

# HERRAMIENTA DIDÁCTICA PARA LA ENSEÑANZA DE CONTENIDOS Y PROCEDIMIENTOS EN UN CURSO UNIVERSITARIO DE SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS

Darío Weitz

Facultad Regional Rosario – Universidad Tecnológica Nacional, Zeballos 1341, Rosario  
[dar.wtz@gmail.com](mailto:dar.wtz@gmail.com)

**Abstract.** Simulación es asignatura obligatoria en numerosas carreras de Ingeniería. Los contenidos del curso incluyen definiciones teóricas y metodológicas, elevado nivel de abstracción, cálculos rigurosos e intensivos. Se describe un software educativo que incluye elementos de animación. Se lo utiliza como herramienta didáctica para facilitar la comprensión y el aprendizaje de conceptos, procedimientos y métodos presentes en un curso de simulación de eventos discretos para la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información. El software está conformado por módulos correspondientes a sistemas de espera, inventarios, atención de pacientes, comparación de los enfoques orientado a eventos, exploración de actividades, orientado a procesos. Fundamentado en teorías vigentes en enseñanza multimedia y en principios y heurísticas para la aplicación exitosa de gráficos animados, la herramienta didáctica demostró ser apropiada para propósitos educativos a nivel universitario de grado. El software educativo contribuyó a mejorar el nivel de aprobación del primer examen parcial de la asignatura.

**Keywords:** herramienta didáctica; simulación; eventos discretos; software educativo; animación.

## 1 Introducción

La mayoría de los sistemas del mundo real muestran una complejidad tal que inhiben su resolución mediante modelos analíticos. Por tal motivo, se utiliza la técnica de simulación como enfoque alternativo para modelizar al sistema bajo estudio y calcular ciertas medidas de rendimiento que permiten ganar comprensión sobre el funcionamiento del mismo. Se define a la simulación como el proceso de construir un modelo matemático o lógico de un sistema o problema de decisión, y experimentar con el modelo para obtener conocimiento del mismo o para asistir en la toma de decisiones [1].

Simulación es una disciplina consolidada de la Investigación Operativa y de las Ciencias de la Administración, motivo por el cual es asignatura obligatoria en numerosas carreras de Ingeniería o de Administración de Empresas. En la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información, la asignatura conforma el nexo de vinculación entre la línea curricular de Sistemas, Matemáticas, Estadística e Investigación Operativa. Los contenidos del curso suelen poseer definiciones teóricas y metodológicas, elevado nivel de abstracción, procedimientos de cálculos rigurosos e intensivos, y requerir de los alumnos fundamentos sólidos en matemática y estadística.

En los cursos introductorios de simulación de eventos discretos se suele emplear SIMUL8 o Arena como entornos de simulación. Sin embargo, ambos muestran limitaciones cuando, en las primeras clases del curso, se deben explicar los conceptos básicos, los mecanismos de avance en el tiempo, las listas de eventos, los diferentes enfoques (orientado a los eventos, exploración de actividades, orientado a los procesos), los procedimientos de cálculo y cómo evolucionan los modelos de simulación de eventos discretos. En tal sentido, previo a la utilización de los entornos de simulación en ejercicios de aplicación de la técnica, es conveniente disponer de alguna herramienta que complemente la tarea del docente en el aula al momento de explicar los temas previamente detallados.

Las computadoras brindan la posibilidad de crear estrategias de aprendizaje innovadoras. Con frecuencia se utilizan software educativos, sistemas educativos multimedia y gráficos animados para enseñar sistemas complejos y conceptos abstractos. Se define al software educativo como aquellos programas de computación desarrollados con el objetivo de ser usados como facilitadores del proceso de enseñanza, y en forma consecuente del proceso de aprendizaje [2]. Los programas educativos comparten cinco características esenciales: i) tienen una finalidad didáctica; ii) utilizan la computadora como soporte; iii) son interactivos permitiendo el diálogo y el intercambio de información; iv) tienen la posibilidad de personificación de la velocidad de los aprendizajes; v) son relativamente fáciles de utilizar [3]. Entre las funciones que pueden realizar los software educativos se incluyen: informativa, instructiva, motivadora, evaluadora, investigadora, etc.

Las computadoras poseen también la capacidad de integrar elementos de animación como herramientas de enseñanza – aprendizaje. Se define a la animación como una visualización gráfica que cambia su estructura u otra propiedad a lo largo del tiempo, y que dispara la percepción de un cambio continuo [4]. La técnica de animación tiene un gran potencial para cumplir una función pedagógica en la enseñanza de conceptos complejos, particularmente aquellos que no son sencillos de describir verbalmente. También ayuda a crear imágenes mentales de sistemas que poseen elementos que cambian en tiempo y espacio. Sirve además para mostrar como la manipulación de una variable afecta a otras o la existencia de influencias simultáneas en sistemas cerrados [5].

