

PROBLEMAS DE COLAS CON ARENA. MODELIZACIÓN Y SIMULACIÓN DE LA LLEGADA DE CLIENTES

SILVIA E. BARRETO - MARÍA V. LÓPEZ - SONIA I. MARIÑO
Departamento de Informática-Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura-
Corrientes. ARGENTINA
silviaelenabarreto@gmail.com - vlopez@arnet.com.ar - simarinio@yahoo.com

Fecha Recepción: Julio 2013 - Fecha Aceptación: Abril 2014

RESUMEN

En este trabajo se ilustra la modelización y simulación de llegada de clientes utilizando el *software* Arena. El trabajo se compone de cuatro secciones. En la primera se sintetiza el contexto en el que se encuadra el trabajo. La segunda resume la propuesta metodológica diseñada *ad-hoc*. En la tercera sección se describen el caso de estudio analizado y las funcionalidades del *software* generado. Finalmente, se mencionan los resultados y conclusiones.

PALABRAS CLAVE: Simulación – Modelos Empíricos – Fenómenos de espera
Teoría de colas – *Software* específico

ABSTRACT

This paper illustrates the modeling and simulation of arrival of customers using the software Arena. The work consists of four sections. The first section summarizes the context of the work. The second section describes the methodology designed *ad-hoc*. In the third section it is described the case of study and functionality of the product generated. Finally, the conclusions and future works are mentioned.

KEY WORDS: Simulation – Empirics Models – Waiting phenomena – Queuing theory – Specific software

1. INTRODUCCIÓN

“Modelos y Simulación” es una asignatura optativa de la Carrera de Licenciatura en Sistemas de Información, de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura de la Universidad Nacional del Nordeste (FaCENA-UNNE), en la Provincia de Corrientes, Argentina.

El objetivo general de la asignatura es proporcionar una formación sólida en el manejo de los conceptos y técnicas utilizadas en la simulación de sistemas mediante el procesamiento digital de modelos matemáticos. Se enfatizan la búsqueda y la solución de problemas científicos y profesionales aplicando técnicas específicas. En la TABLA 1 se muestra el número de alumnos inscriptos, regulares y promocionales de los cursos 2005 a 2012 de la asignatura.

Siguiendo a Gil Chaveznava (2007), es posible afirmar que Modelos y Simulación es una asignatura de formación complementaria. Es decir, brinda los conocimientos, habilidades y valores que otorgan al estudiante una visión más amplia de su profesión y del mundo.

“La simulación es el proceso de construir un modelo de algún sistema real, en estudio, y llevar a cabo experiencias con él, con la finalidad de aprender el comportamiento del sistema en sus distintos aspectos o de evaluar distintas estrategias para el funcionamiento del sistema, sin tener necesidad de experimentar con el sistema mismo” (Pace *et al.*, 2010).

Asimismo, se entiende como simulación a la técnica que permite “imitar el funcionamiento de un sistema de producción y analizar su comportamiento bajo diferentes condiciones de operación, generalmente utilizando herramientas de apoyo computacional” (Banks *et al.*, 1996 citado en Aguirre *et al.*, 2010).

Una de las grandes ventajas de los modelos de simulación es su flexibilidad. Dado que los modelos de simulación están codificados en programas de ordenador, pueden incluir muchos de los elementos y características del sistema que no están incluidos en los modelos analíticos. En los modelos de simulación, las propiedades del sistema no son determinadas mediante análisis matemático directo, pudiéndose por tanto incluir en el modelo elementos y relaciones que harían el modelo analítico matemáticamente intratable (Urquía Moraleda, 2008).

La aplicación de la simulación para buscar la esencia de un sistema implica, por lo general, el manejo de un volumen considerable de datos y la ejecución de un alto número de repeticiones del proceso, y eso solo es factible de realizar con la ayuda de un *software* especializado (Fábregas Ariza *et al.*, 2000).

Existe una variada clasificación de la simulación. Una de ellas, y quizá la más pertinente y aplicable en este caso de estudio, es la simulación de eventos discretos, técnica que aplicada a un sistema real, imita su funcionamiento mediante el empleo de un modelo (generalmente con apoyo de programas informáticos), lo que permite ensayar modificaciones en el mismo y analizar su impacto en el sistema real (Aguirre *et al.*, 2010).

