



**Teoría de colas. Propuesta de un simulador didáctico**

**Yesica Daiana Vallejos Torres<sup>1</sup>, Pedro Luis Alfonzo<sup>2</sup>, Sonia I. Mariño<sup>3</sup>**

**Universidad Nacional del Nordeste. daiana9893@hotmail.com**

**Universidad Nacional del Nordeste. plalfonzo@hotmail.com**

**Universidad Nacional del Nordeste. simarinio@yahoo.com**

**Resumen**

Los simuladores de abstracciones de problemas reales son uno de los usos de las TIC en educación. El estudio de modelos basados en la Teoría de Colas radica en generar respuestas para optimizar el tiempo de espera ante un servicio determinado. En este sentido, se presenta la construcción de un simulador de un modelo de sistema basado en Teoría de Colas, para su implementación en un contexto de educación superior. El software permite simular y representar gráfica y visualmente el comportamiento del sistema, permitiendo cambiar los parámetros que definen el proceso de la simulación, facilitando la experimentación de los estudiantes. Para su validación se efectuaron corridas y experimentos que representa el Modelo de Cola M/M/1. La generación estocástica de los parámetros/valores produce resultados de desempeño más reales. En el documento se describe la introducción, la metodología aplicada, los resultados enfatizando en la generación de informes utilizando distintos parámetros. Finalmente, se mencionan las conclusiones y posibles líneas para continuar el trabajo.

**Palabras claves:** Educación Superior, Modelos, Simulación, Teoría de Colas.



### **Queuing theory. Proposal of a didactic simulator**

#### **Abstract**

Simulators of abstractions of real problems are one of the uses of ICT in education. The study of models based on the queues theory is oriented to generate responses in order to optimize the waiting time to a particular service. The paper presents the simulator's construction of a model based on queues theory, designed to implement in the higher education context. The software allows the simulation process and graphically and visually represents the behavior of the system modeled. Also, it allows change the parameters defined, and so facilitating student's experimentation. In order to validate, some experiments of M/M/1 mode were executed. The stochastic generation of parameters/values produces more actual performance results. The paper consist of the following sections the introduction, the methodology applied, the results emphasizing the generation of reports using different parameters. Finally, some the conclusions and possible lines to continue the work were mentioned.

**Keywords:** Higher Education, Models, Simulation, Queuing Theory.



## **1. Introducción**

El uso de las TIC y la multiplicidad de herramientas orientadas para facilitar el manejo, el acceso y la difusión de la información evolucionaron plasmándose en una diversidad de soluciones tecnológicas, siendo uno de ellos los simuladores de abstracciones de problemas reales.

Se define 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 López y Velázquez Pino, 2000, p. 93). Por otra parte, Cao Abad (2002) expresa que la Simulación es la técnica que consiste en realizar experimentos de muestreo sobre el modelo de un sistema. Un modelo es un conjunto de variables junto con ecuaciones matemáticas que las relacionan y restricciones sobre dichas variables.

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 (Sosa y Senn, 2012).

En García (2015) se resumen distintas posturas en el abordaje de las simulaciones. Considera que:

Habría una diferencia nítida entre prácticas representacionales vinculadas con la modelización, entre las cuales estarían las simulaciones computacionales, y prácticas interventivas vinculadas con sistemas físicos. Es así, que si las simulaciones computacionales ocupan un espacio genuino en la actividad científica, entonces estarían más fuertemente emparentadas con la teorización y en un claro contraste con la experimentación. (García, 2015, p. 217).

Un método para simular problemáticas que requieren estrategias diversas es la Teoría de Colas. Ésta tiene por objeto el estudio y análisis de situaciones en las que existen entes que demandan cierto servicio, de tal forma que dicho servicio no puede ser satisfecho instantáneamente, por lo cual se provocan esperas (Cao Abad, 2002).

En Mariño y Alfonzo (2016) se expresa que la Teoría de Colas es el estudio matemático de las líneas de espera o colas en una red de comunicaciones. Se define como su principal objetivo analizar varios procesos, tales como la llegada de los datos al final de la cola, la espera en la cola, entre otros.



**Teoría de colas. Propuesta de un simulador didáctico**  
*Revista Publicando, 4 No 13. No. 1. 2017, 5-20. ISSN 1390-9304*

En general, la Teoría de Colas se considera una rama de la Investigación Operativa. Lo expuesto se debe a la aplicación de sus resultados a una amplia variedad de situaciones entre las que se mencionan los negocios, comercio, industria, ingenierías, producción, transporte y telecomunicaciones, entre otras. El estudio de modelos basados en la Teoría de Colas radica en generar respuestas orientadas a mejorar el tiempo de espera ante un servicio determinado con miras a evitar aglomeraciones, pérdida de tiempo o caos entre sus usuarios.

