

# Experiencias de modelado y simulación de sistemas en la Ingeniería del Transporte y la Logística.

Ignacio J. Turias Domínguez\*, Juan Jesús Ruiz Aguilar+, José A. Moscoso López+, Daniel Urda Muñoz\*, Javier González Enrique\*, María del Mar Cerbán&

\*Departamento de Ingeniería Informática, +Departamento de Ingeniería Industrial e Ingeniería Civil, &Departamento de Economía Aplicada

[ignacio.turias@uca.es](mailto:ignacio.turias@uca.es)

**RESUMEN:** El objetivo fundamental de este proyecto es probar la utilidad del modelado basado en la teoría de colas y los sistemas en eventos discretos y la simulación para comprender y analizar diferentes procesos logísticos y que esto sirva para la motivación y mejor conocimiento de los estudiantes dentro de las asignaturas relacionadas con la Ingeniería del Transporte y la Logística. Específicamente en la asignatura con esa denominación del Máster de Gestión Portuaria y Logística y del Máster de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, ambos de especial interés estratégico, así como en otras asignaturas del área de Ingeniería e Infraestructura del Transporte en el Grado de Ingeniería Civil.

En este proyecto, se ha realizado una experiencia consistente en modelar y simular casos prácticos en cada una de las asignaturas involucradas de forma que los procesos a estudio sean mejor conocidos por parte de los alumnos, pues es necesario un conocimiento más profundo para su modelado y, por otro lado, los alumnos también han conocido la potencia de la simulación como herramienta para emular el mundo mediante un computador. Se pretende lograr mediante el proyecto una actualización de los contenidos de varias asignaturas incorporando las TIC's y las nuevas herramientas de simulación, incorporando nuevos casos prácticos, formando a los estudiantes en el uso del modelado y simulación en la toma de decisiones, al cálculo de tiempo y costes y en definitiva a la optimización y mejora de procesos.

Se ha potenciado, por tanto, el aprendizaje práctico de las diferentes asignaturas, en las que a partir de este proyecto se podrán incluir sesiones prácticas novedosas de modelado y simulación.

**PALABRAS CLAVE:** proyecto, innovación, mejora, docente, simulación, ingeniería, transporte, logística

## INTRODUCCIÓN

El objetivo de la simulación es anticipar el comportamiento de un sistema creando un modelo del mismo. De esta manera, se puede estimar el comportamiento del mismo sin incurrir en los costes de su desarrollo, y decidir previamente la conveniencia o no de realizarlo (1).

“Simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a cabo experiencias con el mismo con la finalidad sea de aprender el comportamiento del sistema o de evaluar diversas estrategias (dentro de los límites impuestos por un criterio o un conjunto de ellos) para entender el funcionamiento del sistema.” (2).

En la actualidad la simulación es una de las herramientas más utilizadas en el proceso de toma de decisiones, ya sea como medio para comprender la realidad y asumir su complejidad o para prever situaciones futuras de sistemas reales o hipotéticos y todo ello sin la necesidad de interactuar con el sistema real, ahorrando tiempo y dinero. No se aspira a encontrar soluciones analíticas y exactas del problema, sino a comprender mejor los sistemas en estudio.

Debido a la evolución de la informática, primero a nivel de hardware y después a nivel de software, ha sido posible desarrollar herramientas de simulación por ordenador muy potentes y rápidas. En el mercado podemos encontrar gran variedad de software tanto para aplicaciones genéricas como especializadas en un sector concreto:

- Diseños y análisis de sistemas de producción.
- Determinación de políticas de inventario.
- Problemas industriales (diseño de sistemas de colas, control de stocks, ...).
- Análisis de sistemas financieros o económicos.

- Aplicaciones militares (sistemas tácticos).
- Diseño de sistemas de comunicación y protocolo.
- Diseño de sistemas de transporte.
- Evaluación de diseño de organizaciones como hospitales, etc.
- Ciencia.
- Etc.

Debido al incontable número de variables que se presentan en la realidad y a la posibilidad de que aparezcan factores imprevistos que alteren su funcionamiento es imposible estudiar un sistema tal y como se presenta en el mundo real. Por este motivo es necesario hacer simplificaciones de la realidad, de modo que un conjunto de ecuaciones pueda representar el funcionamiento de un sistema real. Esto es lo que se denomina modelo de un sistema.

