

# **SIMULADORES PARA APOYAR EL APRENDIZAJE DE LA TEORÍA DE COLAS**

Nicolás O. Mielnizuk, Sonia I. Mariño, Romina Y. Alderete  
Departamento de Informática. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura.  
Universidad Nacional del Nordeste, Argentina.  
mnicolasalberto@gmail.com - simarinio@yahoo.com - ary\_59@hotmail.com

## **RESUMEN**

Este trabajo consiste en la modelización y simulación basada en la Teoría de Colas haciendo uso de un software específico. Se compone de cuatro secciones. En la primera se sintetiza el contexto en el que se encuadra el trabajo. La segunda resume el método desarrollado en la simulación. 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. Teoría de Colas.

## **INTRODUCCIÓN**

Se puede definir a la Simulación como “la imitación o réplica del comportamiento de un sistema o de una situación, usando un modelo que lo representa de acuerdo al objetivo por el cual se estudia el sistema” (Berger Vidal, Gambini Lopez y Velazquez Pino, 2000).

Desde el punto de vista de Sosa y Senn (2012) estos modelos ofrecen un ambiente de control en el que un sistema puede ser investigado con mayor detalle, donde se analizan diferentes conjuntos de parámetros y escenarios con un menor esfuerzo.

Pero las simulaciones requieren de ciertas funciones que diferencian un lenguaje específico de uno de propósito general. La existencia de estos y otros factores comunes permitió el desarrollo de los lenguajes de simulación, impulsándolos a la implementación de modelos (Emshoff y Sisson, 1970).

Según lo expuesto la Teoría de Colas es una de las aplicaciones de la simulación que responde a un conjunto de modelos matemáticos los cuales describen sistemas de líneas de espera particulares (Orrego Posada, 1994), cuyo objetivo es determinar el estado estable del sistema y una capacidad de servicio adecuada.

Considerando la formación de líneas de espera, como un fenómeno común que ocurre en la actualidad en los ámbitos en los que se desenvuelve la sociedad como por ejemplo bancos, consulta al médico, cruce controlado de tráfico, cadena de montaje, supermercados o en situaciones más abstractas como la que se provee en la conmutación de paquetes en la red de telefonía. Todas estas situaciones se producen siempre que la demanda actual de un servicio excede a la capacidad actual de proporcionarlo.

Entonces surgen las tecnologías existentes en simulación inherente al modelado de colas como una de las principales alternativas que ayudan a proporcionar servicios adecuados con tiempos de respuestas oportunos.

Es importante clasificar los modelos de colas en dos tipos: descriptivos y prescriptivos. Los primeros describen los sistemas del mundo real actual, mientras los segundos determinan como los sistemas del mundo real deben ser.

El desarrollo de la Teoría de Colas ha estado dominado principalmente por modelos descriptivos. Muy poca atención ha sido brindada a modelos prescriptivos, respecto del diseño óptimo y control de colas (Vesga Acevedo, 2008).

Abordando esta temática desde el punto de vista de la enseñanza-aprendizaje, Tabón (2008) afirma que ser realmente competentes en este campo implica una actitud que se debe tener, proclive al aprendizaje activo por parte del alumnado y asumir el rol de facilitador de aprendizaje como docente. Entonces el gran cambio en la formación esta dado por el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP).

El ABP puede abordarse como una educación orientada al aprendizaje, indagación y reflexión para lograr una respuesta a un problema planteado. Además constituye “una estrategia de enseñanza-aprendizaje en la que tanto la adquisición de conocimientos como el desarrollo de habilidades y actitudes resulta importante” (Morales Bueno y Landa Fitzgerald, 2004).

Además esta modalidad privilegia el auto-aprendizaje y la auto-formación facilitados por la dinámica del enfoque y la concepción constructivista, según Baena Extremera y Granero Gallegos (2012).

El constructivismo demanda el entregar al alumno herramientas que permitan la creación de sus propios procedimientos para resolver una situación problemática, y la característica específica que se basa en múltiples teorías, estilos, ideas para obtener información complementaria en un tema, o aplicar diferentes teorías en casos particulares.