La Teoría de Colas utiliza los Modelos de Colas para representar los tipos de sistemas de líneas de espera. Las fórmulas de cada modelo indican cuál debe ser el desempeño del sistema correspondiente y señalan la cantidad promedio que ocurriría en diversas circunstancias. Los modelos de líneas de espera son útiles para determinar cómo debe operar un sistema de colas de manera eficaz. Proporcionar demasiada capacidad de servicio para operar el sistema implica costos excesivos; pero si se carece de suficiente capacidad de servicio surgen esperas excesivas. Los modelos permiten encontrar un balance adecuado entre el costo de servicio y la espera asociada a ese servicio (Hillier y Lieberman, 2010).

Se define en Domínguez Bocanegra, Domínguez Bocanegra y Torres Muñoz (2016) como objetivos de un sistema basado en la Teoría de Colas:

- Identificar el nivel óptimo de capacidad del sistema que minimiza el coste del mismo.
- Evaluar el impacto que las posibles alternativas de modificación de la capacidad del sistema tendrían en el coste total del mismo.
- Establecer un balance equilibrado (“óptimo”) entre las consideraciones cuantitativas de costes y las cualitativas de servicio.
- Prestar atención al tiempo de permanencia en el sistema o en la cola de espera.

En la literatura se mencionan una diversidad de aplicaciones de estos modelos en problemáticas tratadas en empresas, entidades de gobiernos, bancos, supermercados, estaciones de servicios, entre otras (Antoniol, Cimitile, Di Lucca y Di Penta, 2004; Castañeda Pérez, 2016; Correal Rodríguez, 2014; Maldonado, 2015).

Los principales actores que participan en un modelo de Colas son los clientes y los servidores. Entendiéndose por cliente una persona, una orden de servicio, un automóvil, entre otros y el servidor será aquella estación que pueda realizar la respectiva actividad de servicio sobre el cliente, como ser un cajero, una secretaria, una maquina, entre otros (García, 2015).

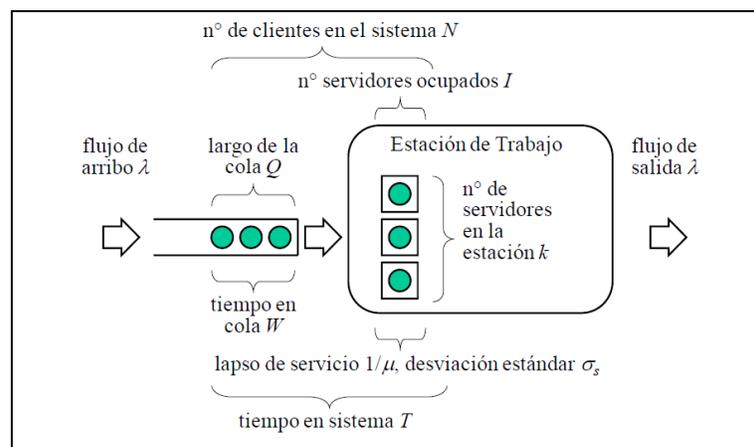


El proceso asociado a los Modelos de Colas consiste en los *clientes* que requieran un servicio se generan en el tiempo en una *fuerza de entrada*. Éstos, ingresan al *sistema* y se unen a la cola. En determinado momento se selecciona a un miembro de la cola para proporcionar un servicio mediante alguna regla conocida como *disciplina de la cola*. Se realiza el servicio que el cliente requiere mediante un *mecanismo de servicio* y luego el cliente sale del sistema de cola (Hillier y Lieberman, 2010).

La disciplina de cola se define como el proceso para decidir qué usuario será llamado de la cola o al que se le prestará servicio. Las disciplinas básicas son (Pardo y Valdés, 1987):

- Forma en que los clientes llegan al punto de servicio: aleatoria o determinística.
- Forma como se realiza el servicio: aleatoria o determinística.
- Modo de elegir los clientes de la fila que espera el servicio. Se puede optar por la norma FIFO (primero que entra, primero que sale), la norma LIFO (último que entra, primero que sale) o la norma RSS (selecciona los clientes de manera aleatoria, de acuerdo a algún procedimiento de prioridad o a algún otro orden.). Cabe aclarar que si hay varios puntos de servicio, la descripción del fenómeno de espera necesita otras especificaciones.