El modelo del sistema describe las características internas que nos interesan de un sistema real. Debe representar aquellas características que son de interés, para el estudio, y ofrecer una representación conceptual de la realidad lo suficientemente sencilla como para facilitar su adaptación. Al proceso de analizar el sistema real y extraer la información necesaria para crear un modelo experimental se le llama modelado. La simulación posterior ofrece:

**Ventajas:**

- Simular un sistema conduce a una mejor comprensión del sistema real.
- El espacio temporal se puede comprimir, reduciendo años de experimentación en la realidad a minutos de simulación.

- La simulación no interrumpe las actividades en curso del sistema real.
- La simulación puede utilizarse como un ejercicio para la experiencia de capacitación.
- La simulación provee una duplicación más realista de un sistema que el análisis matemático.
- La simulación puede utilizarse para el estudio de situaciones transitorias mientras que las técnicas matemáticas no pueden hacerlo.
- La simulación permite responder a las suposiciones de lo que puede llegar a ocurrir en determinadas circunstancias.

#### Desventajas:

- El tiempo y el esfuerzo requeridos para el desarrollo de un modelo de simulación, no garantiza que se obtengan buenos resultados.
- No existe modo alguno de probar que el modelo de simulación es totalmente fiable.
- La construcción del modelo de simulación, supone un elevado número de horas de trabajo. Con lo que puede resultar muy costoso.
- La simulación puede ser menos exacta que el análisis matemático, pues se basa en ocurrencias aleatorias.
- El tiempo de computación de modelos complejos, puede llegar a ser muy elevado.

#### Simulación de sistemas de eventos discretos

De los diferentes tipos de sistemas, nos centramos en este proyecto en los sistemas dinámico de eventos discretos (Discrete Event Systems – DES).

Un evento debe ser pensado como algo que ocurre en un instante de tiempo y provoca transiciones instantáneas desde un valor de estado a otro, y puede ocurrir por una acción específica o como una ocurrencia espontánea.

La simulación para sistemas dinámicos de eventos discretos asume que el sistema simulado sólo cambia de estado en puntos discretos del periodo simulado. Es decir, que el modelo cambia de estado ante la ocurrencia de un evento. Cuando se simula un evento por ordenador, es necesario crear una lista de eventos, ordenados por orden de ocurrencia. Es necesario vincular cada evento con el instante de tiempo de su ejecución. La ejecución de un evento puede cambiar el estado de las variables y posiblemente programar otros eventos en la lista.

Una característica fundamental del paradigma de eventos discretos, es que nada cambia, a menos que ocurra un evento, en cuyo instante ocurre la transición a otro estado. Es decir, ante la ejecución de un evento es posible que cambie el estado, pero todo cambio de estado se produce por un evento. Entre los eventos el estado del sistema se considera constante.

Podemos encontrar gran variedad de software de simulación comerciales orientados a eventos discretos. Suelen basarse en la misma filosofía de trabajo, así que son pequeños detalles los que hacen que el usuario se decante por uno u otro.

## MATERIAL Y MÉTODOS

La experiencia acumulada en el modelado de procesos ha permitido determinar la existencia de un conjunto de elementos que aparecen con frecuencia. Se pueden aprovechar las estructuras creadas para representar esos elementos para ser reutilizadas en el modelado de otros procesos diferentes. Un camino alternativo es plantearse el proceso a modelar como una secuencia de eventos que ocurren con cierto orden temporal y que provocan o evitan la ocurrencia de otros eventos posteriores. Estos enfoques no son completamente excluyentes, sino que muchos entornos basados en bloques reutilizables internamente funcionan como una secuencia de eventos, y modelando mediante la planificación de eventos se encuentra que es de utilidad disponer de modelos reutilizables de objetos que frecuentemente aparecen en el modelado de procesos. A continuación, se describen con mayor detalle ambos paradigmas:

1. Orientado al proceso. En los modelos de simulación se observa que las abstracciones del sistema siguen tipos de procesos: colas, retrasos, bifurcaciones, fusiones, toman o liberan recursos etc. Este paradigma proporciona módulos estándar que simulan el comportamiento de dichos tipos de procesos. El trabajo del diseñador consiste en descomponer el modelo global en un conjunto de esos módulos estándar y proceder al ensamblado de los mismos (3).
2. Orientado a los eventos discretos (4) Encontrar las entidades que representen al sistema y establecer una lista ordenada temporalmente de los eventos que van a ocurrir con dichas entidades. La ocurrencia de un evento ocasiona un tratamiento, la posible planificación de uno o más eventos futuros que se deberán incluir en la lista en las posiciones que les correspondan y/o bien la posible revocación de eventos planificados y no ocurridos. La simulación finaliza cuando se vacíe la lista de eventos futuros o bien fijando alguna condición (5).

Dentro del proceso metodológico es importante seleccionar adecuadamente el lenguaje o entorno de simulación en el que se va a desarrollar el proyecto.

Los lenguajes de simulación facilitan enormemente el desarrollo y ejecución de simulaciones de sistemas complejos del mundo real. Un lenguaje de simulación es un lenguaje de programación especialmente preparado para desarrollar aplicaciones relacionadas con la simulación. Suelen venir acompañados de una metodología de programación apoyada por un sistema de símbolos propios para la descripción del modelo, por ejemplo, mediante diagramas de flujo (software ARENA®) u otras herramientas que simplifican la modelización y facilitan la posterior depuración del modelo.

#### Características de los lenguajes de simulación:

- Los lenguajes de simulación proporcionan automáticamente las características necesarias para la programación de un modelo de simulación, es decir una reducción significativa del esfuerzo requerido para programar el modelo.

- Los bloques básicos de construcción del lenguaje son mucho más afines a los propósitos de la simulación que los de un lenguaje de tipo general.
- Los modelos de simulación son mucho más fáciles de modificar.
- Facilitan una mejor detección de los errores.
- El aprendizaje lleva cierto tiempo.
- Simuladores de alto nivel.
- Muy fáciles de usar por su interface gráfica.
- Los procedimientos o métodos utilizados para generar las variables aleatorias no-uniforme son más conocidos.
- El análisis estadístico de los resultados de la simulación.
- El formato en que los resultados de la simulación son presentados.
- La forma en que las inconsistencias y errores de lógica es reportada.

La elección de un lenguaje de simulación u otro es importante debido a que si no es el adecuado puede hacer que: el tiempo de ejecución del proyecto sea más extenso, producir estudios incompletos o hacer fracasar el mismo.

Podemos diferenciar los softwares de simulación en dos grandes grupos:

- Lenguajes de simulación: son software con características especiales para ciertos tipos de aplicaciones. El modelo es desarrollado utilizando las características de un lenguaje de programación. La ventaja de los lenguajes de simulación es su flexibilidad para simular cualquier cosa. Sin embargo, al tratarse de un lenguaje de programación es necesario tener conocimientos avanzados de programación. También se invierte mucho tiempo en escribir código. Por lo tanto, si se pretende simular un modelo muy complejo, se convierte en un proceso lento y tedioso.
- Simuladores (software de simulación): son software que permite simular un sistema contenido en una clase "específica" de sistemas con muy poca o nula programación. El uso de plantillas y bloques estándar facilitados por el simulador reduce el tiempo invertido en programar el modelo. El tiempo invertido en desarrollar el modelo es considerablemente menor que para un lenguaje de simulación. El uso de plantillas facilita su programación y no es necesario ser un programador experto para desarrollar los modelos a simular. La mayor desventaja de muchos simuladores, es que están limitados a modelar sólo esas configuraciones de sistemas permitidas por sus características estándar.

Los simuladores son, en la actualidad, los más usados para análisis de alto nivel, donde el sistema es modelado en un nivel agregado sin incluir detalles de la lógica de control. Actualmente podemos encontrar una gran variedad de programas de simulación para eventos discretos que ofrecen soluciones para la mayoría de industrias, manejando proyectos complejos a gran escala ya sean relacionados con la cadena de suministro, fabricación, procesos, logística,

distribución, almacenamiento o sistemas de servicios. Entre los más conocidos podemos encontrar el software de simulación ARENA® que es el software más famoso del mercado. Es fácil de programar (montar modelos) gracias a su sistema basado en diagramas de flujo. Su compatibilidad con la mayoría de los softwares de Microsoft® le permite exportar/importar paquetes estadísticos a Excel o acceder a pequeñas bases de datos de Access o bases mayores como Visual Fox Pro entre otras. ARENA® también incorpora un compilador de Visual Basic y la posibilidad de programación en SIMAN.