A partir del análisis de los antecedentes de la Teoría de Colas, es posible afirmar la escasa documentación orientada al desarrollo de software con orientación pedagógica, salvando situaciones en este sentido, se puede mencionar a Ramírez Contreras (2012) quien considera que el modelo de colas FIFO (-por sus siglas en inglés- First In, First Out) sea comprendido, en cuanto a conceptos básicos de manera clara y que la simulación otorgue las características que ésta presenta y los beneficios que conlleva.

Sin embargo, si existe un amplio abanico de trabajos publicados con propósito de resolver situaciones problemáticas de la vida real tales como los estudiados en Barreno Layedra (2011), que demuestra el aporte de la integración de varias disciplinas tales como estadística, informática y otras ramas del conocimiento humano, proporcionan soporte a la ingeniería del tránsito y la planificación urbana.

El presente trabajo está enmarcado en el proyecto de docencia e investigación y desarrollo descrito en Mariño y López (2008) y (2010). Se llevó a cabo el desarrollo de un modelo de simulación basado en la Teoría de Colas como abstracción de un problema real y diseñado con fines didácticos para su implementación en la asignatura optativa Modelos y Simulación de la Carrera de Licenciatura en Sistemas de Información.

El objetivo general de la asignatura es brindar una formación sólida en el manejo de los conceptos y técnicas utilizadas en la simulación de sistemas a través del procesamiento digital de modelos matemáticos. Además se enfatiza la búsqueda y la solución de problemas científicos y profesionales aplicando técnicas específicas.

A través de este trabajo se abordó un estudio de las características y prestaciones de un software específico de simulación, para desarrollar una aplicación de simulación de problemas de colas, que se emplea como herramienta complementaria al proceso de aprendizaje en la mencionada asignatura.

Además brinda un enfoque que acerca a los estudiantes a la realidad de su futura vida profesional a través de abstracciones teóricas y prácticas que buscan la solución de situaciones problemáticas aplicando líneas de espera en diversos dominios del conocimiento.

Su diseño se orientó a brindar una alternativa para mejorar la comprensión y afianzar los conocimientos en temas teóricos representados empíricamente mediante un prototipo funcional.

## METODOLOGÍA

El método adoptado se basó en Mariño y López (2009). Se desarrollaron los siguientes pasos:

1. **Definición del problema.** Se definió con precisión el problema a resolver. Se centró en la modelización y simulación de una abstracción de una situación real utilizando un modelo de colas.
2. **Planificación del proyecto.** Se estimaron los recursos que son necesarios para llevar a cabo el estudio: selección del software de simulación a utilizar.
3. **Definición del sistema.** Se precisaron los aspectos de la realidad que constituyen el sistema bajo estudio.
4. **Formulación conceptual del modelo.** Se desarrolló un modelo preliminar, se definieron los componentes, las variables descriptivas y las interacciones que constituyen el modelo del sistema.
5. **Diseño preliminar del experimento.** Se definió la ejecución del modelo y la medición de su comportamiento. Se realizaron las siguientes actividades: definición de las variables de entradas y de salidas, como se modifica el valor de las entradas y como se recuperan los datos de salida.
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.
7. **Codificación del modelo.** Los modelos de simulación pueden programarse utilizando lenguajes de propósito general o específicos como son Simulink y Arena. En este trabajo, se describieron las partes del modelo y su funcionamiento empleando una versión estudiantil de Simulink, como lenguaje específico para la ejecución de la simulación. Se realizaron los siguientes pasos:
  - Identificación de los bloques afectados.
  - Especificación de los parámetros del bloque e interconexión.
  - Configuración de los parámetros de la simulación.
  - Ejecución del simulador.
8. **Verificación y validación.** Se estudió la operación del modelo y la salida que representaba el comportamiento del sistema.