En este trabajo se presenta el desarrollo de un modelo de simulación de colas como abstracción de un problema real y diseñado con fines didácticos para su implementación en la mencionada asignatura.

Arena es un sistema que provee un entorno de trabajo integrado para construir modelos de simulación en una amplia variedad de campos; integra en un ambiente fácilmente comprensible, las funciones necesarias para el desarrollo de una simulación exitosa (animaciones, análisis de entrada y salida de datos y verificación del modelo) (Fábregas Ariza *et al.*, 2000).

En la FIGURA 1 se observa que a la derecha de la ventana se encuentran las vistas generales del modelo. En esta área de trabajo se genera el modelo y la simulación. En la sección superior de la misma, la parte gráfica muestra el diagrama de flujo del modelo y la animación; y se pueden ver y trabajar. En la inferior un área de datos permite editar las propiedades de cualquier módulo seleccionado. A la izquierda de la ventana, la barra de proyecto dispone de pestañas que controlan todos los aspectos de una simulación.

Los módulos que representan los distintos procesos en un modelo se encuentran agrupados por clase en paneles representados en las pestañas. Desde allí el usuario los selecciona y agrega a un modelo en desarrollo. Además, hay dos pestañas que permiten ver otros aspectos de la simulación: la primera, llamada *Reports* muestra el árbol que representa la estructura de los reportes con los resultados de los experimentos, y la segunda, denominada *Navigate*, permite hacer paneos por áreas de trabajo grandes en modelos complejos. Desde esta última se generan vistas personalizadas que llevan directamente a áreas predefinidas del modelo lógico o la animación.

Arena funciona sobre el lenguaje de programación para simulaciones SIMAN. Esto proporciona una combinación de facilidad de uso por su interfaz y la versatilidad de un lenguaje de programación.

Una de las aplicaciones de la simulación es la teoría de colas, la cual responde a un conjunto de modelos matemáticos que describen sistemas de líneas de espera particulares. El objetivo es determinar el estado estable del sistema y una capacidad de servicio apropiada.

A continuación se describen algunos trabajos que constituyen algunos antecedentes de simulación de problemas de colas.

Bosogain y Olabe (2009) realizaron un trabajo que ofrece al alumno una introducción básica y fundamental sobre los sistemas de eventos discretos. Se estudiaron las diferentes formas de modelar este tipo de sistemas, cómo realizar el análisis y diseño de los mismos, y evaluar su comportamiento mediante simulación por ordenador.

Bernal Garcia *et al.* (2009) realizó un trabajo de simulación de un problema de colas utilizando hoja de cálculo. Eurnerkian (2009) utilizó la herramienta Arena para simular el sistema de partidas de la Terminal del aeropuerto de Carrasco en Montevideo, Uruguay, y determinar en qué categoría IATA se encuadra.

Horta Mendoza (2007) presenta un ambiente visual de simulación y análisis de redes de colas llamado QSim, el cual permite al usuario modelar una red de colas de manera rápida y fácil para después simular y obtener resultados de desempeño.

Moya Sanz (2005) realizó la aplicación de un modelo de simulación a la gestión de las listas de espera de consultas externas de cirugía de un hospital.

El presente trabajo está enmarcado en el proyecto de docencia e investigación y desarrollo descrito en Mariño y López (2008) y Mariño y López (2010). Se expone un caso de estudio de modelos de colas, abstracción de un problema real, modelizado y simulado utilizando un *software* específico como es Arena. Su objetivo está orientado a la construcción de un *software* de simulación de colas, aplicable en ámbitos académicos y empresariales. En el primer caso permitirá a los alumnos realizar experiencias. En el segundo, se dotará a una PyME de la región de un simulador mediante el cual podrá estimar la llegada de clientes. El *software* simulador es accesible desde el entorno de enseñanza-aprendizaje (EVEA) diseñado para la asignatura.

2. METODOLOGÍA

La metodología adoptada se basó en Mariño y López (2009). Los pasos que se llevaron a cabo para el desarrollo de este trabajo son los siguientes:

- 2.1. **Definición del problema.** Consistió en definir claramente el problema a resolver.
- 2.2. **Planificación del proyecto.** Se estimaron los recursos que son necesarios para llevar a cabo el estudio: selección del *software* de simulación a utilizar.
- 2.3. **Definición del sistema.** Se precisaron los aspectos de la realidad que constituyen el sistema bajo estudio.
- 2.4. **Formulación conceptual del modelo.** Se desarrolló un modelo preliminar, en el que se definieron los componentes, las variables descriptivas y las interacciones (la lógica) que constituyen el modelo del sistema.
- 2.5. **Diseño preliminar del experimento.** Consistió en definir qué acción se va a ejercer sobre el modelo y cómo se va a medir su comportamiento. Se trata, por tanto, de definir qué variables son las entradas y cuáles las

salidas, cómo va a modificarse el valor de las entradas y cómo van a recogerse los datos de salida.