Escogeremos para nuestro proyecto, por tanto, el software de simulación ARENA®.

### ARENA® Simulation Software

ARENA® es el software de simulación más famoso y utilizado cuya principal característica es la flexibilidad de movimiento por los diferentes niveles de programación en función de las necesidades del programador, incluso dentro de un mismo modelo. Como se ha comentado en el apartado anterior ARENA® es compatible con varios programas de la firma Microsoft®, Visual Basic o C++. La combinación de todos estos programas permite la programación de alto nivel con la flexibilidad de un lenguaje de programación general.

Una peculiaridad del software ARENA® es el uso de plantillas, organizadas por paneles, intercambiables entre sí que contienen modelos o bloques específicos para el modelado y análisis de simulación gráfica. Estos se pueden combinar para construir una amplia variedad de modelos de simulación. Los módulos de diferentes paneles pueden mezclarse dentro de un mismo diseño.

En cualquier momento, se puede trabajar con módulos de bajo nivel del panel de Bloques y Elementos y obtener acceso a la flexibilidad de un lenguaje de simulación si es necesario, así como mezclar construcciones del SIMAN junto con módulos de alto nivel de otra plantilla (de hecho, los módulos de ARENA están formados por componentes SIMAN). Para necesidades especializadas, como algoritmos de decisión complejos o el acceso de datos desde una aplicación externa, se pueden escribir partes del modelo en un lenguaje como Visual Basic o C/C++. Todo esto, sin importar el nivel jerárquico dentro de la estructura, ofreciendo siempre una misma interfaz gráfica para el usuario (2).

ARENA® aporta todos los elementos generales de otros lenguajes de simulación. Además, ARENA® permite realizar la simulación en modo Run que permite ver todas las animaciones del modelo o en modo Fast-Forward (modo rápido de ejecución) que realiza la simulación sin realizar animaciones. También proporciona un soporte integrado, incluyendo gráficos, para algunas cuestiones de diseño estadístico y análisis, dando lugar a un buen estudio de simulación.

También hay que destacar la interfaz con otros programas compatibles de Windows®, como son Microsoft® Office (Excel, Word, Access y PowerPoint) o Visual Basic.

Los modelos que permite crear ARENA constan de una serie de bloques que se conectan unos a otros para generar el modelo (1), los bloques se auxilian mediante elementos no gráficos, como bloques de variables, de entidades, schedules etc. Algunos de los parámetros de los bloques se definen

abriendo diálogos pulsando sobre su representación gráfica. Esta manera de modificar los parámetros de los elementos es incómoda si en distintas simulaciones se tienen que modificar varios elementos. Con el fin de centralizar los parámetros susceptibles de ser modificados, se definen en los bloques de construcción mediante variables.

#### **Fases metodológicas de un estudio mediante modelado y simulación.**

Las fases que se han seguido en el desarrollo de este proyecto para cada uno de los casos de estudio, se describen brevemente a continuación (6):

1. Definición del problema y planificación del proyecto. Consiste en definir claramente las razones para estudiar el sistema y los objetivos que se persiguen. También se deberá hacer un estudio preliminar de las necesidades (hardware, software y mano de obra) para el desarrollo del modelo. Las razones para el desarrollo de un modelo pueden ser de diversa índole, pudiéndose destacar: evaluación del diseño de sistemas, comparación de dos o más diseños o políticas, predicción del comportamiento de un sistema en determinadas circunstancias, búsqueda de optimización de procesos, búsqueda de relaciones funcionales entre variables que caracterizan al proceso real, localización de puntos críticos y cuellos de botella etc. El propósito del estudio determina en gran manera el diseño del modelo, pues no todas las razones para el desarrollo de modelos requieren de representaciones con el mismo nivel de precisión.
2. Definición del sistema y formulación del modelo. Consiste en identificar un pequeño conjunto de características o propiedades del sistema que sean suficientes para determinar con suficiente fidelidad su comportamiento. A grandes rasgos se puede seguir la siguiente metodología: escoger las variables de salida; determinar los componentes del sistema que influyen en dichas variables y decidir si dicha influencia va a ser parte del modelo o se va a considerar externa, en este caso será un parámetro de entrada; determinar la lógica del modelo estableciendo las relaciones entre las variables de entrada hasta llegar a las de salida de forma que reflejen el comportamiento del sistema real.
3. Recopilación de datos de entrada. Es importante la elección de los datos de entrada. Normalmente éstos pueden tener dos tipos de procedencia:
  - a. Datos experimentales del sistema, pudiéndose tomar directamente del mismo o usar distribuciones estadísticas de datos previamente muestreados;
  - b. Datos teóricos obtenidos de personal familiarizado con el funcionamiento de sistemas semejantes. Esta opción se toma cuando el sistema a simular no existe porque no es posible obtener los datos.
4. Desarrollo e implementación del modelo: Es el proceso por el que el modelo teórico se convierte en un modelo informático. Este proceso se ha visto