En la Figura 1 se presenta un modelo de sistema de espera que consiste en un número de servidores y en una cola de clientes. Los valores  $N$ ,  $\lambda$  y  $Q$ , entre otros, definen las características del sistema (Singer, Donoso y Scheller-Wolf, 2008).



**Figura 1.** Modelo de un sistema de espera (Fuente: [Singer, Donoso y Scheller-Wolf, 2008]).



- **La asignatura como espacio de implementación de la propuesta**

“Modelos y Simulación” es una asignatura optativa del Área Ciencias y Métodos Computacionales, y pertenece al plan de estudios de la carrera Licenciatura en Sistemas de Información. Su caracterización se presentó en Mariño y López (2009).

El plan de estudios de la carrera describe un conjunto de conocimientos, habilidades y actitudes que definen el perfil profesional de los graduados. Entre éstas se encuentra la destreza para el manejo sistemas de simulación computarizados, que junto a la capacidad para modelizar, constituyen el objeto de estudio de la asignatura. Para enfatizar la conexión con el campo profesional y disciplinar, se introducen en el desarrollo de las clases, ejemplos basados en situaciones reales de dominio técnico o académico-científico, para ilustrar a los futuros egresados cómo estos problemas se pueden resolver aplicando los temas abordados en la asignatura (Mariño y López, 2011).

La asignatura se relaciona con otras que tratan temas de paradigmas de Programación, Probabilidad y Estadísticas (Mariño, López y Escalante, 2010; Mariño y López, 2008). Así, se coincide con Weitz (2016, p. 1201), quien expresa que “la asignatura conforma el nexo de vinculación entre la línea curricular de Sistemas, Matemáticas, Estadística e Investigación Operativa”. Los contenidos del curso incluyen definiciones teóricas y metodológicas, procedimientos de cálculos, y conocimientos preliminares en matemática y estadística, y la necesidad de abstracción.

La asignatura se organiza en torno a un proyecto de articulación de actividades de Docencia e Investigación Aplicada, en concordancia con algunas misiones de la Universidad. En Mariño y López (2008) se identificaron: i) la incorporación de recursos humanos de grado a fin de afianzar y propiciar un ámbito de formación continua en temas específicos de la asignatura, ii) la aplicación de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) plasmadas en innovaciones pedagógicas (alternativas complementarias para acompañar el proceso de enseñanza-aprendizaje), iii) la elaboración de materiales didácticos en diversos formatos y iv) la integración de temas abordados en la asignatura con otras disciplinas, otros dominios del conocimiento y la práctica profesional. Particularmente en este trabajo se tratan aquellas vinculadas a los ítems ii y iv.

Se define 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 et al., 2000). Otras definiciones pueden localizarse en Ross (1999); Law y



Kelton (2000); Ríos Insúa, Ríos Insúa, Martín Jiménez, y Jiménez Martín (2009); Cataldi, Lage y Dominighini (2013).

El simulador desarrollado permitirá al alumno experimentar a través de abstracciones de problemas reales para reforzar los conocimientos sobre la simulación basada en la Teoría de Colas.

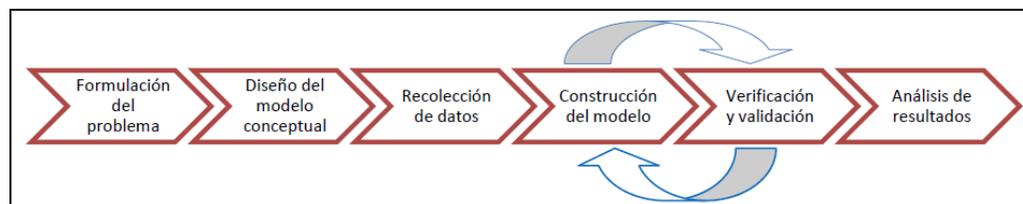
## 2. Metodología

La metodología aplicada en el desarrollo del trabajo constó de las siguientes fases:

Fase 1: Revisión bibliográfica de métodos y herramientas adecuadas para el modelado y construcción de sistemas basados en la Teoría de Colas (WinQSB, ProModel, ExtendSim, Scilab, MatLab).