9. **Diseño experimental final.** Se llevó a cabo la experimentación con el objetivo determinar la combinación de los valores de los parámetros que optimicen la variable de interés. Implicaron aspectos de eficiencia y se determinó como desarrollar el experimento. Los mismos se diseñaron para obtener información de un punto de servicio con tiempos entre llegadas constantes y tiempos de servicio aleatorios. El experimento consistió en replicar la simulación en condiciones bien definidas.
10. **Experimentación.** Se ejecutaron los experimentos de simulación diseñados anteriormente y se sistematizó la información obtenida.
11. **Elaboración de conclusiones preliminares.** Se realizó el análisis e interpretación de los datos, infiriendo conclusiones preliminares a partir de los resultados obtenidos a partir de la simulación.
12. **Implementación y documentación.** Alcanzados los resultados, analizados y extraídas las conclusiones, éstas se presentaron de la forma más adecuada, por lo cual se documentó el modelo y se preparó para su utilización en posteriores estudios.

## DESARROLLO

En esta sección se describe el diseño y desarrollo de un modelo de colas aplicado con fines didácticos.

En las etapas 2.1 a 2.4 mencionadas anteriormente, se seleccionó un problema real, sobre el cual se realizó una abstracción. Se abordó un modelo de colas de un punto de servicio con tiempos entre llegadas constantes y tiempos de servicio aleatorios.

La etapa 2.5 de la metodología expuesta se sintetizó en el caso de estudio descrito por el siguiente enunciado:

*Considérese la consulta de un médico que cita a sus pacientes cada 20 minutos. El tiempo empleado por el médico en examinar a un paciente es una variable aleatoria exponencial con parámetro  $M=1/25$ . Se requiere analizar el proceso de simulación para 14 pacientes, primeramente según la modalidad FIFO, y luego aplicando la modalidad LIFO (-por sus siglas en inglés- Last In, First Out), suponiendo que el primer paciente llega a la consulta en el instante  $t = 0$ .*

Se desea informar:

- Media del tiempo de espera en cola.
- Promedio del tamaño de la cola.
- Media del tiempo de espera en servicio.
- Tiempo de utilización del servidor.
- Media del tiempo de la duración de la consulta.

Se desea graficar:

- las entidades apartadas de la cola.
- las entidades en espera por el servicio.
- las entidades que reciben servicio.
- las entidades despachadas.

A continuación se explicita cómo se abordó lo indicado en la etapa 2.6 donde se plasmó un modelo de simulación utilizando un software que implementa la Teoría de Colas representado en la Figura 1 según la modalidad FIFO. En el trabajo se supone que el primer cliente llega al sistema en el instante  $t=0$ . Se consideraron servicios exponenciales de parámetro  $M=0,04$  con una semilla igual a 20361 y tiempos entre llegadas constantes igual a 20 minutos (capacidad de cola infinita) para un tiempo de simulación de 16800 segundos.

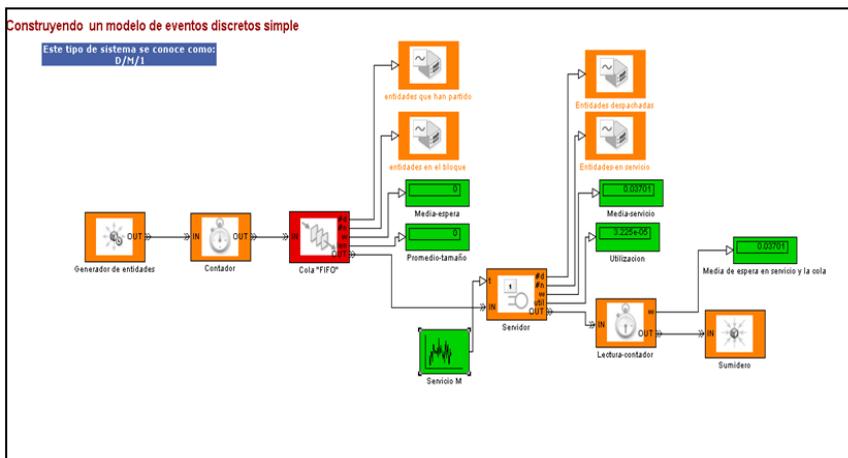


Figura 1. Disciplina de la cola FIFO.

