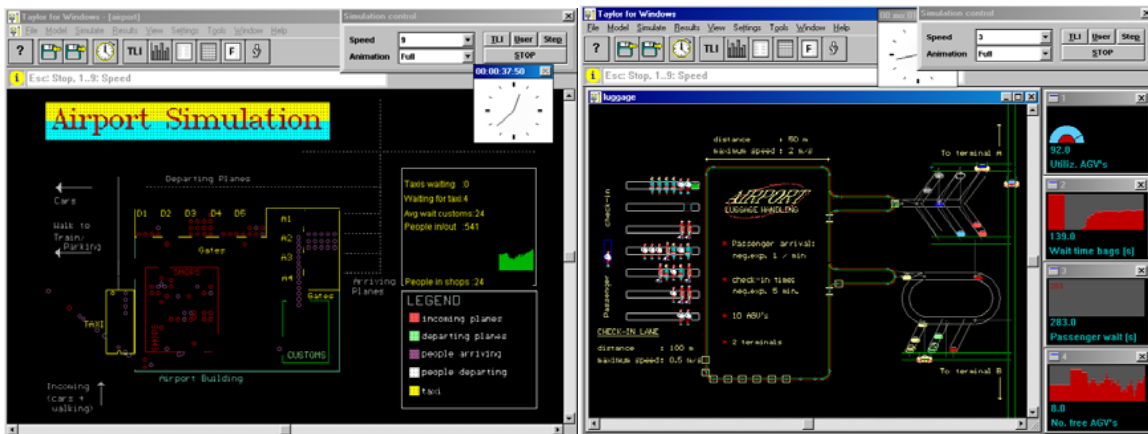
Ejemplos de modelos de simulación para el análisis y mejora de procesos productivos.

- **Logística.** La simulación contribuye de forma significativa a la mejora de los procesos logísticos en general. Dentro de esta área, se incluye tanto una cadena completa de suministros, como la gestión de inventarios de un almacén.



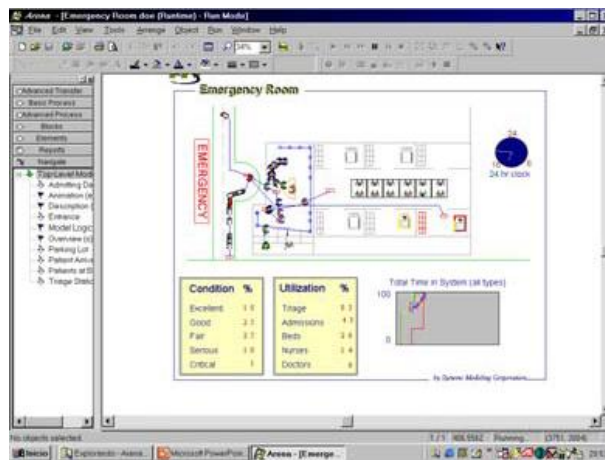
Ejemplos de aplicación de la simulación a procesos logísticos.

- **Transporte.** Dentro de ésta área la intermodalidad ha merecido especial atención, también se ha introducido la simulación de modelos de tránsito, tanto en lo que se refiere a modelos macroscópicos como microscópicos.



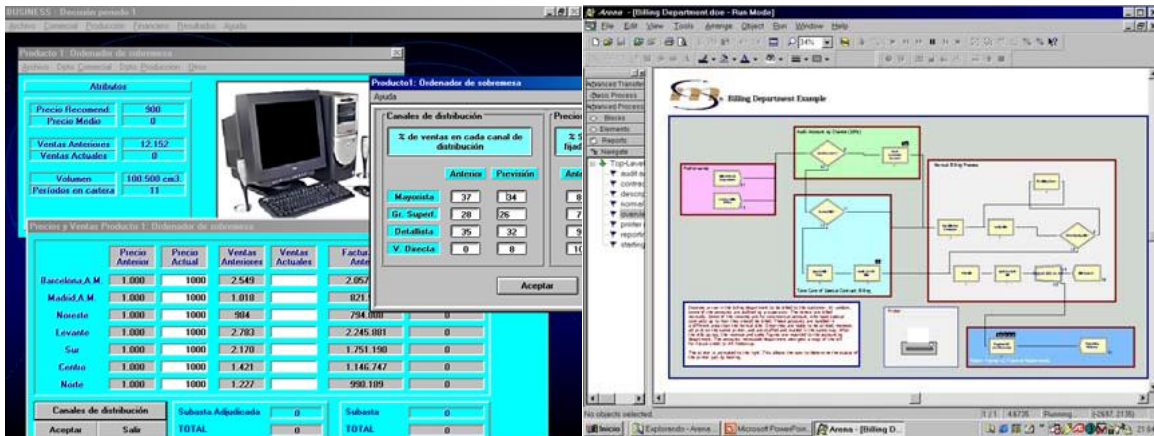
Aplicación de la simulación en el campo del transporte.