Fase 2: Diseño y construcción del simulador fundamentado en la Teoría de Colas. Las fases comprendidas por el proyecto de simulación expuesto en la Figura 2 se basaron en la propuesta definida en Piera, Guasch, Casanovas y Ramos (2006):

- **Formulación del problema:** Se definió el problema a estudiar incluyendo los objetivos.
- **Diseño del modelo conceptual:** Se realizó la especificación del modelo y se describieron las relaciones estructurales y sus interacciones del sistema a simular.
- **Recolección de datos:** Se identificaron los datos necesarios para el estudio y se fijó el procedimiento a seguir para asignar valores a cada una de las variables de entrada durante la simulación.
- **Construcción del modelo:** Se construyó el modelo de simulación partiendo del modelo conceptual y de los datos.
- **Verificación y validación:** Se comprobó que el modelo se comporte como es de esperar y se verificó que la salida represente el comportamiento del sistema.
- **Análisis de resultados:** Se diseñaron distintos experimentos, se evaluaron los resultados y se procedió al ajuste de los parámetros de los distintos modelos planteados, con el objetivo de detectar problemas y realizar mejoras.





**Figura 2.** Fases de construcción del simulador.

### 3. Resultados

Se construyó el simulador y se diseñaron distintos experimentos aplicados a un caso de estudio, a los efectos de analizar los resultados y exponer los objetivos logrados.

#### 3.1. Desarrollo del simulador (Proceso interno)

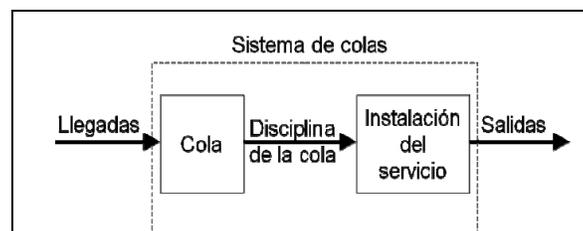
El simulador dispone de funcionalidades internas que generan variables aleatorias con distribución exponencial. El procedimiento se realiza en tres etapas (Figura 3). La primera consiste en generar una secuencia de números pseudoaleatorios distribuidos uniformemente entre 0 y 1. Luego esta secuencia es transformada para obtener los valores aleatorios que conforman las muestras artificiales. Posteriormente se procedió a implementar el Modelo de Cola considerando la disciplina FIFO.



**Figura 3.** Etapas del proceso interno del simulador.

Para la construcción del simulador se seleccionó como herramienta de programación MatLab [19] por estar orientado al cálculo científico.

La Figura 4 ilustra el diagrama del simulador propuesto, donde se cuenta con líneas de espera para una sola cola y un servidor; y éste atiende un cliente a la vez.



**Figura 4.** Modelo de línea de espera (Fuente: [Arias Montoya, Portilla de Arias, y Fernández Henao, 2010])

A continuación se mencionan los métodos, notaciones y parámetros utilizados en la construcción del simulador basado en Teoría de Cola propuesto.

- **Generación de números pseudoaleatorios uniformes [0,1]**



Para la generación de los números pseudoaleatorios, se utilizó el método multiplicativo de congruencias Cao Abad (2002).

Los métodos de congruencias se basan en considerar una combinación lineal de los últimos  $k$  enteros generados y calcular su resto al dividir por un entero fijo  $m$ .

En Cao Abad (2002), expresa que un método congruencial simple consiste en:

- ✓ Elegir un número entero positivo  $m$  y otros dos números enteros  $a$  y  $c$ , tal que:  $0 < a < m$  y  $0 \leq c < m$
- ✓ Fijar la semilla  $X_0$ , un valor entero inicial que cumpla  $0 \leq X_0 < m$
- ✓ Obtener de forma recurrente.

$$X_n = (a.X_{n-1} + c) \bmod m; \text{ para } n= 1,2,\dots$$

- ✓ Devolver los valores  $\mu_n = X_n / m; n=0,1,\dots$

Al hacer  $c=0$ , se obtiene el método multiplicativo de congruencias utilizado.

Para imponer un período máximo en las sucesiones del generador y trabajando en el sistema decimal, los valores de los parámetros deben seleccionarse según los siguientes criterios:

- ✓ El valor de  $X_i$  debe ser cualquier entero impar no divisible entre 2 y 5, y además, debe ser relativamente primo a “ $m$ ”. Esto es, el máximo común divisor entre  $X_i$  y “ $m$ ” debe ser igual a 1.
- ✓ El valor de “ $a$ ” se debe obtener según la siguiente identidad:  $a = 200 * t \pm p$ , donde  $t$  es cualquier entero y  $p$  es cualquiera de los siguientes valores: 3, 11, 13, 19, 21, 27, 29, 37, 53, 59, 61, 67, 69, 77, 83, 91.
- ✓ El valor de “ $m$ ” será igual a “ $10d$ ”, donde  $d = 1, 2, 3\dots n$ .