En la Tabla 1 se indican los valores de los parámetros utilizados en la simulación aplicados a las modalidades FIFO y LIFO. Además, en referencia a las etapas 2.7 y 2.8 de la metodología, los resultados del experimento se observan en la Tabla 1 donde las columnas 2 y 3 indican una media de 0 en el bloque de cola.

En la modalidad FIFO, el tiempo de servicio es menor al tiempo de generación de una nueva entidad otorgando mayor capacidad al bloque del servidor estando la mayor parte del tiempo ocioso. Las Figuras 2 a 5 ilustran este comportamiento indicando que toda entidad generada ha recibido un servicio sin esperar por él.

Los resultados obtenidos con la aplicación de la modalidad LIFO reflejados en la Tabla 1 indican la falta de una variación significativa en las variables informadas, por lo que un cambio en el modo de atención no implica para esta configuración, alguna modificación deseable.

Se decidió omitir los gráficos generados por la simulación aplicando la modalidad LIFO dado que carecen de variación significativa con respecto a los ilustrados en las Figuras 2 a 5.

<b>Disciplina</b>	<b>Media del tiempo de espera en cola</b>	<b>Promedio del tamaño de la cola</b>	<b>Media del tiempo de permanencia en servicio</b>	<b>Tiempo de utilización del servidor</b>	<b>Media del tiempo de la duración de la consulta</b>
FIFO	0.0	0.0	0.03701	0.00003225	0.03701
LIFO	0.0	0.0	0.03701	0.00003225	0.03701

**Tabla1.** Valores de los parámetros aplicables en las modalidades FIFO y LIFO.

Las etapas 2.9 y 2.10 se plasmaron en la experimentación, sintetizando los resultados en las Tablas 3 y 4.

En referencia a la etapa 2.11, para determinar una mejora admisible en la simulación de los modelos generados, siguiendo las conjeturas del caso de estudio y manteniendo el concepto de tiempos de servicios aleatorios y tiempos de llegadas constantes, se realizaron diferentes corridas.

La Tabla 2 referencia de las variables de las Tablas 3 y 4, que resumen los resultados para las modalidades FIFO y LIFO respectivamente. Los valores representados se encuentran en el orden del segundo.

Dada la afirmación en la sección 2.9 de la metodología los valores de TSS son procesados por un bloque que genera números pseudoaleatorios basado en eventos, es decir, cada vez que una nueva entidad llega a un bloque, los valores reflejados corresponden a la media para la distribución seleccionada.

En cuanto al valor TLLS es un parámetro del bloque generador de entidad, refleja la generación de una entidad entre dos eventos sucesivos.

En las experimentaciones, se puede observar una reducción en los tiempos para una simulación de 4 hs (14400 segundos) en las variables: Media de espera en cola, lo cual impacta en el Promedio del tamaño de la cola, y la Media de la duración de la atención (variables muy ligadas en el proceso).

Se refleja que para dichas condiciones un tipo de atención LIFO mejoraría estos valores frente a una modalidad FIFO. Las condiciones restantes permanecen sin alguna variación significativa respecto de una modalidad de atención con otra (FIFO y LIFO).

Finalmente, la Etapa 2.12 de la metodología se plasma en la Implementación y documentación, precisamente se presentó y difundió el modelo entre los alumnos que cursaron la asignatura en el año 2014.

La documentación realizada favorecerá el desarrollo de modelos similares aplicados a la resolución de otros problemas y la experimentación con la herramienta de simulación elegida en este trabajo.

<b>Abreviatura</b>	<b>Descripción</b>
DSS	Duración de la simulación en segundos.
TSS	T. servicio en segundos.
TLLS	T. entre llegadas en segundos.
V1	Media del tiempo de espera en cola.
V2	Promedio del tamaño de la cola.
V3	Media del tiempo de permanencia en servicio
V4	Tiempo de utilización del servidor.
V5	Media del tiempo de la duración de la atención.