- **Sanidad.** Se emplea tanto para la mejora de un departamento hospitalario, como en la logística asociada a los trasplantes o a la coordinación médica de una región.



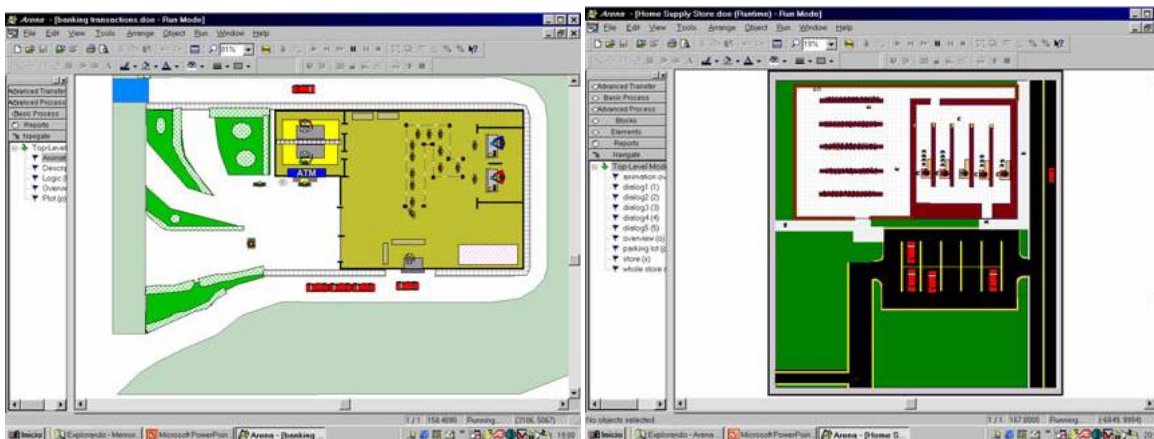
Aplicación al servicio de emergencias de un hospital.

- **Negocios** (Business Processing). Simulación de los procesos administrativos y de negocio de una empresa. En esta área están teniendo mucho éxito los juegos de empresa en los que a través de la simulación de los efectos de las decisiones que se van tomando se puede entrenar a los directivos.



Aplicaciones en el campo de la simulación de negocios.

- **Servicios en general.** Servicios públicos, gestión de restaurantes, banca, empresas de seguros, etc.



Simulación de un banco y de un pequeño supermercado.

Ciclo de vida de un proyecto de simulación.

En muchos proyectos, los modelos de simulación suelen ser largos y complejos. Una posible explicación a la falta de dedicación y de interés en la simplificación de modelos radicaría en la potencia de cálculo de los ordenadores actuales suficiente para soportar la ejecución de grandes modelos de simulación.

Cabe destacar que el exceso de complejidad en los modelos no solo repercute en el rendimiento computacional sino también afecta a otras cuestiones, como el tiempo invertido en desarrollo del modelo, su mantenimiento, verificación, validación, etc.

A continuación algunas de las ventajas de trabajar con modelos sencillos:

- Son más fáciles de implementar, validar y analizar.
- Es más fácil y, en cierto modo, menos doloroso, desechar un modelo simple cuando se ha cometido un error.
- Es más fácil cambiar un modelo simple que un modelo complejo si las condiciones o hipótesis de operación sobre el sistema real cambian.
- El tiempo que conlleva un proyecto de simulación se ve considerablemente reducido y pueden presentarse resultados correctamente validados.