- **Definición del Modelo de Cola.**

En la definición del Modelo de Cola, se utilizó el modelo  $M/M/1$ , que supone que tanto los tiempos entre llegada como los tiempos de servicio son exponenciales.

Es decir, la distribución de tiempo entre dos llegadas consecutivas de clientes al sistema es una expresión  $\lambda$ , independientemente del número de clientes que exista dentro del mismo, la distribución de tiempo de servicio es expresada como  $\mu$  y solo hay un servidor. No existe restricción respecto al número de clientes que puedan estar en la cola, la población potencial es infinita y que la disciplina de la cola es FIFO. Siguiendo a Cao Abad (2002), de lo expuesto se deduce:



- Las tasas de llegada:  $\lambda_n = \lambda$ , para todo  $n = 0, 1, \dots$
- Tasas de servicio:  $\mu_n = \mu$ , para todo  $n = 1, 2, \dots$

### **3.2. Validación de la propuesta**

A fin de ejemplificar el desarrollo de modelos de simulación basado en Teoría de Colas elaborado con fines didácticos, se describe una abstracción de un problema con miras a mostrar los conceptos involucrados.

#### **3.2.1. Ejemplificación de la propuesta**

Considérese un fenómeno de espera en que los clientes llegan al punto de servicio en forma aleatoria, los tiempos entre llegadas al sistema son exponenciales de parámetro  $M$ , y los tiempos de servicio siguen también una distribución exponencial de parámetro  $L$ .

- ✓ Parámetros requeridos para la simulación (ver Figura 5):
  - Tiempo de servicio.
  - Tiempo entre llegadas.
  - Cantidad de clientes a simular.
  - Cantidad de corridas por experimento.
  - Cantidad de experimentos por simulación.
  - Incremento y decremento del parámetro tiempo entre llegadas.
- ✓ Parámetros que varían:
  - El cambio del tiempo de llegada se realiza automáticamente siguiendo una determinada condición: Si el tiempo de espera en cola promedio es menor a 1, el valor del parámetro aumenta, caso contrario disminuye.
  - Por cada Experimento: Tiempo entre llegada (como así también los parámetros relacionados con su variación) y tiempo de servicio iniciales.

Se busca reducir los tiempos de espera de los clientes, reducir costos y mejorar la calidad del servicio.

Realizado el proceso de simulación según la norma FIFO, suponiendo que el primer cliente llega al sistema en el instante  $t=0$ , se desea informar:

- Por cada Corrida: Número de cliente, tiempo de llegada, tiempo de servicio, tiempo de llegada entre clientes, tiempo de espera en la cola, tiempo de permanencia en el sistema, tiempo de salida, número de clientes en la cola y tiempo de ocio del servidor.



- Por cada Experimento: Número de corrida, media de tiempo de llegada, media de tiempo de espera en la cola, promedio de tiempo de permanencia en el sistema, media de clientes en la cola y promedio de tiempo de ocio del servidor.
- Por fin de la simulación: Número de experimento, tiempo de servicio, tiempo de llegada promedio, variación positiva y negativa del tiempo de llegada, media del tiempo en cola, promedio de permanencia en el sistema y tiempo ocioso promedio. Además, graficar el tiempo promedio de llegada, tiempo promedio en la cola y tiempo promedio de permanencia en el sistema.

### **3.2.2. Aplicación del Modelo de Simulación propuesto**

A los efectos de llevar a cabo la experiencia, se efectuaron corridas y experimentos de la simulación que representa el modelo de colas a implementar, ingresando en la Figura 5 los diferentes parámetros iniciales definidos en la sección 3.2.1.

- Parámetros del modelo:
  - Número de corridas: 4
  - Número de experimentos: 4
  - Número de clientes: 30
- Parámetros de cada experimento:
  - Experimento 1: Tiempo de servicio: 0.5; Tiempo entre llegadas: 0.1; Variación positiva: 0.3; Variación negativa: 0.05.
  - Experimento 2: Tiempo de servicio: 0.1; Tiempo entre llegadas: 0.3; Variación positiva: 0.2; Variación negativa: 0.1
  - Experimento 3: Tiempo de servicio: 0.2; Tiempo entre llegadas: 0.4; Variación positiva: 0.1; Variación negativa: 0.2
  - Experimento 4: Tiempo de servicio: 0.6; Tiempo entre llegadas: 0.3; Variación positiva: 0.2; Variación negativa: 0.1

A continuación se describen resultados brindados por el modelo de Teoría de Colas, a través del simulador desarrollado, donde se aprecia el comportamiento del sistema objeto de estudio.