En el presente trabajo se describe un software educativo que incluye elementos de animación. Se lo utiliza como herramienta didáctica para facilitar la comprensión y el aprendizaje de conceptos, métodos, procedimientos de cálculos y enfoques presentes en un curso universitario de simulación de eventos discretos para una carrera de ingeniería en sistemas de información.

## **2 Estrategia Didáctica**

La carrera de Ingeniería en Sistemas de Información de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) de la República Argentina tiene a la asignatura Simulación en el cuarto año del plan de estudios vigente. Proporciona la capacidad para simular situaciones que se presentan en empresas de manufactura, empresas de servicios o instituciones gubernamentales. El objetivo es que los alumnos puedan predecir, explicar, entrenar o identificar soluciones apropiadas en sistemas de espera, sistemas de inventario, sistemas de manufactura y ensamblado, organizaciones de salud, financieras, educativas y gubernamentales.

Se decidió desarrollar un software educativo para utilizarlo como apoyo educativo en el aula. Es un programa didáctico de carácter tutorial, cuya función en la estrategia didáctica es la proveer recursos y facilitar prácticas. Integra procesos cognitivos de análisis, síntesis,

clasificación y deducción. Está orientado a los alumnos con control del contenido del aprendizaje, pero a su vez está relacionado con las necesidades del docente en lo que concierne a la relevancia curricular [2].

Weitz [6] incorporó elementos de animación en un conjunto de módulos diseñados para la enseñanza de diversos contenidos educativos habitualmente incluidos en un curso introductorio de Teoría de Control Clásica. Fundamentado en teorías vigentes en enseñanza multimedia –teoría cognitiva de enseñanza multimedia [7]–, teoría de la fidelidad epistémica [8]–, en principios para la aplicación exitosa de gráficos animados –principio de congruencia, principio de aprehensión [9]–, y en heurísticas prácticas [10], se diseñó una herramienta didáctica muy eficiente para explicar las definiciones teóricas, los procedimientos de cálculos y los diagramas que se dictan en un curso de introducción a los sistemas de control realimentados. A partir del éxito de la citada estrategia didáctica, y dada las similitudes entre Teoría de Control Clásica y Simulación (sistemas que evolucionan en tiempo y espacio, procedimientos de cálculos intensivos y rigurosos, influencias simultáneas en sistemas cerrados, etc.), se decidió extender la idea conceptual y la experiencia ganada en el desarrollo del software educativo de Teoría de Control a contenidos de Simulación que presentan cierta complejidad para desarrollar en el aula.

### **3 Software Educativo**

El software educativo fue desarrollado utilizando el lenguaje de programación C#. Es un lenguaje de programación de propósito general orientado a objetos desarrollado y estandarizado por Microsoft como parte de su plataforma .NET. Además, es un lenguaje diseñado para la infraestructura de lenguaje común (Common Language Infrastructure, CLI), una especificación estandarizada que describe un entorno virtual para la ejecución de aplicaciones; tales aplicaciones, aunque estén escritas en diferentes lenguajes de alto nivel, pueden ejecutarse en diversas plataformas tanto de software como de hardware sin la necesidad de volver a compilar el código fuente.

Para la construcción de gráficos y curvas se utilizó la librería ZedGraph. Se trata de una librería de clases, control de usuario y control web escrita en C# que permite crear gráficas en proyectos .NET (Licencia: GNU Library o Lesser General Public License).

El software educativo está conformado por cuatro módulos correspondientes a procedimientos de cálculos que se utilizan en la simulación de eventos discretos para evaluar medidas de rendimiento de sistemas tales como los descritos en la estrategia didáctica. Corresponden a líneas de espera, sistemas de inventario, sistemas de atención de pacientes en organizaciones de salud y un módulo para la comparación entre el enfoque orientado a los eventos, el enfoque exploración de actividades y el enfoque orientado a los procesos. Los módulos se proyectan en el aula en formato ampliado mediante una computadora portátil y un proyector apropiado.

El módulo para la simulación de líneas de espera muestra la animación de una oficina en la cual los clientes arriban según una determinada distribución de probabilidad de los tiempos entre arribos y son atendidos por un servidor, también con una determinada distribución de probabilidad de los tiempos de servicio. La disciplina de la cola es FIFO, se asume una población infinita de clientes y un área de espera finita. Se puede seleccionar entre una distribución de probabilidad exponencial, uniforme o normal tanto para el proceso de arribo

como para el de servicio. Una vez elegida la distribución, se deben ingresar valores para los parámetros de la misma.