Un proyecto de simulación es dinámico por naturaleza. Los resultados que se van obteniendo ponen a su vez de manifiesto nuevos problemas, así como limitaciones inherentes al sistema en estudio, y pueden forzar a reconsiderar la orientación tomada en un principio. Para tener éxito en un entorno tan dinámico, es necesario emplear una aproximación metodológica correcta.

En la práctica, el éxito en el uso de una tecnología tan potente como la simulación no depende tan solo de los aspectos puramente técnicos, sino también de otros aspectos complementarios como son:

- La necesidad de tener el apoyo de los órganos con capacidad de decisión de las empresas. Este apoyo es absolutamente necesario para poder superar las barreras que suelen aparecer.
- Es importante inspirar confianza, se tomaran decisiones sobre la base de los resultados de un estudio de simulación si el grupo que lo ha realizado inspira confianza, esta hay que ganársela a lo largo del estudio efectuando un trabajo serio y riguroso.
- Formulación del problema: La especificación de los objetivos es una de las tareas más importantes de un proyecto de simulación. Si los objetivos no están claros o son poco concretos existe el peligro de no abordar correctamente el problema para el cual se ha solicitado el proyecto de simulación y ser incapaz de responder a las expectativas generadas.
- Diseño del modelo conceptual: Una vez conocidos los objetivos del proyecto, puede existir la tentación de iniciar la construcción del modelo de simulación en forma inmediata. Es por ello conveniente formular o especificar el modelo de simulación empleando un nivel de abstracción (modelo conceptual) superior al propio código. El modelo conceptual especifica las relaciones estructurales más importantes del sistema que se intenta simular y, en consecuencia, constituye un medio de dialogo y de coordinación entre los distintos departamentos o grupos involucrados.

También corresponde a esta etapa especificar qué resultados o estadísticas esperamos obtener del modelo de simulación para así responder a las preguntas formuladas en la definición de objetivos.

Etap a	Descripción
Formulación del problema.	Define el problema que se pretende estudiar. Incluye por escrito sus objetivos.
Diseño del modelo conceptual.	Especificación del modelo a partir de las características de los elementos del sistema que se quiere estudiar y sus interacciones teniendo en cuenta los objetivos del problema.
Recogida de datos.	Identificar, recoger y analizar los datos necesarios para el estudio.
Construcción del modelo.	Construcción del modelo de simulación partiendo del modelo conceptual y de los datos.
Verificación y validación.	Comprobar que el modelo se comporta como es de esperar y que existe la correspondencia adecuada entre el sistema real y el modelo.
Análisis.	Analizar los resultados de la simulación con la finalidad de detectar problemas y recomendar mejoras o soluciones.
Documentación.	Proporcionar documentación sobre el trabajo efectuado.
Implementación.	Poner en práctica las decisiones efectuadas con el apoyo del estudio de simulación.

- Recogida y tratamiento de los datos: Se recomienda cuestionar siempre toda la información y los datos disponibles. ¿Cuál es la fuente?, ¿Cuándo se obtuvo?, ¿Cómo fue recogida?, ¿Tiene esta sentido?, ¿Tenemos insuficientes datos o son excesivos? Se requiere una respuesta a las preguntas planteadas y es necesario efectuar hipótesis razonables en colaboración con el usuario final. Si los datos son limitados o su calidad es dudosa es conveniente ser prudente a la hora de extraer conclusiones sobre la base de los resultados de la simulación.
- Construcción del modelo: En numerosos proyectos de simulación el esfuerzo se concentra más en la construcción del modelo que en la resolución de problema. La obtención de un modelo ejecutable se convierte erróneamente en un objetivo prioritario. La motivación dominante debería ser la comprensión del problema y la obtención de soluciones. Para avanzar más rápidamente en la consecución de estos objetivos es recomendable construir en primer lugar uno o varios modelos simplificados que caractericen las partes más esenciales del sistema de interés.