En la Figura 5 se puede observar que en el panel de “Parámetros del modelo” se ingresan los parámetros iniciales necesarios para la simulación (definidos en la sección 3.2.2.). Ingresados los datos y al pulsar el botón “Generar”, se comienza con los experimentos.



**Teoría de colas. Propuesta de un simulador didáctico**  
*Revista Publicando, 4 No 13. No. 1. 2017, 5-20. ISSN 1390-9304*

Por cada experimento se ingresan los parámetros solicitados y especificados en la sección 3.2.2, como ser *tiempo entre llegadas* y *tiempo de servicio*. Posteriormente se presiona botón “Simular”.

Posteriormente (Figura 5) se apreciarán los resultados de cada experimento a partir de los parámetros ingresados. En el primer cuadro se visualizarán los resultados de cada uno de los clientes por cada corrida, es decir, el tiempo de llegada, tiempo de servicio, tiempo de llegadas entre clientes, tiempo en la cola, tiempo de permanencia en el sistema, tiempo de salida, clientes en la cola y tiempo de ocio del servidor. Finalmente se observará un cuadro resumen que sintetiza los datos obtenidos.

La Tabla 1 visualiza los resultados de la simulación, una vez ejecutados todos los experimentos. El cuadro resume la media de los datos de cada experimento.

Finalizada la simulación se puede observar, tanto en la Tabla 1 como en los gráficos comparativos los resultados obtenidos (Figura 6), determinándose que en el experimento número uno se obtienen mejores resultados, como ser: menor tiempo en cola promedio y menor tiempo de permanencia en el sistema; teniendo en cuenta los parámetros iniciales.

The screenshot displays the initial parameter configuration screen for a queue simulation. It is divided into two main sections: 'Parámetros del Modelo' and 'Simulación'.

**Parámetros del Modelo:** This section contains three input fields: 'Número de Experimentos', 'Número de Corridas', and 'Números de clientes'. A 'GENERAR' button is positioned below these fields.

**Simulación:** This section is titled 'EXPERIMENTO Nº 1' and includes input fields for 'Tiempo de Servicio', 'Tiempo entre llegadas', and 'Variación del tiempo entre llegada por corrida'. The latter has sub-inputs for 'Incrementar' and 'Disminuir'. A 'SIMULAR' button is located to the right of the 'Tiempo entre llegadas' field.

Below the simulation controls are two data tables:

Numero Cliente	Tiempo de Llegada	Tiempo de Servicio	Tiempo de Llegada entre Clientes	Tiempo en la Cola	Tiempo de Permanencia en el Sistema	Tiempo de Salida	Clientes en la Cola	Tiempo de Ocio del Servidor

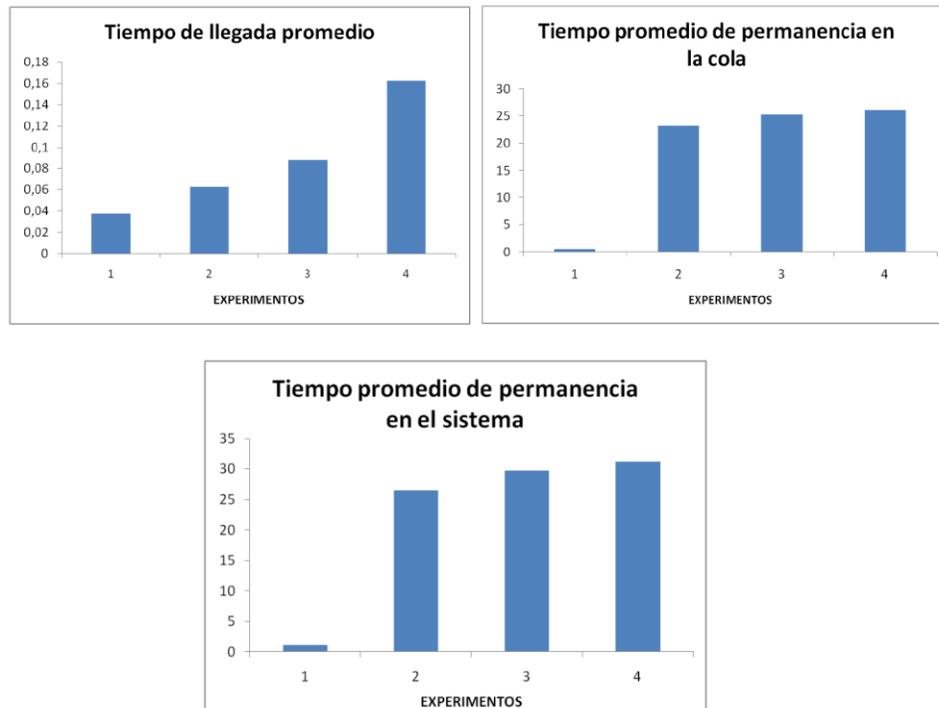
Numero de Corrida	Tiempo de Llegada	Tiempo Prom Cola	Permanencia en el Sist	Cantidad en Cola	Tiempo Ocio