- 2.6. **Preparación de los datos de entrada.** Se estableció el procedimiento a seguir para asignar valores a cada una de las variables de entrada durante la simulación.
- 2.7. **Traducción del modelo.** Se describieron las partes del modelo y su funcionamiento empleando el lenguaje de simulación Arena. De este modo ya puede ejecutarse la simulación.
- 2.8. **Verificación y validación.** Se estudió si el modelo operaba como debía y si la salida del modelo es creíble y representativa del comportamiento del sistema.
- 2.9. **Diseño experimental final.** Se diseñaron los experimentos que brindaron la información necesaria para contestar a las preguntas planteadas en el estudio (factor de utilización del servidor, número medio en la cola, número medio en el sistema, tiempo medio en el sistema, tiempo medio de espera en cola). Típicamente el experimento consistió en repetir un cierto número de réplicas de la simulación realizadas en condiciones bien definidas.
- 2.10. **Experimentación.** Se realizaron los experimentos de simulación diseñados anteriormente.
- 2.11. **Elaboración de conclusiones preliminares.** Se realizaron el análisis e interpretación de los datos, infiriendo conclusiones preliminares a partir de los resultados obtenidos por la simulación.
- 2.12. **Implementación y documentación.** Obtenidos los resultados, analizados y extraídas las conclusiones, éstas deben ser presentadas de la forma más adecuada, por lo cual se documentó el modelo y se preparó para su reutilización en posteriores estudios.

3. DESARROLLO

En esta sección se describe el diseño y desarrollo de un modelo de colas con Arena orientado a su aplicación con fines didácticos. Se seleccionó un problema real, sobre el cual se realizó una abstracción. Además, se esbozan los resultados de experimentar variando los valores de los parámetros establecidos en 3.1.

3.1. Un modelo de colas para experimentar

Considérese un fenómeno de espera en el que los tiempos entre llegadas de los clientes al sistema están distribuidos exponencialmente con parámetro $M = 0,2$ y el tiempo de servicio es constante e igual a 1,5 minutos por cliente. Realizar el proceso de simulación para 20 clientes según la norma FIFO y suponiendo que el primer cliente llega al sistema en el instante $t = 0$. Informar por fin de la simulación:

- Factor de utilización del servidor.
- Número medio en la cola.
- Número medio en el sistema.
- Tiempo medio de permanencia en el sistema.
- Tiempo medio de espera en cola.

Arena permite construir diagramas de flujo que presentan una simbología propia. Para el desarrollo del modelo de colas descrito se utilizaron los siguientes recursos como se ilustra en la FIGURA 2. Siguiendo a Fábregas Ariza *et al.* (2000) los elementos de un modelo en Arena son entidades atributos, variables y recursos.

En la FIGURA 3 se puede ver el diseño final del Modelo de Simulación de Colas implementado.

La FIGURA 4 presenta el modelo en funcionamiento. Se observan las entidades en la cola de espera para ser atendidas por el servidor que se encuentra ocupado.

En el FIGURA 5 se presenta el informe final obtenido luego de la corrida del modelo de colas, en el cual se incluyen, entre otros, los siguientes resultados:

- Factor de utilización del servidor = servidor.utilization = 0.030
- Número medio en la cola = Atención a clientes Queque.NumberInQueque = 0.2539
- Número medio en el sistema = Entity 1.WIP= 0.2839
- Tiempo medio en el sistema = Entity 1.TotalTime = 14.194
- Tiempo medio de espera en cola = atención a clientes. Queque.WaitingTime = 12.69

3.2. Generalización del modelo de desarrollo

Con el propósito de experimentar en la modelización de problemas de colas, se realizaron diversas simulaciones estableciendo variaciones en los siguientes parámetros:

- Llegada de clientes. **M**
- Factor de utilización del servidor. **FUS**
- Número medio en la cola. **NMC**
- Número medio en el sistema. **NMS**
- Tiempo medio de permanencia en el sistema. **TMPS**
- Tiempo medio de espera en cola. **TMEC**

La TABLA 2 sintetiza los resultados de las experimentaciones, suponiendo que el primer cliente llega al sistema en el instante $t = 0$ y la unidad de medida en minutos para todas las ejecuciones varía. Un análisis de los resultados expuestos en la TABLA 2 permite afirmar, como es de esperarse, que a medida que aumenta el número de clientes el número medio en la cola aumenta y se plasma en una mayor utilización del servidor.

4. CONCLUSIONES

El diseño y desarrollo del modelo de colas expuesto en este trabajo ha contribuido e incrementado el acervo de soluciones desarrolladas desde la asignatura Modelos y Simulación, con miras a aportar a la construcción del conocimiento y fortalecer el perfil profesional de los estudiantes.

Puede señalarse como una ventaja importante del *software* Arena, su interfaz gráfica, que resulta amigable y facilita la comprensión del funcionamiento de los modelos de simulación desarrollados.

Se han detectado algunas desventajas del *software* de simulación utilizado en la elaboración del trabajo, que se describen seguidamente:

- En Arena los métodos de generación de números pseudoaleatorios y muestras artificiales de variables aleatorias son “cajas negras”, que no posibilitan al usuario seleccionar el método a aplicar, ya que el *software* permite únicamente la elección de algunos parámetros. En el caso de los generadores de números es del tipo denominado “generadores recursivos combinados múltiples”, requiere una semilla que consiste en un vector de 6 componentes.
- Por razones de costos, se accedió a la versión Student, el cual no permite emplear conjuntos de números aleatorios diferentes en cada corrida de simulación. Es decir, cada vez que se ejecuta un modelo asignando los mismos valores a sus parámetros, el resultado que se obtiene es igual.
- El reporte final obtenido luego de la simulación puede considerarse incompleto para el cliente o destinatario del simulador, dado que no proporciona información detallada para cada cliente acerca del tiempo que tarda en ser atendido, el tiempo que espera, etc., sólo muestra los valores promedio de estos tiempos para todos los clientes. Esta información podría resultar incompleta para el análisis de los resultados y la comprensión del modelo de simulación de colas desarrollado para el mencionado destinatario del reporte.

- A fin de subsanar los inconvenientes detectados en la simulación de las variables aleatorias que describen los tiempos de atención y los intervalos de llegadas y representar/mostrar la aleatoriedad de una realidad, se trabajaron con distintos parámetros y los resultados obtenidos se sintetizaron en la TABLA 2. Además, siguiendo a Kelton *et al.* (2002), en Arena para generar observaciones a partir de una distribución pueden especificarse las secuencias de números aleatorios a emplear para diferentes propósitos, es decir, la secuencia 1 para los tiempos entre llegadas de clientes, la secuencia 2 para tiempo de ser atendido, la secuencia 3 para los tiempos de proceso, entre otras.

Se puede considerar finalmente que, si bien el *software* Arena resulta una herramienta muy interesante para la comprensión y desarrollo del proceso de modelado y simulación de sistemas, por su potente y amigable interfaz gráfica, presenta algunas desventajas con respecto a los lenguajes de programación de propósito general y científico. Estos últimos permiten al usuario programar modelos de simulación realizando en forma completa el control de sus parámetros y de los métodos de generación de números y variables aleatorias que “alimentan” los mismos.

5. TABLAS Y FIGURAS

TABLA 1. Alumnos inscriptos, regulares y promocionales en ciclos lectivos 2005 a 2012 de la asignatura “Modelos y Simulación”

Año	Inscriptos	Cursantes	Regulares	Promocionales
2005	24	20	1	16
2007	37	27	2	18
2008	58	27	3	22
2009	34	21	2	19
2010	24	17	1	16
2011	26	11	-	7
2012	12	6	-	4

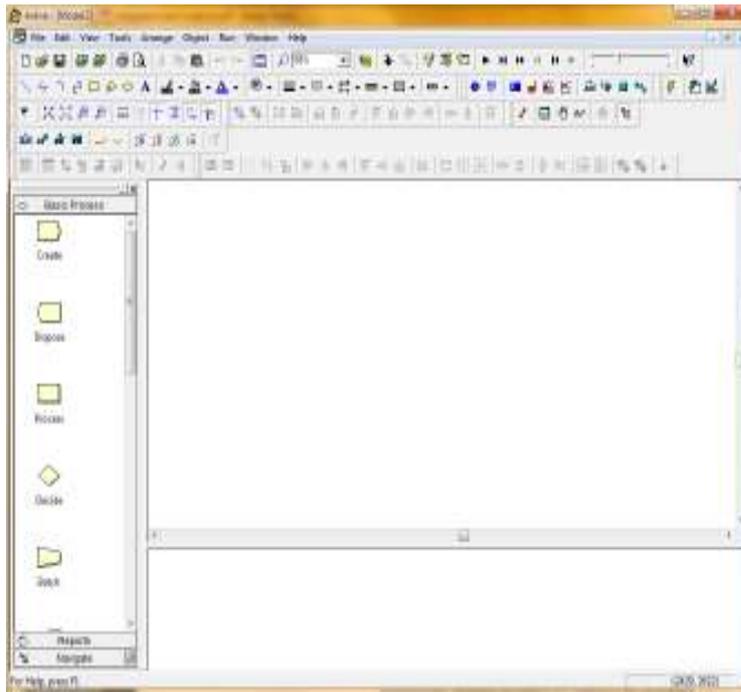
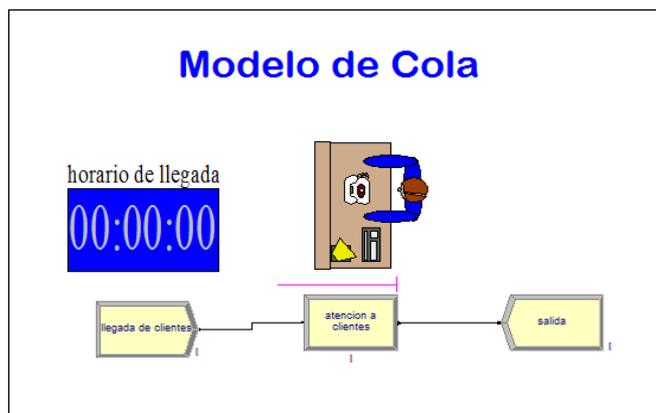


FIGURA 1. Pantalla principal de ARENA



FIGURA 2. Diagrama de Flujo del Modelo de Simulación de Colas.

FIGURA 3. Modelo final.



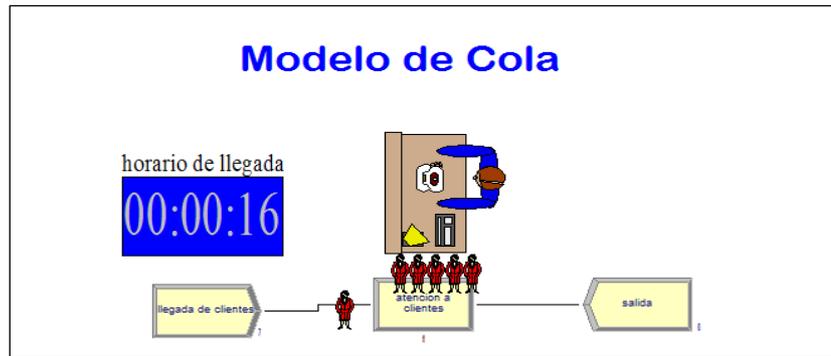


FIGURA 4. Modelo en funcionamiento.

TABLA 2. Síntesis de las experimentaciones realizadas

Ejecución N°	M	Tiempo de servicio	Cantidad de clientes	FUS	NMC	NMS	TMPs	TMEC
1	EXPO(0.1)	1.0	20	0.020	0.174	0.194	9.722	8.722
2	EXPO(0.2)	1.5	20	0.030	0.254	0.284	14.194	12.694
3	EXPO(0.3)	1.8	20	0.036	0.295	0.331	16.567	14.767
4	EXPO(0.1)	1.0	40	0.040	0.694	0.734	18.345	17.345
5	EXPO(0.2)	1.5	40	0.060	0.998	1.058	26.441	24.941
6	EXPO(0.3)	1.8	40	0.072	1.145	1.217	30.437	28.637
7	EXPO(0.1)	1.0	100	0.100	4.380	4.480	44.805	43.805
8	EXPO(0.2)	1.5	100	0.150	6.286	6.436	64.360	62.860
9	EXPO(0.3)	1.8	100	0.180	7.202	7.382	73.816	72.016