facilitado por la evolución de los lenguajes de programación, la aparición de librerías orientadas a la simulación y por la aparición de entornos de modelado que facilitan el desarrollo de modelos (por ejemplo, SIMAN). En este Proyecto se ha utilizado ARENA basado en SIMAN (3).

5. Diseño de los experimentos. Se realiza en dos fases. En primer lugar, en la fase de desarrollo con el objetivo de facilitar el mismo ayudando a verificar y validar el modelo. Una vez completado el modelo, se revisa el diseño experimental y se orienta a obtener las respuestas para las que se construyó el modelo.
6. Verificación y validación del modelo: la verificación consiste en comprobar que no hay errores en la traducción del modelo a instrucciones del programa. La validación consiste en comprobar que el modelo representa de forma suficientemente fiel la realidad. Para realizar la verificación se pueden usar algunos de los siguientes mecanismos: verificación manual de la lógica, comprobación submodelo a submodelo, comprobación de soluciones conocidas y realización de tests de sensibilidad.
7. Experimentación y análisis de los resultados. Normalmente requieren de planificaciones estadísticas. Los experimentos de simulación suelen tener uno de estos dos comportamientos: existe una condición clara de terminación para el proceso de simulación o por el contrario no existe dicha condición y la simulación es sin terminación prolongándose en este caso el tiempo necesario hasta alcanzar resultados independientes de los parámetros iniciales es decir hasta alcanzar un estado estacionario.
8. Documentación e implantación: son la culminación de un proceso de simulación. Éste no puede considerarse completo hasta que no se ha documentado el proceso de desarrollo y los resultados, no se han estudiado e interpretado los mismos y no se ha obrado en consecuencia. Una documentación adecuada alargará la vida útil del modelo e incrementará la posibilidad de reutilización de todo o partes del mismo.

Por tanto, para construir el modelo de un sistema real, es necesario atravesar una serie de etapas o niveles de modelización. Se comienza haciendo una descripción del sistema real, para ello es necesario realizar un estudio de toda la información disponible. Entre otras cosas, es necesario identificar cuáles serán las entradas y las salidas de nuestro modelo. Una vez identificadas las diferentes partes del sistema real se construye un modelo conceptual que contenga todos los elementos que se consideren relevantes del sistema. Desde este se pasa a un modelo lógico que contiene las relaciones lógicas entre los elementos. Por último, se construye el modelo de ordenador (o modelo de simulación) que ejecuta la lógica recogida en la fase anterior.

Estas fases son las que se han realizado dentro de cada grupo de trabajo.

## DESARROLLO EXPERIMENTAL Y RESULTADOS

### Simulación con ARENA®

En este apartado se definirán las distintas partes de un modelo de simulación, así como la importancia de cada una de ellas a la hora de modelar y ejecutar:

- **Entidades:** Es el término utilizado para representar personas, objetos, o cualquier otra cosa, reales o imaginarias, que se mueven a través del modelo, pudiendo causar cambios en el estado del sistema o afectar a otras entidades. Son los objetos dinámicos en la simulación, son creadas, pasan a través de una sucesión de procesos y luego desaparecen, en el caso de los modelos de ciclo abierto ya que, no obstante, es posible tener entidades que nunca dejen el sistema, sino que permanezcan circulando por él. Sin embargo, todas las entidades han de ser creadas, bien por uno mismo o automáticamente por el software.
- **Atributos:** Para individualizar entidades, se les asignan atributos. Un atributo es una característica común de todas las entidades, pero con un valor específico que permite diferenciar una de otra. Lo más importante con respecto a los atributos es que sus valores están unidos a entidades específicas. El mismo atributo tendrá normalmente valores diferentes para entidades distintas. Así, los atributos son variables locales (local para cada entidad). ARENA puede asignar estos atributos automáticamente o ser definidos por uno mismo si es necesario.
- **Variables (Globales):** Una variable es una parte de información que refleja algunas características del sistema, sin importar cuántas o qué tipos de entidades pueda haber. Se pueden tener muchas variables diferentes en un modelo, pero cada una de ellas es aplicación al caso de contenedores retornables única. Hay dos tipos de variables: Variables generadas por el propio ARENA (número de entidades en la cola, número de recursos ocupados, tiempo de simulación, etc.) Variables definidas por el usuario (número de entidades en el sistema, etc.). Al contrario que los atributos, las variables no están unidas a una entidad específica, sino que pertenecen al sistema en general y son accesibles por todas las entidades.
- **Recursos:** Para que sobre una entidad se realice un proceso determinado será necesaria la presencia de uno o varios recursos que presten ese servicio. Los recursos representan todo aquello necesario para realizar un proceso: personas, máquinas, herramientas, etc. Son elementos estáticos del modelo y en ellos son alojadas las entidades, presentando posibles estados distintos definidos por el usuario: ocupados, libres, en fallo, etc.
- **Eventos:** A la hora de ejecutar el modelo, básicamente todo se centra en los eventos. Un evento es algo que ocurre en un instante de tiempo (simulado) que puede hacer cambiar, atributos,

variables o acumuladores estadísticos, como pueden ser: la llegada o la salida del sistema de una entidad, el final de la simulación, etc. Para poder ejecutar, una simulación debe seguir los eventos que se supone que ocurrirán en el futuro (simulado). En ARENA, esta información es guardada en un calendario de eventos.

- **Reloj de Simulación:** El tiempo actual en la simulación es guardado en una variable llamada Reloj de Simulación. El transcurso de este tiempo no tiene por qué coincidir con el real, se puede acelerar o retardar. Este reloj marca el transcurso de los eventos del calendario y es una parte muy importante de la simulación dinámica (el reloj es una variable llamada TNOW).
- **Comienzo y Parada:** Una cuestión muy importante en la simulación es cómo empezar y parar. ARENA hace muchas cosas automáticamente, pero no es capaz de decidir cuestiones del modelado como el comienzo y la parada. El usuario es quien debe determinar las condiciones apropiadas de comienzo, cuánto debería durar la ejecución y si se debería parar en un instante particular de tiempo o cuando ocurra algún suceso específico. Estas decisiones pueden tener un gran efecto tanto en los resultados como en las cosas más obvias como pueden ser los valores de los parámetros de entrada.

En el proyecto se han desarrollado una serie de casos realizando su modelo y simulación con ARENA y que forman el núcleo de los casos básicos que pueden servir de core para todas las asignaturas del área de Ingeniería e Infraestructura de los Transportes de los títulos de Grado y Máster del ámbito de la Ingeniería Civil e Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, así como a las materias igualmente relacionadas del Máster de Gestión Portuaria y Logística. Los módulos y los casos prácticos de cada uno de ellos que se han desarrollado (y que se van a integrar en forma de curso OCW en el repositorio UCA) son:

#### Módulo 1. Introducción y conceptos básicos

En este módulo se desarrollan los conceptos sobre el interfaz del software, y cuestiones básicas sobre el reloj, las entidades, la velocidad de simulación, los conectores, etc. Además, se introducen los bloques CREATE y DISPOSE, cómo inicio y fin de cada simulación. Problemas:

- Problema 1.

#### Módulo 2. Asignaciones

Módulo breve en el que se describe el módulo ASSIGNE, de asignaciones, para poder asignar diferentes propiedades a las entidades una vez comience la simulación. Problemas:

- Problema 2.

#### Módulo 3. Ruteo

Este módulo define las diferentes formas de ruteo, o formas de bifurcación posibles que puede tomar o elegir una entidad en su proceso de simulación. Problemas:

- Problema 3.1

- Problema 3.2
- Problema 3.3
- Problema 3.4
- Problema 3.5

#### Módulo 4. Procesos

El módulo procesos introduce por primera vez el concepto de demora y, por ende, el de cola. La mayor parte de procesos o actividades, al realizarse, requieren de un tiempo, por lo que generan una demora en cada entidad, pudiendo generar a su vez colas de espera. Problemas:

- Problema 4.1
- Problema 4.2
- Problema 4.3
- Problema 4.4
- Problema 4.5
- Problema 4.6
- Problema 4.7

#### Módulo 5. Sincronización

Por último, el módulo sincronización permite el agrupamiento o separación de diferentes entidades, o que entidades pueden esperarse unas a otras.

- Problema 5.1
- Problema 5.2

Cada uno de estos problemas permite el aprendizaje adecuado y progresivo del alumno, con casos prácticos que son resultado de posibles situaciones que podrían darse en el ámbito del transporte y la logística en la realidad. De este modo, el alumno va adquiriendo los conocimientos adecuados en tiempo y forma, y los va aplicando a situaciones casi reales del ámbito de la asignatura que va cursando.

## CONCLUSIONES

En este proyecto, con la experiencia del equipo de trabajo se ha realizado una experiencia consistente en modelar y simular diferentes casos prácticos en cada una de las asignaturas del área de Ingeniería e Infraestructura de los Transportes, de los títulos de Grado y Máster del ámbito de la Ingeniería Civil e Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, así como del Máster de Gestión Portuaria y Logística.

Con este conjunto de casos prácticos, los alumnos han mejorado su conocimiento en las asignaturas, pues es necesario un conocimiento más profundo para el modelado de un problema y, por otro lado, los alumnos también han conocido la potencia de la simulación como herramienta para emular el mundo mediante un computador.

Igualmente, se ha logrado mediante el proyecto una actualización de los contenidos de varias asignaturas incorporando las TIC's y las nuevas herramientas de simulación, incorporando nuevos casos prácticos, formando a los estudiantes en el uso del modelado y simulación en la toma de decisiones, al cálculo de tiempo y costes y en definitiva a la optimización y mejora de procesos.

Una serie de casos prácticos de simulación relacionados con la Ingeniería del Transporte y la Logística fueron desarrollados dentro de este proyecto de innovación docente.

Se utilizó ARENA por su abundancia de funciones de alto nivel. Se formaron equipos de trabajo compuestos por profesores del departamento de Ingeniería Informática, de otros departamentos de Ingeniería, alumnos colaboradores y alumnos de las asignaturas involucradas en el Máster de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos y en el Máster de Gestión Portuaria y Logística de la Universidad de Cádiz. Los trabajos se presentaron en septiembre de 2019 a toda la comunidad académica (PDI, PAS y alumnos).

Se ha potenciado y mejorado, por tanto, el aprendizaje práctico de las diferentes asignaturas, en las que a partir del proyecto se podrán incluir sesiones prácticas novedosas de modelado y simulación. Los casos se han compilado en un curso virtual disponible en el campus virtual de la UCA (PRU\_00112673\_19\_20\_0, Experiencias de modelado y simulación de sistemas en la Ingeniería del Transporte y la Logística) que se ha solicitado transformar en OCW.

## REFERENCIAS

1. Urquía, A., 2006, "Simulación, Texto Base de Teoría". Departamento de Informática y Automática, E. T. S. de Ingeniería Informática, UNED.
2. Shannon, R.E. 1975. Systems Simulation the Art and Science, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
3. Kelton, W. D., Sadowski, R. P., Sadowski, D. A., 2002, Simulation with ARENA, 2ª edición, Mc Graw Hill.
4. Cassandras, C. G., Laforntune, S. (1999), Introduction to Discrete Event Systems, Kluwer Academic Publishers.
5. Buss, A., 2001, Technical Notes, Basic Event Graph Modeling, Operations Research Department, Naval Postgraduate School Monterey, CA 93943-5000 U.S.A.
6. Bratley, P., Fox, B. L., Schrage, L. E. (1987), "A Guide to Simulation", Springer.