**Figura 5.** Pantalla de parámetros iniciales.



**Tabla 1.** Resultados obtenidos en la simulación

Número de Experimento	Tiempo de Servicio	Tiempo Llegada Promedio	Variación Positiva	Variación Negativa	Tiempo en cola Promedio	Permanencia en Sistema Promedio	Tiempo Ocioso Promedio
1	0,5000	0,0375	0,3000	0,0500	0,6033	1,1401	0,4978
2	0,1000	0,0625	0,2000	0,1000	23,2862	26,5066	0,4978
3	0,2000	0,0875	0,1000	0,2000	25,2226	29,7850	1,2333
4	0,6000	0,1625	0,2000	0,1000	26,2114	31,2210	1,3515



**Figura 6.** Gráficos obtenidos al finalizar la simulación

#### 4. Conclusiones

El modelado y construcción del simulador de un modelo de sistema basado en Teoría de Colas expuesto como caso didáctico aporta una herramienta innovadora para la toma de decisiones. Su implementación en un contexto de educación superior, permite simular y visualizar gráficamente el comportamiento del sistema ante una problemática real planteada y susceptibles de tratar con la simulación; permitiendo cambiar los parámetros que definen el proceso de la simulación. Además, de generar respuestas orientadas a optimizar el tiempo de espera ante un servicio determinado. Es así, como aplicar los conocimientos relacionados de la Teoría de Colas a un contexto educativo permitirá la viabilidad de adecuación a otros dominios del conocimiento.



Como línea futura se verá la posibilidad de desarrollar diferentes Modelos de Colas con más de un punto de servicio; como así también, obtener los números pseudoaleatorios por medio de diferentes métodos existentes para generar estudios comparativos.

### **Apoyos y agradecimientos**

El trabajo se enmarca en una Beca de Estímulo a las Vocaciones Científicas, otorgada por el Consejo Interuniversitario Nacional convocatoria 2016 y en un Proyecto de I+D “TI en los Sistemas de Información: modelos, métodos y herramientas”, Acreditado por la Secretaría General de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional del Nordeste

### **5. Referencias bibliográficas**

- Antoniol, G., Cimitile, A., Di Lucca, G. A. y Di Penta, M. (2004). Assessing staffing needs for a software maintenance project through queuing simulation. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 30(1), 43 – 58.
- Arias Montoya, L., Portilla de Arias, M. y Fernández Henao, S. (2010). Análisis de líneas de espera a través de teoría de colas y simulación. *Scientia et Technica*. Año XVII, no. 46. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Berger Vidal, E., Gambini López, I. y Velázquez Pino, C. (2000). “Simulación de Sistemas”. Notas del Instituto de Investigación en Ciencias Matemáticas.
- Cao Abad, R. (2002). “Introducción a la simulación y a la teoría de colas”. Netbiblo.
- Cataldi, Z., Lage, F. J. y Dominighini, C. (2013). Fundamentos para el uso de simulaciones en la enseñanza. *Revista de Informática Educativa y Medios Audiovisuales*. 10(17), 8-16.
- Castañeda Pérez, C. (2016). Esquema de optimización / simulación para la evaluación multiobjetivo de sistemas de emergencia. (Tesis de Maestría). Universidad de Antioquia, Medellín.
- Domínguez Bocanegra, G., Domínguez Bocanegra, A. R. y Torres Muñoz, J. A. (2016). “Didáctica y aplicación de la administración de operaciones contaduría y administración”. Ed. Instituto Mexicano de Contadores Públicos (IMCP).
- Correal Rodríguez, N. O. (2014). Demoras y tiempos de atención en estaciones de peajes. (Tesis de Maestría). Ed. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- ExtendSim. Power tools for simulation. Disponible en:  
[https://www.extendsim.com/prods\\_overview.html](https://www.extendsim.com/prods_overview.html)



## Teoría de colas. Propuesta de un simulador didáctico

*Revista Publicando, 4 No 13. No. 1. 2017, 5-20. ISSN 1390-9304*

- García, P. (2014). Caracterización de una noción de simulación a partir de prácticas experimentales. *Principia: An International Journal of Epistemology*. 19 (2), 217-234.
- Hillier, S. y Lieberman, G. (2010). Teoría de colas. En *Introducción a la Investigación de Operaciones*. México: McGraw-Hill/Inter Americana Editores.
- Law, A. M. y Kelton, W. D. (2000). “Simulation Modeling and Analysis”. Ed. McGraw Hill.
- Maldonado, F. (2015). La Teoría de Colas y su uso en la gestión administrativa”, *Gaceta Sansana*. 1(5), 6-15.
- Mariño, S. I. y López, M. V. (2008). Un proyecto de docencia, extensión e investigación en la asignatura “Modelos y Simulación”. *Anales del X Workshop de Investigadores de Ciencias de la Computación –WICC 2008*. La plata, Argentina.
- Mariño, S. I. y López, M. V. (2009). Propuesta Metodológica para la Construcción de Software Educativo en la Asignatura Modelos y Simulación. *Anales de XXII Encuentro Nacional de Docentes de Investigación Operativa y XX Escuelas de Profesores de Investigación Operativa*.
- Mariño, S., López, M. V. y Escalante, J. E. (2010). Análisis del programa de una asignatura de matemática aplicada en una carrera de sistemas. *III REPEM – Memorias*. La Pampa, Argentina.
- Mariño, S. I. y López, M. V. (2011). Experiencias en docencia e investigación en la asignatura Modelos y Simulación de la FaCENA -UNNE. *Anales del XIII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*. Rosario, Argentina.
- Mariño, S. I. y Alfonzo, P. L. (2016). Los modelos de Teoría de Colas, propuesta de abordaje en una asignatura optativa de grado. *IV Congreso Nacional de Ingeniería en Informática/Sistemas de Información*. CONAIISI 2016. Salta, Argentina.
- MatLab. Math. Graphics. Programming. [Online]. Disponible en: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>
- Méndez, P. (2015). Enseñanza Inteligente de la Matemática. Un Modelo para promover las habilidades del pensamiento en el desarrollo Lógico-Matemático. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología*. 5 (2), 135-157.
- Pardo, L. y Valdés, T. (1987). “Simulación - Aplicaciones Prácticas en la empresa”. Ediciones Díaz de Santos S.A.
- Piera, M. A., Guasch, T., Casanovas, J. y Ramos J. J. (2008). “Como mejorar la logística de su empresa mediante la simulación”. Ediciones Díaz de Santos.



**Teoría de colas. Propuesta de un simulador didáctico**  
*Revista Publicando, 4 No 13. No. 1. 2017, 5-20. ISSN 1390-9304*

- ProModel. Software de Simulación de Sistemas. Disponible en: <http://promodel.com.mx/promodel/>
- Ríos Insúa, D., Ríos Insúa, S., Martín Jimenez, J. y Jimenez Martin, A. (2009). “Simulación. Métodos y Aplicaciones”. Ed. Alfa Omega Grupo Editor.
- Ross, S. M. (1999). “Simulación”. Ed. Prentice-Hall.
- Scilab. Open source software for numerical computation. Disponible en: <http://www.scilab.org/>
- Singer, M., Donoso, P. y Scheller-Wolf, A. (2008). Una introducción a la teoría de colas aplicada a la gestión de servicios. *Revista ABANTE*. 11(2), 93-120.
- Sosa, E. O. y Senn, J. (2012). Simuladores de sistemas modernos de comunicación”. *XIV Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*. Posadas. Argentina.
- Weitz, D. (2016). Herramienta didáctica para la enseñanza de contenidos y procedimientos en un curso Universitario de simulación de eventos Discretos. *XXII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2016)*. Argentina.
- WinQSB. Introducción al programa WinQSB. Disponible en:  
<http://www.uv.es/martinek/material/WinQSB2.0.pdf>