6. REFERENCIAS

- AGUIRRE, F. A.; GARCIA, F. K.; VIVAS, M. D.; MICHALUS, J. C. (2010): "ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE EXPANSIÓN DE UNA PYME DE FABRICACIÓN DE FIDEOS LAMINADOS MEDIANTE SIMULACIÓN". XXI Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa (EPIO).
- BERNAL GARCÍA, J. J.; SÁNCHEZ GARCÍA, J. F.; MARTÍNEZ, M. D. (2009): "LA HOJA DE CÁLCULO COMO APOYO A LA SIMULACIÓN DE LOS FENÓMENOS DE ESPERA CON PRIORIDADES. UNA APLICACIÓN A LA SANIDAD. DEPARTAMENTO DE MÉTODOS CUANTITATIVOS E INFORMÁTICOS". Rect@ Vol 10 Diciembre 2009. Pp 77-104 Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena, España. Disponible en: <http://www.revistarecta.com/n10/03.pdf>. Consulta: 31/07/2012.
- BOSOGAIN, X.; OLABE, M. G (2009): "MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS DE EVENTOS DISCRETOS". Escuela Técnica Superior De Ingeniería. Disponible en http://cvb.ehu.es/open_course_ware/castellano/tecnicas/model_simul/pdf/practicas_simulacion_msse.pdf. Consulta: 27/05/2012.
- EURNERKIAN, M. (2009): "SIMULACIÓN EN ARENA DE UN PROBLEMA DE COLAS EN UN AEROPUERTO". Las Tesinas de Belgrano. Universidad de Belgrano. Buenos Aires, Argentina.
- FÁBREGAS ARIZA, A.; WADNIPAR ROJAS, R.; PATERNINA ARBOLEDA, C.; MANCILLA HERRERA, A. (2000): "SIMULACIÓN DE SISTEMAS PRODUCTIVOS CON ARENA". Ed. UNINORTE. Barranquilla, Colombia.

- GIL CHAVEZNAVA, P. (2007): “DISEÑO CURRICULAR Y LOS DIVERSOS MODELOS EDUCATIVOS”. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa. México D. F.
- HORTA MENDOZA, J. M. (2007): “AMBIENTE VISUAL DE SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE REDES DE COLAS”. Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigación en Computación. México D. F.
- KELTON, W. D., SADOWSKI, R. P.; SADOWSKI, D. A. (2002): SIMULATION WITH ARENA, McGraw-Hill.
- MARIÑO, S. I.; LÓPEZ, M. V. (2008): “SERIES DE NÚMEROS ALEATORIOS”. ED. MOGLIA. ISBN 13-N° 978-987-05-5029-9. pgs. 55.
- MARIÑO, S. I.; LÓPEZ, M. V. (2009): “PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE SOFTWARE EDUCATIVO EN LA ASIGNATURA MODELOS Y SIMULACIÓN”. Anales de XXII ENDIO Y XX EPIO.
- MARIÑO, S. I.; LÓPEZ, M. V. (2010): “AVANCES DEL PROYECTO DE DOCENCIA, EXTENSIÓN E INVESTIGACIÓN EN LA ASIGNATURA “MODELOS Y SIMULACIÓN””. Anales WICC 2010 - XII Workshop de Investigadores en Ciencias de La Computación. XII WICC. pgs. 682-686.
- MOYA SANZ, M. A. (2005): “APLICACIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN A LA GESTIÓN DE LAS LISTAS DE ESPERA DE CONSULTAS EXTERNAS DE CIRUGÍA DE UN HOSPITAL COMARCAL”. Tesis Doctoral. Facultad de Medicina. Universidad de Valencia. Valencia.
- PACE, G. J.; MARIÑO, S. I.; LOPEZ, M. V. (2010): “MATERIAL DIDÁCTICO DE LA CÁTEDRA MODELOS Y SIMULACIÓN”. FACENA. UNNE. Inédito. Corrientes. Argentina.
- URQUÍA MORALEDA, A. (2008): “SIMULACIÓN, TEXTO BASE DE TEORÍA”. Departamento de Informática y Automática. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática, UNED. Madrid, España. Disponible en: http://www.euclides.dia.uned.es/aurquia/files/simulacion%20teoria%202008_09.pdf. Consulta: 31/07/2012.