Haciendo click en el botón Simular comienza una animación de la llegada de clientes a la oficina (Figura 1). En la pantalla se observa el valor del reloj de la simulación, el status del servidor, el número de clientes en cola y el tiempo de partida del cliente que está siendo atendido. Cuando el número de clientes en cola supera un valor preestablecido se produce la negación del servicio. Pulsando el botón Pausa, se detiene la animación y se puede acceder a la visualización de dos gráficos: i) gráfico de la función número de clientes en cola  $Q(t)$ ; ii) gráfico de la función ocupación del servidor  $B(t)$ . Estos gráficos se utilizan para la explicación de dos medidas de rendimiento habitualmente calculadas en los sistemas de espera: i) valor esperado del número promedio de clientes en cola  $q(n)$ ; ii) valor esperado de la utilización del servidor  $u(n)$ .

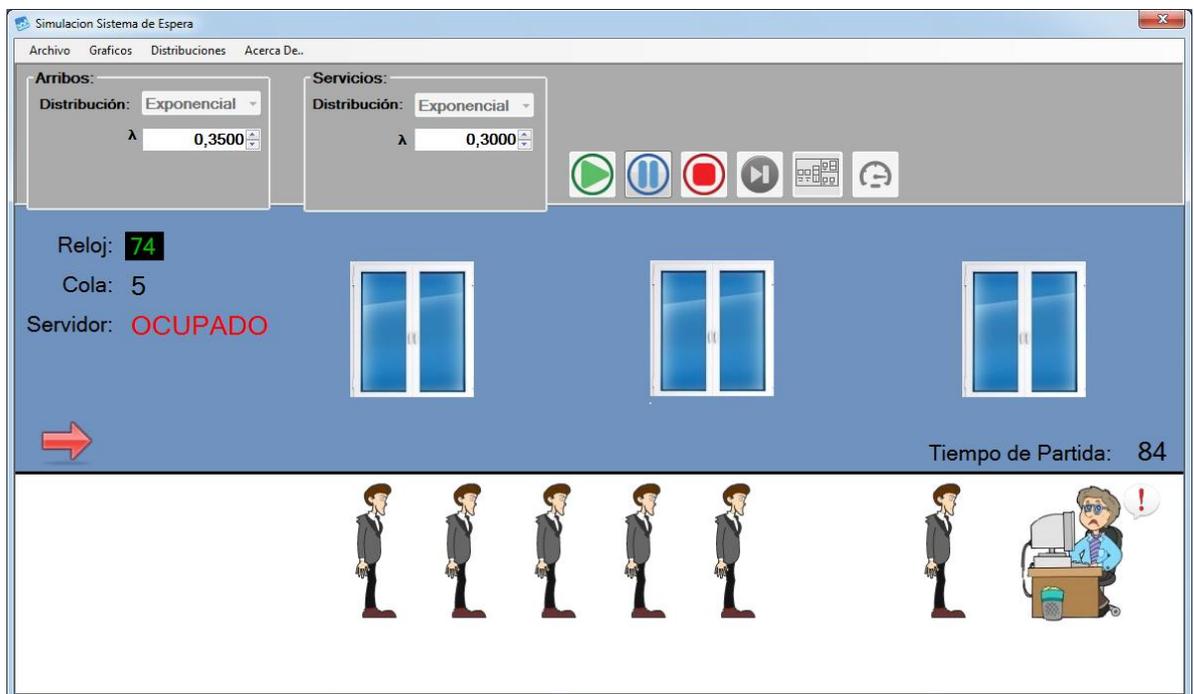


Figura 1: Animación de un sistema de espera

Law y Kelton [11] en su libro *Simulation Modeling and Analysis* proponen realizar un ejercicio de simulación evento a evento del sistema de espera para así mostrar las estructuras de datos involucradas, los cambios en las variables de estado, la acumulación en los contadores estadísticos y la interacción entre el reloj de la simulación y la lista de eventos. El módulo para la simulación de las líneas de espera permite que el docente tenga en simultáneo la representación del sistema físico, las gráficas de  $Q(t)$  y  $B(t)$  y las instantáneas de los valores que adoptan las variables de estado, el reloj de la simulación, la lista de eventos y los contadores estadísticos durante cada evento (Figura 2).