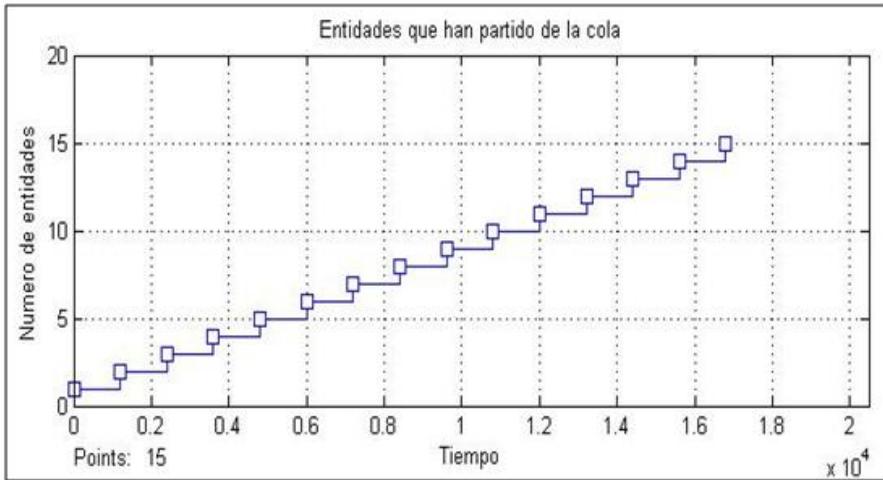
**Tabla 2.** Nomenclatura de referencia.

DSS	TSS	TLLS	V1	V2	V3	V4	V5
28800	1200	2400	92.13	0.04159	1238	0.487	1337
28800	900	2400	22.94	0.01036	928.2	0.3653	953.1
28800	480	2400	0	0	495.1	0.1948	495.1
21600	1200	1500	587.3	0.4195	1072	0.7741	1659
21600	900	1500	121.2	0.08658	804	0.5806	925.2
21600	480	1500	0	0	428.8	0.3096	428.8
14400	1200	300	4436	17.57	1169	1	5139
14400	900	300	4900	15.02	696.6	1	5445
14400	480	300	2262	8.774	482.3	0.973	2633

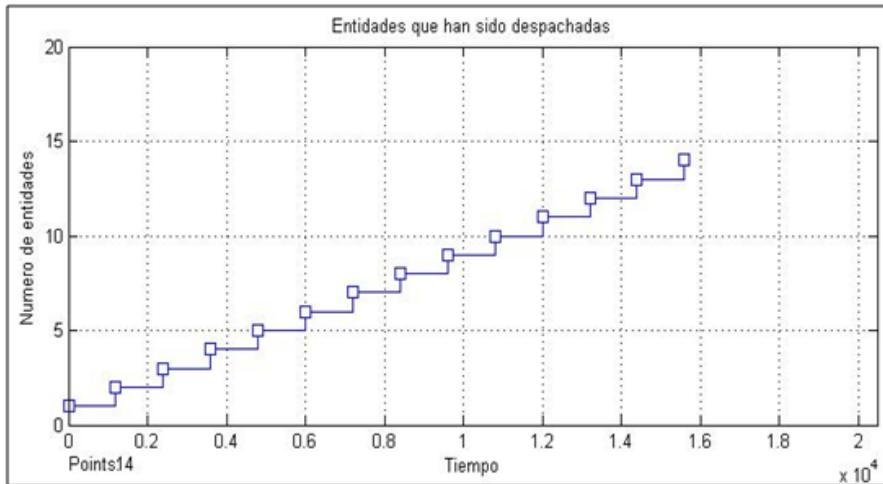
**Tabla 3.** Síntesis de las experimentaciones en la modalidad FIFO aplicando parámetros de la Tabla 1.