- **Verificación y Validación:** En el campo de la simulación, la experiencia recomienda suponer que todo modelo es incorrecto excepto que se demuestre lo contrario. Los esfuerzos en dotar a los actuales simuladores de potentes herramientas para facilitar su uso curiosamente han contribuido a uno de los principales peligros de la simulación: "Olvidarse" del mundo real y aceptar sin reparos de los resultados del modelo. Para tener una garantía razonable de que el modelo de simulación representa la realidad, y como consecuencia, tomar decisiones estratégicas u operacionales basándose en los resultados del estudio, es absolutamente necesario trabajar con un modelo convenientemente verificado y validado.

La verificación consiste en comprobar que el modelo se ejecuta correctamente y según las especificaciones (modelo conceptual). La validación consiste en comprobar que las teorías, hipótesis de trabajo y otras suposiciones son correctas y por tanto, se propicie que el modelo se comporte de forma lo más parecida posible a la realidad.

- **Análisis:** Consiste en experimentar con el modelo con el objetivo de efectuar inferencias que permitan tomar decisiones con mayor seguridad. El resultado más valioso es el conocimiento adquirido en el proceso de análisis que permita aportar elementos cualitativos y/o cuantitativos justificados a favor o en contra de las diferentes opciones de diseño planteadas.
- **Documentación:** es importante mantener un documento al día que refleja el estado del proyecto. Por tanto, el documento evoluciona y se enriquecerá en paralelo con el proyecto de simulación.
Los objetivos perseguidos con la documentación son:
 - 1) Reflejar el estado del proyecto en un momento dado. De esta forma, todo el personal técnico o directivo que está relacionado con el proyecto tiene información al día sobre su progreso.
 - 2) Informar sobre todo el proyecto (documento final).
 - 3) Facilitar la reutilización del modelo en los casos en los que se provee un posible interés en su uso futuro.
- **Implementación:** se entiende por implementación el tomar decisiones como consecuencia del estudio de simulación. Un proyecto de simulación si ha justificado técnica y económicamente una mejora o cambio que no ha sido posteriormente implementado.

El Programa de Simulación “ARENA”.

En este apartado se hará un breve resumen de los métodos de modelado de sistemas aplicando el programa de simulación *ARENA* (de Systems Modeling Corporation, www.sm.com). Utilizando ejemplos sencillos, se irá haciendo un recorrido por las posibilidades del programa para simular cualquier tipo de sistema.

Elementos de un modelo de ARENA.

- **Entidades.** La mayoría de las simulaciones incluyen “entidades” que se mueven a través del modelo, cambian de estado, afectan y son afectadas por otras entidades y por el estado del sistema, y afectan a las medidas de eficiencia. Son los elementos dinámicos del modelo, habitualmente se crean, se mueven por el modelo durante un tiempo y finalmente abandonan el modelo. En un proceso sencillo de fabricación, como el que analizamos en el primer ejemplo, las entidades serán las piezas que son creadas, pasan a la cola si la máquina que debe procesarlas está ocupada, entran en la máquina cuando ésta queda libre, y abandonan el sistema cuando salen de la máquina. En este caso sólo habrá un tipo de entidades (aunque puede haber simultáneamente varias “copias” de la entidad circulando por el diagrama), pero en un caso general podría haber muchos tipos de entidades distintas (y muchas copias de cada una de ellas), que representarían distintos tipos de piezas, de diferentes características, prioridades, rutas, etc.
- **Atributos.** Para individualizar cada entidad, se le pueden unir distintos “atributos”. Un atributo es una característica de todas las entidades, pero con un valor específico que puede diferir de una entidad a otra. Por ejemplo, en el primer ejemplo, nuestras entidades (piezas), podrían tener unos atributos denominados *Hora de Llegada*, *Fecha de Entrega*, *Prioridad* y *Color* para indicar esas características para cada entidad individual. Arena hace un seguimiento de algunos atributos de manera automática, pero será necesario definir, asignar valores, cambiar y usar atributos específicos, en cada sistema que se desee simular.
- **Variables (Globales).** Una variable es un fragmento de información que refleja alguna característica del sistema, independientemente de las entidades que se muevan por el modelo. Se pueden tener muy diferentes variables en un modelo, pero cada una es única. Existen dos tipos de variables: las variables prefijadas de Arena (número de unidades en una cola, número de unidades ocupadas de un recurso, tiempo de simulación, etc.) y las variables definibles por el usuario.

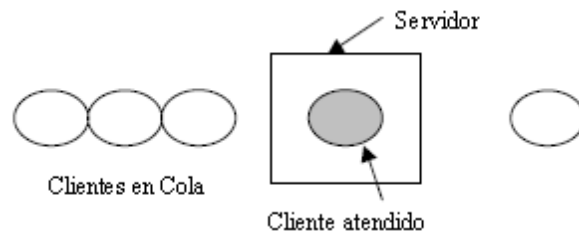
(número de unidades en el sistema, turno de trabajo, etc.) Contrariamente a los atributos, las variables no están unidas a ninguna entidad en particular, sino que pertenecen al sistema en su conjunto. Las entidades pueden variar el valor de las variables en algún momento, por ejemplo, la variable *Número de Unidades en el Sistema* cambiará de valor cuando se crea o se elimina una entidad.

- **Recursos.** Las entidades compiten por ser servidas por recursos que representan cosas como personal, equipo, espacio en un almacén de tamaño limitado, etc. Una o varias unidades de un recurso libre son *asignadas* a una entidad, y son *liberadas* cuando terminan su trabajo. Una entidad podría recibir simultáneamente servicio de varios recursos (por ejemplo una máquina y un operario)
- **Colas.** Cuando una entidad no puede continuar su movimiento a través del modelo, a menudo porque necesita un recurso que está ocupado, necesita un espacio donde esperar que el recurso quede libre, ésta es la función de las colas. En Arena, cada cola tendrá un nombre y podría tener una capacidad para representar, por ejemplo, un espacio limitado de almacenamiento.
- **Acumuladores de estadísticas.** Para obtener las medidas de eficiencia finales, podría ser conveniente hacer un seguimiento de algunas variables intermedias en las que se calculan estadísticas, por ejemplo: el número total de piezas producidas, el tiempo total consumido en la cola, el número de unidades que han pasado por la cola (necesitaremos este valor para calcular el tiempo medio en cola), el mayor tiempo invertido en la cola por una entidad, el tiempo total en el sistema (en cola más procesado), el mayor tiempo consumido en el sistema por una entidad, etc. Todos estos acumuladores deberían ser inicializados a 0, y cuando sucede algún hecho en el sistema, se tendrán que actualizar los acumuladores afectados.
- **Eventos.** Un evento es algo que sucede en un instante determinado de tiempo en la simulación, que podría hacer cambiar los atributos, variables, o acumuladores de estadísticas. En nuestro ejemplo sencillo, sólo hay tres tipos de eventos: **Llegada** de una nueva pieza al sistema, **Salida** de una pieza del sistema cuando finaliza el tiempo de procesado en la máquina, y **Final** de la simulación, cuando se cumple el tiempo previsto.

- **Reloj de la Simulación.** El valor del tiempo transcurrido, se almacena en una variable denominada *Reloj de Simulación*. Este reloj irá avanzando de evento en evento, ya que al no cambiar nada entre eventos, no es necesario gastar tiempo llegando de uno a otro.

Ejemplo de modelado de un sistema sencillo

Para introducir los conceptos fundamentales de la metodología de simulación con Arena, vamos a modelar un sistema simple: Se trata de un sencillo sistema de atención al público. Los clientes llegan a la instalación, si el servidor está ocupado atendiendo a otro cliente, el que acaba de llegar se une a la cola. Si, por el contrario, el servidor está libre, el cliente pasa inmediatamente a ser atendido. Cuando el servidor acaba la atención a un cliente, comenzará a servir al que estuviera en la primera posición de la cola, y si un hubiera nadie, quedaría desocupado.



Vamos a suponer que los clientes llegan al sistema según una distribución exponencial de media 5 minutos; el tiempo que el servidor emplea en atender a un cliente se distribuye según una función triangular de tiempo mínimo 1 minuto, modal 4 y máximo 8 minutos. Haremos una simulación de 15 minutos y calcularemos:

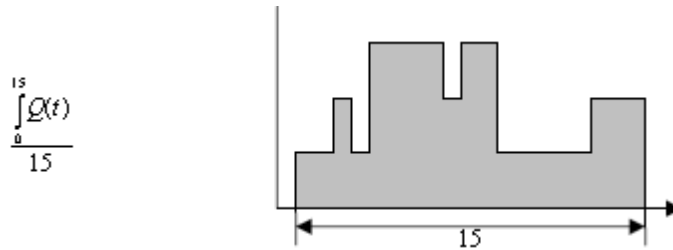
- El número total de clientes atendidos
- El valor medio del tiempo de espera en la cola. Si D_i es el tiempo que pasó en la cola el i -ésimo cliente, y N es el número de clientes que pasaron por la cola, el valor medio buscado será:

$$\frac{\sum_{i=1}^N D_i}{N}$$

En Arena, este tipo de estadísticas se denominan **Tally Statistics**, debido a que el valor de la estadística se va calculando al mismo tiempo que las entidades van pasando por el punto donde se calcula.

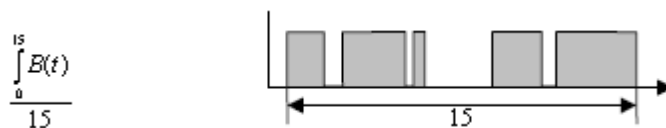
- El valor más alto del tiempo de espera en la cola.

- El número medio de clientes esperando en la cola. Este valor se calcula como la media ponderada de las posibles longitudes de la cola (0, 1, 2, ...), ponderada por la proporción de tiempo de simulación que en la cola había ese número de clientes. Si llamamos $Q(t)$ al número de clientes en la cola en cualquier momento t , el valor medio buscado será el área bajo la curva, dividido por la longitud de la simulación 15.



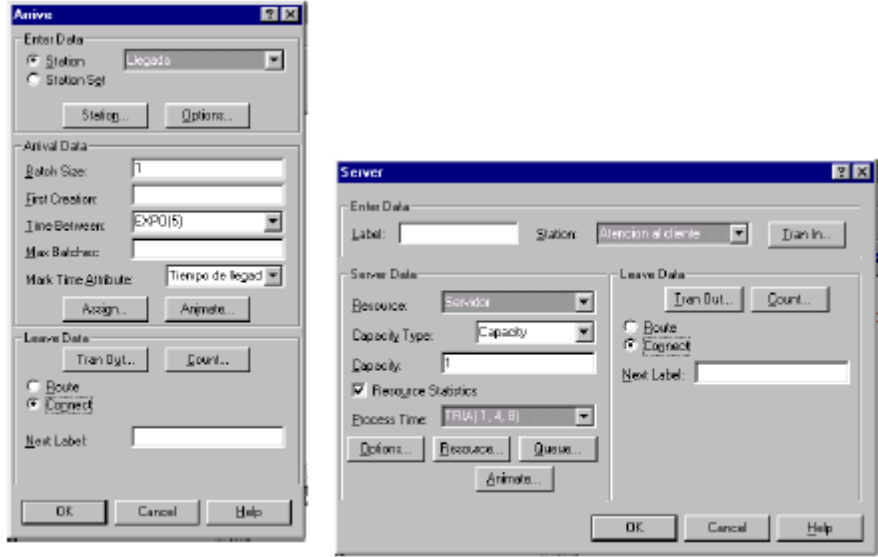
Este tipo de estadísticas persistentes en el tiempo (*Time-Persistent Variable*) son comunes en simulación. Ésta indica el número medio en la cola, lo que puede ser interesante para asignar el espacio adecuado.

- El máximo número de clientes que ha habido en la cola en un momento determinado.
- Los valores medio y máximo del tiempo que un cliente permanece en el sistema (en la cola más siendo atendido). El valor medio será una estadística de tipo *Tally*.
- La utilización del servidor, definida como el porcentaje del tiempo en que el servidor está ocupado. Se trata de otra estadística persistente en el tiempo, en este caso la función $B(t)$ solo puede tomar dos valores 0, cuando el servidor está libre y 1 cuando está ocupado.



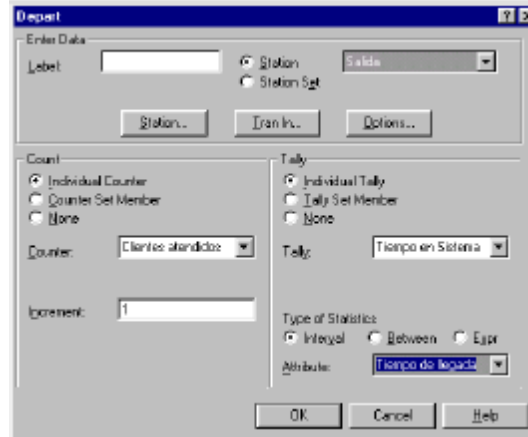
Para modelar el sistema con Arena, se irán arrastrando los módulos adecuados al diagrama. En primer lugar se cogerá el módulo "Arrive" con el que se modelará el proceso de llegada de los clientes al sistema. Haciendo "doble clic" sobre el dibujo del módulo aparecerá una ventana en la que se introducirán los datos relativos a la llegada de los clientes al sistema:

Enter Data	Station	Llegada
Arrival Data	Time Between	EXPO(5)
	Mark Time Attribute	Tiempo de llegada



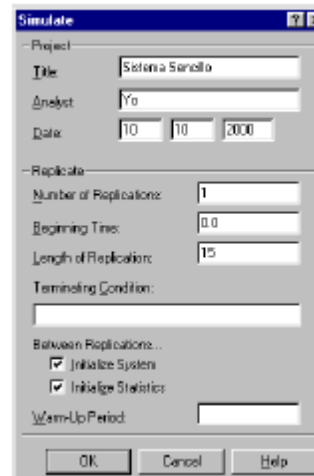
Para simular el proceso de servicio, se arrastrará el módulo “Server” al diagrama (si se seleccionó la opción “Connect” en el módulo anterior, el servidor aparecerá ya conectado al módulo de llegada). Haciendo doble clic en el símbolo del servidor se podrán introducir las características del proceso de atención a los clientes:

Enter Data	Station	Atención al cliente
Arrival Data	Process Time	TRIA(1,4,8)
Leave Data	Connect	Seleccionar



Para modelar el proceso de salida del sistema se escogerá el módulo “Depart”, en el que se introducirán los datos relativos al proceso de salida de los clientes de la instalación, además de algunas de las estadísticas que se recopilarán:

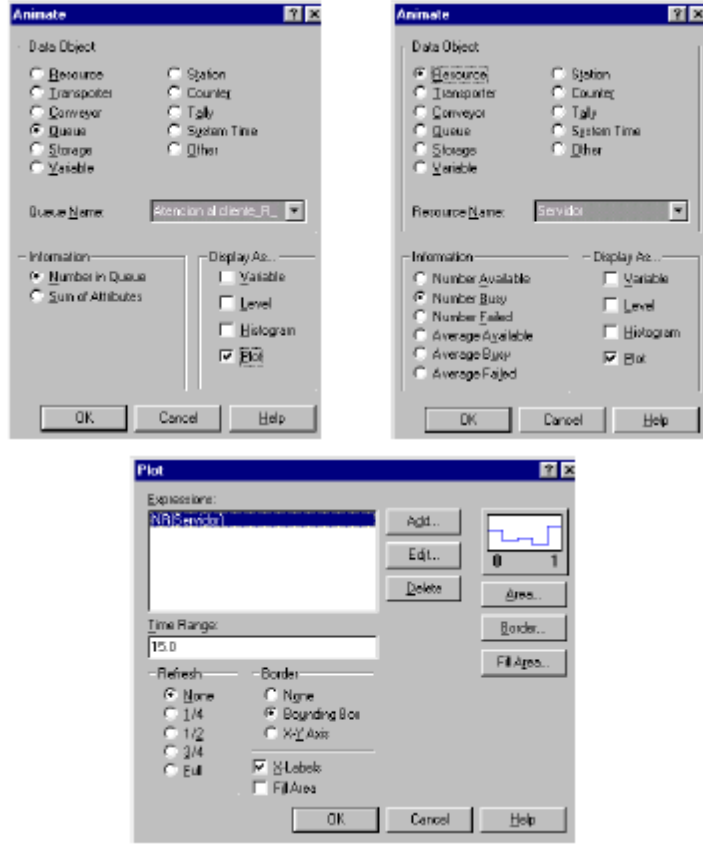
Enter Data	
Station	Salida
Count	
Individual Counter	
Counter	Clientes atendidos
Tally	
Individual Tally	
Tally	Tiempo en Sistema
Attribute	Tiempo de llegada



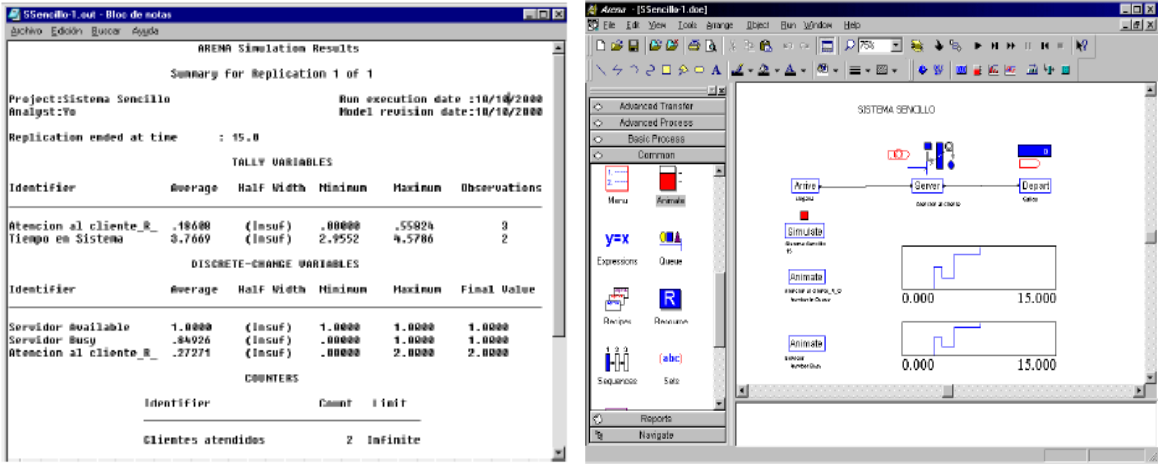
Las características de la simulación se introducen en el módulo “Simulate”:

Project	
Title	Sistema Sencillo
Analyst	Yo
Date	10-10-1962
Replicate	
Length of Replication	15

Utilizando dos módulos “Animate” añadiremos dos gráficos, que nos proporcionarán información sobre el número de clientes en la cola y la ocupación del servidor.



Por último, se puede añadir el título “SISTEMA SENCILLO”, para identificar el modelo. De esta manera, el modelo esta listo para ser ejecutado.



Conclusiones

Actualmente las grandes empresas están involucradas en un mercado global en el cual se mantienen vigentes gracias a sus innovaciones y competitividad ante las demás empresas. Si cada empresa efectúa una toma de decisiones que afectara visiblemente su estado en el mercado en base a distintos cambios en sus procesos corre el riesgo de generar perdidas en lugar de ganancias e incluso llegar a una quiebra total; aquí es donde la simulación efectúa su trabajo satisfactoriamente mediante la implementación de modelos de simulación de procesos con ayuda en un software especializado como Arena. Así cuando los empresarios deseen efectuar algunos cambios en sus procesos pueden recurrir a las técnicas de simulación y asegurar la toma de decisiones con una confiabilidad mayor donde se disminuye el riesgo al fracaso gracias al análisis de los modelos.

Bibliografía

Modelado y Simulacion, Antoni Guasch, Miquel Angel Piera, Josep

Casanovas, Jaume Figueras

Editorial Alfomega 2005, capitulo 1