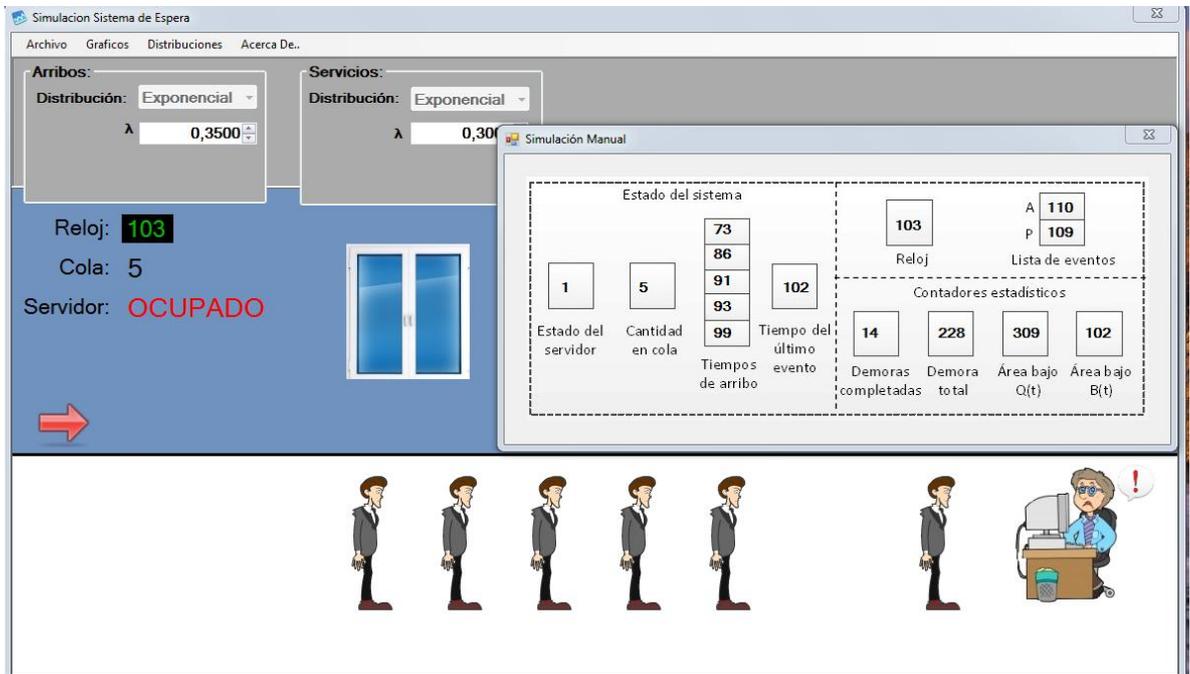


Figura 2: Instantánea de un evento del sistema de espera

El módulo sistema de inventario permite el cálculo del costo total promedio mensual como medida de rendimiento para evaluar políticas de reposición de stock. Se muestra la animación de un depósito (almacén) al cual llegan clientes según una determinada distribución de probabilidad de los tiempos entre arribos y demandan cierta cantidad de artículos según una distribución empírica. El módulo permite el ingreso de otros datos de entrada (inventario inicial, fin de la simulación, distribución y parámetros del retardo de envío) y valores para el cálculo de los costos de pedido, mantenimiento y faltantes (Figura 3). La política de reposición es estacionaria con parámetros nivel inferior de inventario ( $s$ ) y nivel superior de inventario ( $S$ ).

Haciendo click en el botón Animación comienza una representación de la llegada de clientes al depósito y la satisfacción de la demanda mientras el nivel de inventario pueda realizarla. Pulsando el botón Pausa se detiene la animación y se puede acceder a la visualización de gráficos que sirven para el cálculo del costo de mantenimiento, costo por faltante y costo de pedido. Se visualizan las gráficas de  $I(t)$  –nivel de inventario al tiempo  $t$ –,  $I+(t)$  –nivel real de inventario al tiempo  $t$ – e  $I-(t)$  –nivel de faltantes al tiempo  $t$ – y sus correspondientes área bajo la curva (Figura 4). El módulo permite realizar una simulación evento a evento como explicación intuitiva de la técnica. De esta manera, el docente puede tener en simultáneo la representación del sistema físico, las gráficas de  $I(t)$ ,  $I+(t)$  e  $I-(t)$  y las instantáneas de los valores que adoptan las variables de estado, la lista de eventos y los contadores estadísticos durante cada evento.

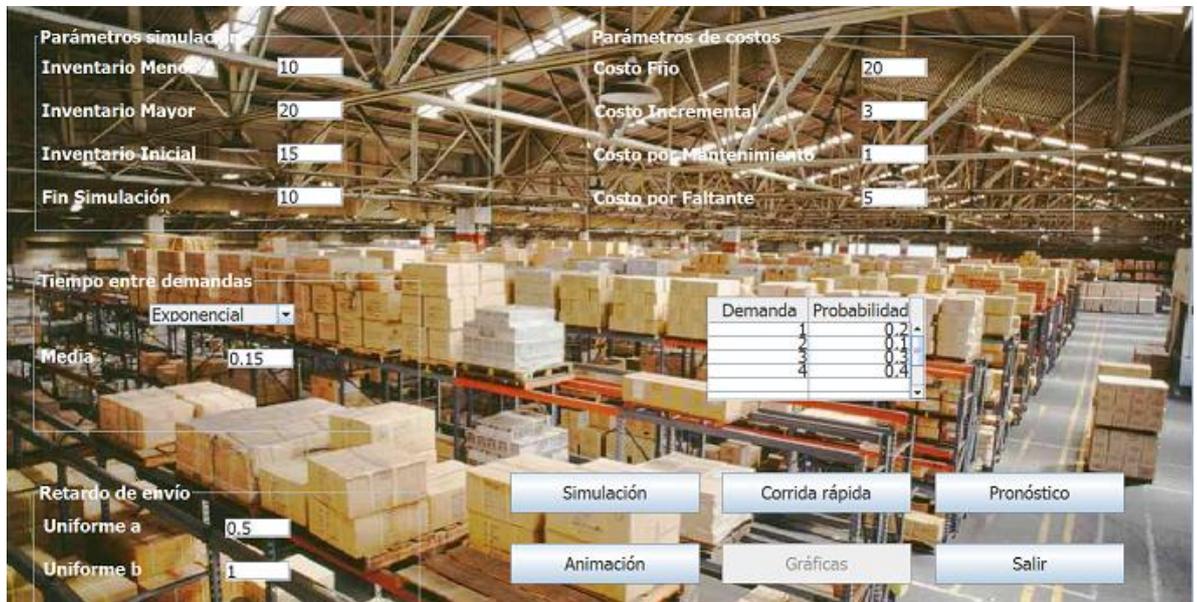


Figura 3: Pantalla de ingreso de datos al sistema de inventario

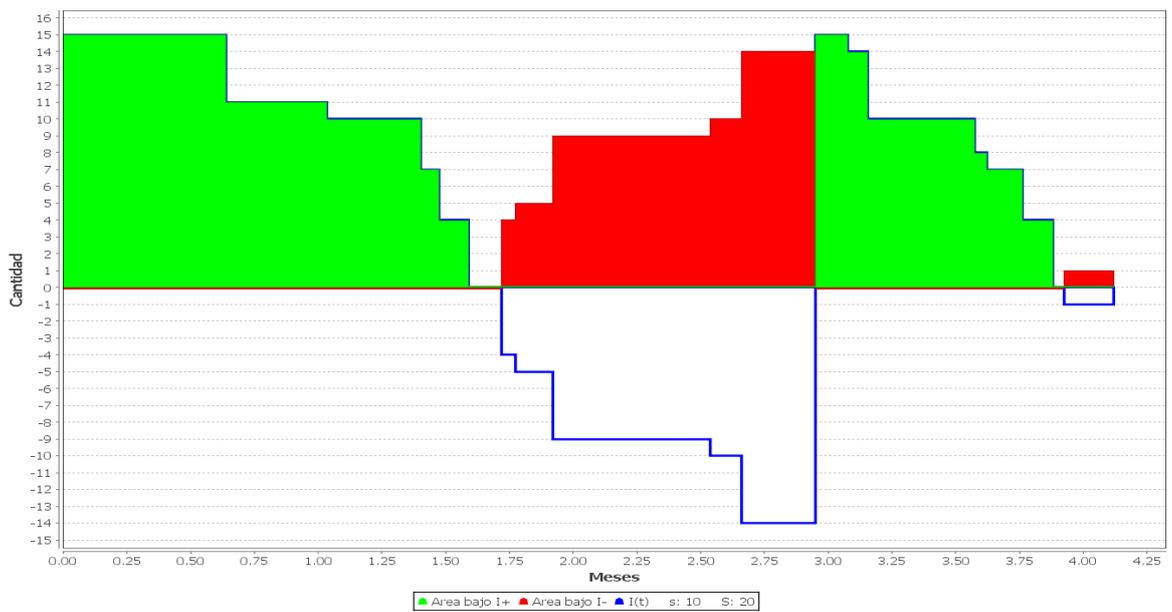


Figura 4: Gráficos de las funciones  $I(t)$ ,  $I^+(t)$  e  $I^-(t)$

Ambos módulos incorporan un botón que permite realizar una simulación completa –sin animación– donde el parámetro a variar es la duración de la corrida. Al final, se muestran los valores finales de los estimadores de las medidas de rendimiento y gráficos de la evolución de las mismas a lo largo de la corrida. El objetivo es permitirle al docente explicar la conducta transiente y de estado estacionario del proceso estocástico que caracteriza tanto a las líneas de espera como a los sistemas de inventario previamente descriptos. También se incluye un botón

denominado Pronóstico que permite realizar 500 corridas independientes de los datos ingresados, con el objetivo de mostrar gráficos de frecuencia de las diferentes medidas de rendimiento para su posterior análisis durante el desarrollo del tema Análisis de Resultados.