DSS	TSS	TLLS	V1	V2	V3	V4	V5
28800	1200	2400	92.13	0.04159	1238	0.487	1337
28800	900	2400	22.94	0.01036	928.2	0.3653	953.1
28800	480	2400	0	0	495.1	0.1948	495.1
21600	1200	1500	587.3	0.4195	1072	0.7741	1659
21600	900	1500	121.2	0.08658	804	0.5806	925.2
21600	480	1500	0	0	428.8	0.3096	428.8
14400	1200	300	160.8	17.57	1169	1	1321
14400	900	300	185.8	15.02	696.6	1	885.1
14400	480	300	333.6	8.774	482.3	0.973	821.4

**Tabla 4.** Síntesis de las experimentaciones aplicando modalidad LIFO aplicando parámetros de la Tabla 1



**Figura 2.** Entidades que han partido de la cola según modalidad FIFO.



**Figura 3.** Entidades que han sido despachadas del servidor.

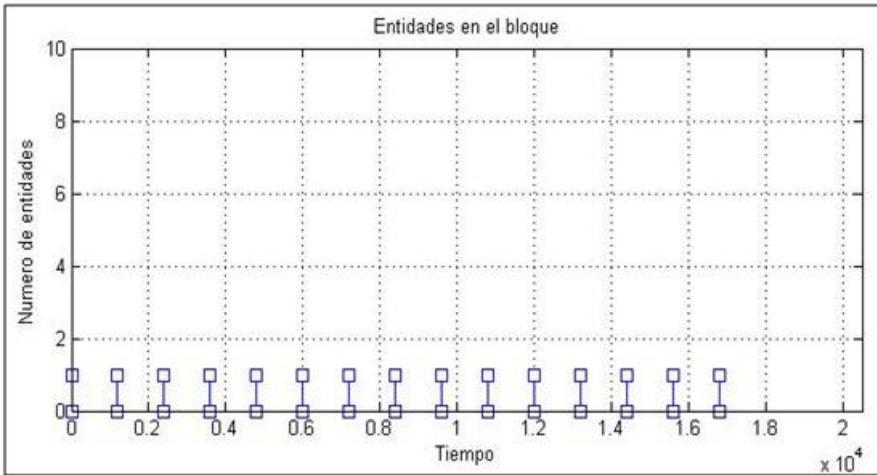


Figura 4. Entidades en el bloque de cola.

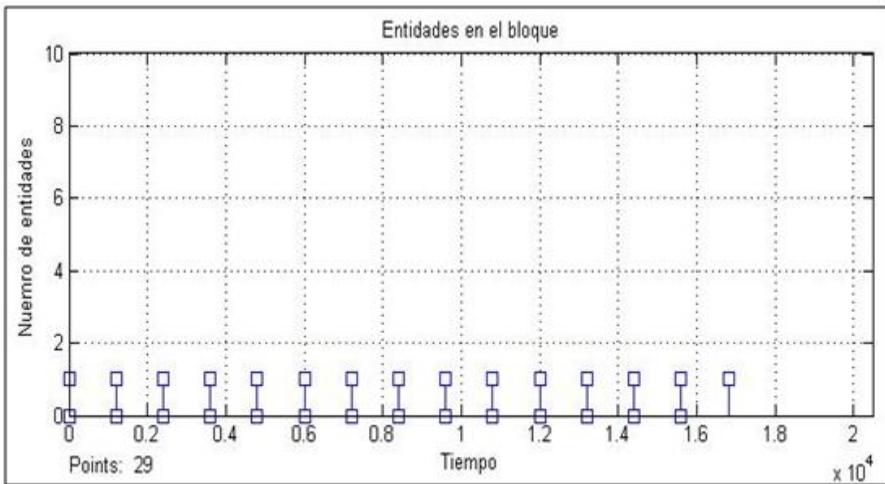


Figura 5. Entidades en servicio.

## 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 de los estudiantes,

en situaciones problemáticas a las que podría enfrentarse en su futura vida profesional, específicamente en situaciones en que la realidad se relaciona con problemas de líneas de espera.