El módulo para la simulación de atención de pacientes telemonitoreados intenta evaluar alternativas organizacionales en una institución de salud que se dispone a incorporar pacientes monitoreados de forma remota con sensores portátiles [12]. La Figura 5 muestra el modelo del sistema y las medidas de rendimiento que se calculan para ganar comprensión sobre el funcionamiento del mismo, y así ayudar a la toma de decisiones en un problema complejo y costoso.

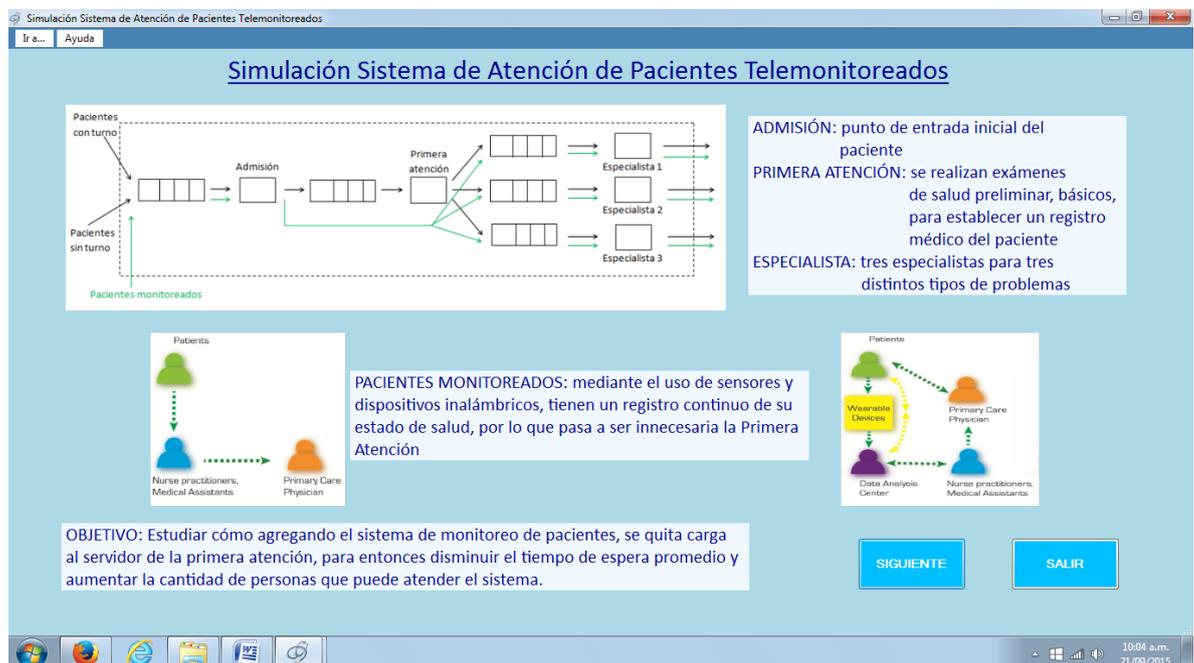


Figura 5: Modelo del sistema de atención de pacientes telemonitoreados

Haciendo clic en el botón Empezar, se procede al ingreso de los datos y comienza una animación de la llegada y atención de los cuatro tipos de pacientes (con turno, sin turno, monitoreados con turno, monitoreados sin turno) en el centro de salud. La animación puede visualizarse en dos (2D) o tres dimensiones (3D). La Figura 6 muestra la versión 3D y le sirve al docente para mostrar como la simulación puede utilizarse como medio de capacitación para la toma de decisiones y como se comporta el proceso durante las diferentes alternativas organizacionales. Otro recurso didáctico que provee el módulo es la realización del análisis de sensibilidad de las medidas de rendimiento.



Figura 6: Vista 3D del sistema de atención de pacientes telemonitoreados

Uno de los contenidos más complejos de explicar en un curso de Simulación está relacionado con tres enfoques utilizados habitualmente en el modelado de simulación: i) enfoque orientado a los eventos; ii) enfoque exploración de actividades; iii) enfoque orientado a los procesos. El primer enfoque, también denominado simulación conducida por eventos, describe los cambios que ocurren en el sistema debido a que ha ocurrido un tipo particular de evento. Los eventos se ordenan en orden cronológico y pueden no corresponder al flujo natural de las entidades del sistema [1]. Por su parte, la simulación conducida por procesos describe el flujo de las entidades individuales a través de todo el sistema y requiere para su codificación el uso de un lenguaje de simulación de propósito especial [11]. El enfoque evaluación de actividades enfatiza una revisión de todas las actividades presentes en la simulación para determinar cual puede iniciarse o finalizar al siguiente avance del reloj de la simulación. .

El enfoque orientado a eventos se explica mediante una animación que incluye dos elementos didácticos: i) el flujo de control que muestra las relaciones lógicas entre las diferentes componentes del modelo de simulación; ii) las instantáneas de los valores que adoptan las variables de estado, el reloj de la simulación, la lista de eventos y los contadores estadísticos durante cada evento (Figura 7). La animación resalta la actividad que se está ejecutando en la rutina que está siendo invocada y el cambio en el valor de la variable correspondiente al evento. El enfoque orientado a los procesos se explica mediante otra animación que también incluye dos elementos didácticos: i) el diagrama de flujo que describe la “experiencia” de un cliente “típico” en su fluir a lo largo del sistema; ii) una tabla que se va completando con las variables que se usan para el cálculo de las medidas de rendimiento. Ambas animaciones se refieren a sistemas de espera y el módulo contiene también procedimientos equivalentes para sistemas de inventario. El módulo incluye animaciones análogas para el enfoque exploración de actividades.

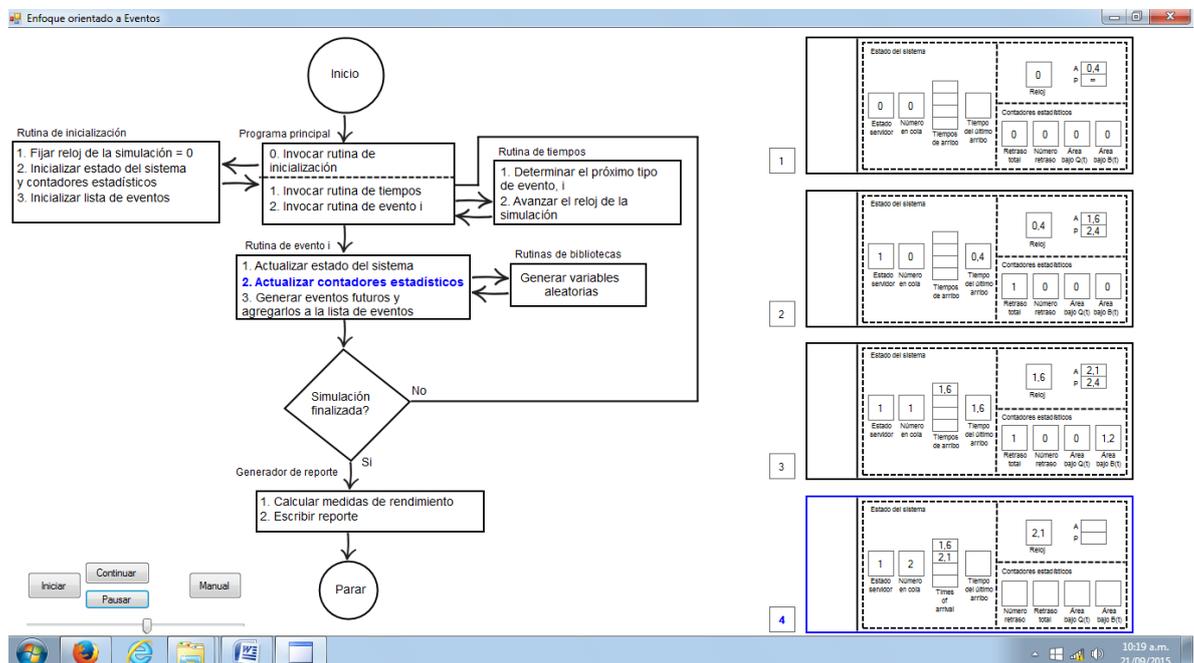


Figura 7: Animación del enfoque orientado a los eventos

#### 4 Discusión

La utilización del software educativo para la enseñanza de conceptos, métodos, procedimientos de cálculos y enfoques presentes en la simulación de eventos discretos está justificada por los siguientes motivos: i) el movimiento y la trayectoria están presentes en los contenidos a enseñar; ii) los sistemas bajo estudio evolucionan con el tiempo; iii) el contenido y el formato de las imágenes se corresponden con el contenido y el formato de los conceptos y métodos presentados a los alumnos (principio de congruencia); iv) permite representar al modelo mental del docente con la mayor fidelidad posible (teoría de la fidelidad epistémica); v) el software educativo actúa en primer lugar como una estrategia de presentación al dar un contexto visual a una idea difícil de presentar verbalmente; vi) en una segunda etapa, actúa como función de clarificación al proveer al entendimiento de los métodos y procedimientos sin la necesidad de agregar información textual adicional; vii) los módulos fueron diseñados para que las imágenes fueran simples y no pasaran excesivamente rápidas por la pantalla (principio de aprehensión).

Los contenidos del curso de Simulación tuvieron importantes modificaciones con la entrada en vigencia del Plan de Estudios del año 2005. La primera etapa del software educativo (sistema de espera, sistema de inventario) se incorporó en el año 2013. La segunda etapa (sistema de atención de pacientes telemonitoreados, enfoques) se implementó para la cohorte 2015. Durante los años previos a la utilización del software educativo (2005-2012), la media de aprobación del primer examen parcial de la asignatura fue del 63,4%. Durante el período 2013 – 2014, la media de aprobación fue del 76,7%, mientras que el 81,4% de la cohorte 2015 aprobó tal evaluación parcial.

## 5 Conclusiones

Simulación es una asignatura obligatoria en la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información en la Universidad Tecnológica Nacional de la República Argentina. Los planes de estudio de otras carreras de ingeniería y ciencias de la administración de universidades nacionales también la incluyen como materia obligatoria de grado. En la Facultad Regional Rosario de la UTN, un número significativo de alumnos mostraba dificultades para el aprendizaje de ciertos contenidos que se dictaban al comienzo del curso, lo que dificultaba la apropiada enseñanza de los contenidos siguientes.

El pizarrón y los libros de texto no son medios suficientes para visualizar apropiadamente la evolución de un sistema dinámico, como así tampoco para desarrollar y analizar la complejidad de los procedimientos de cálculos y enfoques que se utilizan en la simulación de eventos discretos. Por tal motivo, se diseñó un software educativo que incorpora elementos de animación para complementar la tarea del docente al momento de explicar sistemas de espera, sistemas de inventario, conducta transiente y de estado estacionario de los procesos estocásticos, gráficos de frecuencia, análisis de sensibilidad y enfoques en simulación de eventos discretos.

Fundamentado en teorías vigentes en enseñanza multimedia y en principios y heurísticas para la aplicación exitosa de gráficos animados, se desarrolló una herramienta didáctica que demostró ser apropiada para propósitos educativos a nivel universitario de grado. El software educativo descrito en este trabajo contribuyó a mejorar significativamente el nivel de aprobación del primer examen parcial de la asignatura.

## Referencias

1. Evans, J.R., Olson, D.L.: Introduction to simulation and risk analysis. New Jersey: P. Hall. (1998).
2. Cataldi, Z.: Metodología de diseño, desarrollo y evaluación de software educativo. Tesis de Magister en Informática, Facultad de Informática, UNLP. (2000). <http://laboratorios.fi.uba.ar/lsi/cataldi-tesisdemagistereninformatica.pdf>
3. Marqués, P.: El software educativo. (1996). [http://www.lmi.ub.es/te/any96/marques\\_software/](http://www.lmi.ub.es/te/any96/marques_software/)
4. Schnotz, W., Lowe, R.K.: A unified view of learning from animated and static graphics. in: Lowe, R.K., Schnotz, W. (eds.) Learning with animation: Research implications for design. New York: Cambridge University Press, 304-356. (2008).
5. Rieber, L.P., Kini, A.: Theoretical foundations of instructional applications of computer-generated animated visuals. *Journal of Computer-Based Instruction*, 18(3), 83-88. (1991).
6. Weitz, D.A.: Effectiveness of Animation as a Learning Strategy in a Classical Control Theory Introductory Course. *World Journal Control Science and Engineering*, Volume 3, 1, 8-12. (2015).
7. Zoabi, W., Sabag, N., Gero, A. (2012). Using Animation to Improve the Student's Academic Achievement on Bipolar Junction Transistor. *American Journal of Engineering Education* – Fall 2012, 3, 2.
8. O'Donnell, F.: Simulation frameworks for the teaching and learning of distributed algorithms. Ph.D. Thesis, University of Dublin College, (2006). <http://www.tara.tcd.ie/bitstream/handle/2262/1277/TCD-CS-2006-20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
9. Tversky, B., Morrison, J.B., Betrancourt, M.: Animation: can it facilitate?. *Int. J. Human-Computer Studies*, 57, 247-262. (2002).
10. Weiss, R.E., Knowlton, D.S., Morrison, G.R.: Principles for using animation in computer-based instruction: theoretical heuristics for effective design. *Computers in Human Behavior*, 18, 465-477. (2002).
11. Law, A.M., Kelton, W.D.: Simulation Modeling and Analysis. New York: Mc Graw-Hill. (2000).
12. Weitz, D.A., Lianza, F., Nant, J.P., Schmidt, N., María, D.E.: Modelo de Simulación 3D para la Evaluación de Tecnologías de Monitoreo y Asistencia para Adultos Mayores. 3er Congreso Nacional de Ingeniería Informática / Sistemas de Información, CONAIISI 2015, Buenos Aires. (2015).