La modelización y simulación del caso de estudio expuesto ha permitido observar las siguientes cuestiones:

- Tanto en Simulink, como en Arena (Barreto, López y Mariño, 2014), los métodos de generación de números pseudoaleatorios y muestras artificiales de variables aleatorias funcionan como “cajas negras”. La diferencia esencial reside en que el primero (Simulink), dispone de un bloque de funciones programables (código C) según los criterios que requiera la topología de cola a implementar, abriendo un abanico de posibilidades.
- En referencia al empleo de generadores de números pseudoaleatorios dispone de librerías que permiten especificar una distribución de probabilidad estadística y una semilla inicial, que admite ejecutar un comportamiento **aleatorio** repetible.
- Simulink, carece de una funcionalidad que proporcione un informe conclusivo legible para un usuario final, (considerando a este como agente que desconoce el dominio del problema). Es decir, los resultados están dirigidos a usuarios con medianos conocimientos de la Teoría de Colas y las notaciones de Kendall entre otros. En otras palabras, el especialista genera la información que requiere, manipulando bloques, al igual que el espacio de trabajo, permitiendo exportar datos de la simulación según el nivel de granularidad de entidad generada, siendo esta una potencialidad frente a otros productos.

Puede señalarse como una ventaja importante del software empleado, la plataforma sobre la que funciona –siendo Windows ampliamente empleada por los usuarios-, dada su concepción matemática para el cálculo científico. Dispone de una interfaz gráfica que facilita la comprensión del funcionamiento del modelo de simulación desarrollado. Además presenta cualidades que la hacen potencialmente superior al resto de simuladores específicos como: bloques de funciones personalizado, exportación de datos de la simulación con una granularidad muy fina a nivel de entidades, librerías que ofrecen interfaces a otros simuladores de propósito específico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Baena Extremera, A.; Granero Gallegos, A. (2012). Los mapas conceptuales y el aprendizaje basado en problemas en el aprendizaje de contenidos anatómicos-fisiológicos en opositores al cuerpo de profesores de educación secundaria. Recuperado el 6 de agosto de 2014 de: [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=s0717-95022012000100041&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=s0717-95022012000100041&script=sci_arttext).

- Barreno Layedra, A. M. (2011). *Propuesta de un modelo de optimización de tránsito basado en teoría de colas para la ciudad de Riobamba. Caso de estudio calle primera constituyente limitado entre Carabobo y Eugenio Espejo*. Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias.
- Barreto, S. E.; López, M. V.; Mariño, S. I (2014). Problemas de colas con Arena. Modelización y simulación de la llegada de clientes. *Revista de la Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa*, 22(35), 186-198.
- Berger Vidal, E.; Gambini Lopez, I.; Velazquez Pino, C. (2000). *Simulación de Sistemas*. Notas del Instituto de Investigación en Ciencias Matemáticas.
- Emshoff, J.; Sisson, R. (1970). *Design and Use of Computer Simulation Models*. New York: Macmillan Company.
- Mariño, S.; Lopez, M. (2008). Un proyecto de docencia, extensión e investigación en la asignatura Modelos y Simulación. En *Anales del X Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*. Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Pampa. General Pico: Edunlpam.
- Mariño, S.; López, M. (2009). Propuesta metodológica para la construcción de software educativo en la asignatura Modelos y Simulación. En los *Anales de XXII Encuentro Nacional de Docentes de Investigación Operativa y XXXX Encuentro de Perfeccionamiento de Investigación Operativa*.
- Mariño, S.; López, M. (2010). Avances del proyecto de docencia, extensión e investigación en la asignatura Modelos y Simulación. En los *Anales Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación. WICC 2010*, 682-686.
- Morales Bueno, P.; Landa Fitzgerald, V. (2004). *Aprendizaje Basado en Problemas*. Lima, Perú: Universidad Católica del Perú.
- Orrego Posada, R. (1994). La calidad del servicio, la gestión de flujos y la teoría de colas. *Revista Universidad Eafit*, 94, 23-29.
- Ramírez Contreras, A. K. (2012). *Simulación de un modelo de colas FIFO*. Veracruz: Facultad de Contaduría y Administración. Universidad de Veracruzana.
- Sosa, E. O.; Senn, J (2012). *Simuladores de sistemas modernos de comunicación*. XIV Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación. Posadas. Argentina.
- Tobón, S. (2008). *La formación basada en competencias en la Educación Superior: El enfoque complejo*. México: Universidad Autónoma de Guadalajara.
- Vesga Acevedo, G. A. (2008). *Aplicación y validación de dos algoritmos, para el diseño óptimo de sistemas de colas Markovianos*. Tesis de grado no publicada, Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia.