

## Nuevas asignaturas de simulación discreta. Aprendizaje basado en problemas

Álvaro García-Sánchez, Miguel Ortega-Mier, Luís Miguel Arreche Bedia

Dpto. de Ingeniería de Organización, Administración de Empresas y Estadística. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid. Calle José Gutiérrez Abascal, 2. 28010. Madrid. alvaro.garcia@upm.es, miguel.ortega.mier@upm.es, arreche@etsii.upm.es.

### Resumen

*La Unidad Docente de Organización de la Producción de la ETSII (UPM) ha puesto en marcha dos nuevas asignaturas para el aprendizaje de la simulación discreta. En esta comunicación se presentan los principales resultados de las primeras experiencias relativas a la impartición de dichas asignaturas, así como las próximas acciones previstas a partir de la evaluación de las anteriores. Para profundizar en el aprendizaje de la simulación discreta es recomendable la introducción de metodologías diferentes de la convencional, así como trabajar con grupos reducidos de alumnos. De esta manera pueden, primero, reproducir y afrontar el tipo de dificultades propios de esta técnica y, segundo, pueden disponer de las suficientes horas de trabajo con el ordenador para poder desarrollar un trabajo suficientemente completo.*

**Palabras clave:** innovación docente, simulación discreta, aprendizaje basado en problemas.

### 1. Introducción

La simulación discreta es una técnica cada vez más extendida y que se ha desarrollado durante las últimas décadas gracias, entre otros motivos, al incremento de la potencia de computación de los equipos informáticos. Esta técnica permite abordar de manera eficaz multitud de problemas complejos para los que, típicamente, otras técnicas resultan poco apropiadas.

Dado que la simulación está íntimamente ligada al uso del ordenador, la metodología docente tradicional resulta insuficiente y poco apropiada para lograr el aprendizaje en profundidad de los contenidos relacionados con la simulación. Por esta razón, en la ETSII de Madrid se propusieron dos asignaturas (que se caracterizan más adelante), cuyo objetivo fundamental consiste en que los alumnos que la cursen conozcan los aspectos fundamentales del desarrollo de un estudio completo de simulación así como que adquieran destrezas básicas de elaboración de modelos de simulación con algún entorno de simulación profesional. El proyecto de innovación docente Simnova permitió dotar de recursos docentes a los responsables de dichas asignaturas.

Esta comunicación está estructurada de la siguiente manera. En primer lugar se describe en qué medida la simulación ha estado presente en los planes de estudio de la ETSII de Madrid y las nuevas asignaturas de simulación en los planes actuales. A continuación se describe con más detalle el proyecto Simnova, sobre todo en la parte que se refiere a las dos nuevas asignaturas de simulación. En el cuarto epígrafe se presentan los materiales desarrollados para la puesta en marcha de dicha asignatura. Después, en el quinto apartado, se presenta la primera experiencia y la evaluación que se hizo de la misma. En el epígrafe seis se describen las acciones previstas para el curso 2006/2007, que actualmente están poniéndose en práctica. Finalmente, se apuntan las conclusiones más relevantes y las futuras líneas de trabajo.

## 2. Antecedentes. La simulación de eventos discretos en el currículum

La simulación de eventos discretos es una técnica de amplia difusión en muchos países, aunque en España existe aún gran potencial de aplicación en diferentes entornos. En el plan de estudios del año 1976 ya figuraba, en la asignatura de Métodos Cuantitativos de Organización Industrial II, un conjunto de temas dedicados al estudio de la simulación. Los recursos disponibles durante el periodo de vigencia de dicho plan y el número de alumnos matriculados en dicha asignatura restringían notablemente el tipo de metodología docente. En efecto, la simulación está estrechamente ligada al uso de computadores y, sin embargo, en ese momento la Escuela, y en particular, la U.D. de Organización de la Producción no disponía de los equipos y las licencias suficientes para ofrecer un volumen de clases prácticas suficiente. Incluso, aun habiendo dispuesto de un número amplio de ordenadores y licencias, habría sido necesario un número de horas-profesor mayor de las disponibles para atender de forma satisfactoria el proceso de aprendizaje de los alumnos.

En los planes vigentes, correspondientes a las titulaciones de Ingeniero Industrial (I.I.) e Ingeniero de Organización Industrial (I.O.I.) se pueden encontrar asignaturas en las que se presenta la simulación discreta con carácter introductorio, como parte del temario, y en grupos numerosos, de manera que comparten los inconvenientes de las asignaturas del plan 76.

Sin embargo, las bondades y el interés de la simulación aconsejaban el diseño de nuevas asignaturas, al menos, por dos motivos fundamentales.

- Desde el punto de vista de la adquisición de competencias profesionales específicas, la simulación discreta es una herramienta muy potente para abordar problemas complejos, por lo que es altamente interesante que los titulados del ETSII de Madrid conozca dicha herramienta y hayan realizado algún estudio de simulación de dificultad media para que incorporen dicha técnica al conjunto de recursos de los que harán uso a lo largo de su vida profesional.
- Desde el punto de vista pedagógico, una asignatura centrada en la simulación discreta puede servir de complemento al resto de los contenidos de la especialidad de Organización Industrial. En efecto, la simulación permite reproducir problemas que ponen de manifiesto conceptos pertenecientes al temario de otra asignatura pero con un nivel de complejidad mayor que aquel con el que se presentan. De esta manera, primero, los alumnos comprueban cómo la simulación permite abordar ejemplos de mayor complejidad que los presentados en otra asignatura y se hacen cargo las posibilidades de simulación. Además, los alumnos pueden comprender determinados fenómenos con más profundidad al observar el funcionamiento de sistemas más complejos gracias a la simulación.

Por las razones anteriores, se elaboraron dos asignaturas para sendos planes para permitir a los alumnos que, tras haber cursado las asignaturas anteriores, quisieran profundizar en el aprendizaje de la simulación. Estas asignaturas son:

- Simulación para el Diseño y Operación de Sistemas Logísticos (6 créditos), asignatura de libre elección para los alumnos de 4º o 5º de la titulación de I.I.
- Técnicas de Simulación de Sistemas Logísticos (4.5 créditos), asignatura optativa para los alumnos de segundo curso de la titulación de I.O.I.

Estas asignaturas se diseñaron para impartirse en grupos reducidos, con una gran proporción de

tiempo trabajando directamente delante del ordenador y con un amplio grado de autonomía por parte del alumnado.

### 3. El proyecto Simnova

Gracias a la financiación de la ETSII se dispuso de dos becarios asignados al proyecto SIMNOVA uno de los cuales contribuyó al desarrollo de un conjunto de materiales para poner en marcha estas dos asignaturas dentro del marco de la declaración de Bolonia (European Union, 1999).

La dirección de la ETSII lleva varios años apostando por la innovación docente, fruto de ese interés han sido los proyectos PaUTA; Indus-NET, PaUTA-NET (Figuera et al. 2004).

En relación con el nuevo marco europeo y de acuerdo con el enfoque de las funciones que corresponden al profesor y a los alumnos, se optó por adoptar una metodología eminentemente práctica y participativa. En particular, se optó por emplear la metodología “Aprendizaje Basado en Problemas” (Benítez et al., 2004). Sin embargo, se eligió realizar una transición gradual desde los métodos convencionales hasta alcanzar un grado de aplicación de la metodología ABP satisfactoria a partir de la evaluación de las distintas experiencias.

Este trabajo fue desarrollado por miembros del Grupo de Innovación Educativa de Ingeniería de Organización. En particular, forma parte del proyecto SIMNOVA, dentro del programa INNOVAEDU, financiado por la ETSI Industriales. La U.D. de Organización de la Producción de esta Escuela ha desarrollado proyectos de naturaleza similar (Figuera et al., 2004, Arreche et al., 2005, González Manrique et al., 2006) algunos de ellos, igualmente, financiados por la propia Escuela.

El objetivo fundamental de estas dos asignaturas es que los alumnos aprendieran cuáles y cómo se desarrollan todas las etapas de un estudio de simulación mediante la realización de un caso de estudio de complejidad media. Se optó por emplear una metodología de Aprendizaje Basado en Problemas. Adicionalmente, para el desarrollo de los casos, se eligió la aplicación profesional Witness 2006 (Herrero et al., 2000)

Entre los resultados esperados cabe señalar:

- Incrementar la eficacia de la enseñanza. En la medida en la que los alumnos se enfrentan con un problema de complejidad media, aparecen los problemas que históricamente se han abordado desde la metodología tradicional de la exposición magistral.
- Incrementar la eficiencia. Básicamente, reduciendo horas de clase magistral. Elaborando una documentación adecuada. Transformando el papel del profesor, de un comunicador cualificado de los contenidos de la documentación a un recurso útil para guiar el análisis de los problemas que se plantean al aplicar los conceptos teóricos a los problemas prácticos que abordan los grupos.
- Implicación y autonomía del alumno. El alumno trabajará de forma independiente sin el profesor durante gran parte del tiempo de trabajo y estudio de la asignatura, buscándose, a su vez, que se entusiasme por la tarea que está realizando.
- Trabajo en grupo. Después unas primeras sesiones en las que los alumnos individualmente se familiarizan con el software, una proporción importante del trabajo es en grupo. Los resultados de su trabajo (presentación oral e informe escrito final) son igualmente un trabajo

de grupo.

#### 4. Materiales elaborados

Para la implantación de las asignaturas como se ha expresado en el apartado anterior se consideró necesario desarrollar materiales nuevos, distintos a los que existían. Estos materiales fueron desarrollados por los profesores y por el becario participantes en el proyecto SIMNOVA, y fueron los siguientes

- Documentación básica. A partir de materiales previamente existentes, se introdujeron las modificaciones pertinentes para ampliar los contenidos para ajustarse al alcance de la asignatura y para facilitar el uso de dicho material durante el desarrollo del curso.
- Guión de autoaprendizaje de Witness, con el objeto de que los propios alumnos con la versión educacional del programa pudieran emplear horas de trabajo personal en casa para profundizar en el conocimiento de la herramienta.
- Ejercicio completo para el profesor. Para los posibles futuros profesores de la asignatura, se elaboró un estudio completo de simulación, con toda la documentación y los archivos necesarios para orientar de forma adecuada el trabajo de los alumnos.
- Caso modelo para los alumnos. Se seleccionó un sistema sencillo, para el cuál se desarrolló un estudio completo, que sirviera de referencia para el futuro trabajo de los alumnos.
- Colección de casos. Por último, se elaboraron cuatros casos de situaciones representativas de problemas propios de Organización Industrial para que los alumnos desarrollaran un estudio de simulación con un objetivo concreto.



Figura 1. Imagen incluida en el manual de autoaprendizaje de Witness

#### 5. Primera experiencia y evaluación

Durante el primer curso, se contó con un total de 11 alumnos en la asignatura de SDOSL y con 17 alumnos en la asignatura de TSSL.

Como se ha comentado, la transición hacia la metodología ABP estaba planificada como un proceso gradual, por lo cual el contenido de clases de prácticas convencionales fue mayor de lo que está previsto.

En particular, tras unas primeras sesiones en las que se hacía un breve recordatorio de los conceptos fundamentales de la simulación, en las siguiente sesiones se desarrollaron prácticas relativas al análisis de datos y al uso de dos herramientas para construir modelos de simulación.

La parte de la aplicación del ABP se centró en el desarrollo del modelo informático y del análisis de los resultados del estudio. Los casos presentan características diferentes, pero, en cualquier caso, todos ellos comparten los rasgos esenciales de un estudio de simulación. A medida que los alumnos se topaban con dificultades, o estaban en la tesitura de hacer algún tipo de hipótesis, o necesitaban algún tipo de dirección, los profesores remitían los alumnos a la documentación básica o la bibliografía de referencia para avanzar de forma conveniente.

Finalmente, los alumnos elaboraron un informe con las propuestas de mejora de los sistemas estudiados, así como los diferentes pasos realizados para llegar a dichas conclusiones. El último día de clase cada grupo realizó una exposición del informe y las propuestas de mejora asociadas.

Al final del cuatrimestre se realizaron dos encuestas, una de carácter general elaborada por la UPM y otra de carácter específico elaborada por el equipo del proyecto para evaluar el grado de eficacia y de satisfacción de la nueva metodología. Los resultados más notables se ofrecen en las figuras 2 y 3.

**Tabla 1.** Principales resultados relativos a los contenidos

5	Totalmente de acuerdo	4	Bastante de acuerdo	3	Medianamente de acuerdo	2	Poco de acuerdo	1	Nada de acuerdo
<b>Sobre los contenidos y el interés de la asignatura</b>									
<b>SDOSL</b>									
<b>TSSL</b>									
$\mu$									
$\sigma$									
La asignatura me parece interesante después de terminar el curso									
Valoración global de la asignatura (puntuación de 1 a 5)									
La asignatura tiene interés de cara a: mi futuro profesional y para aumentar o complementar mis competencias en el campo de la Ingeniería de Organización									

Con respecto al interés de los contenidos de las asignaturas, los alumnos evaluaron muy positivamente el interés de los mismos para su futuro profesional. Conviene señalar que algunos alumnos de la asignatura de TSSL estaban trabajando en el momento de responder, lo que le concede especial valía a las respuestas ofrecidas.

En términos de la carga de trabajo para los profesores, el número de alumnos permitió garantizar la calidad del seguimiento del trabajo de los equipos. En la medida en la que el número de alumnos fuera mayor, sería necesario disponer de más horas de profesor.

**Tabla 2.** Principales resultados relativos a la metodología y los recursos

	<b>SDOSL</b>		<b>TSSL</b>	
	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
<b>Sobre la metodología y los recursos</b>				
• He aprendido a realizar un estudio completo de simulación	3.80	0.63	3.86	0.66
• La simulación me ha permitido aplicar de forma práctica los conocimientos estadísticos	4.60	0.52	3.93	0.73
• Los casos me han permitido conocer las posibilidades de la simulación para el estudio de casos reales	4.10	0.57	4.14	0.66
• La documentación relacionada con el caso ha sido adecuada (redacción, claridad de objetivos, etc.)	3.80	0.92	4.00	0.96
• El trabajo en equipo resulta útil para facilitar el aprendizaje de la simulación	4.80	0.42	4.43	0.65
• Considero útil el tener que realizar una exposición en clase	4.40	0.70	4.71	0.47



Con respecto a la metodología empleada, los alumnos están en general satisfechos. Mientras el trabajo en equipo les parece una metodología de trabajo especialmente adecuada y que la presentación final es especialmente útil, los materiales entregados y su nivel de aprendizaje sobre cómo desarrollar un estudio completo de simulación son los aspectos que son susceptibles de mejora, aun cuando los valores de las respuestas son satisfactorios.

## **6. Acciones previstas para este curso**

A partir de la experiencia del primer año, se modificará la metodología de la asignatura para introducir más elementos propios del ABP. En particular, las asignaturas se estructurarán de la siguiente manera.

1. Entrega de problema complejo. Los alumnos dispondrán desde el primer momento del caso de estudio del que se ocuparán a lo largo de todas las sesiones.
2. Discusión de las posibles técnicas para su tratamiento. A partir del objetivo de los casos de estudio, se discutirá el interés de abordar el problema mediante diferentes técnicas y, en particular, mediante simulación.
3. Autoaprendizaje de Witness. Los alumnos, parte en clase y parte en su tiempo de trabajo fuera del aula, aprenderán los rudimentos de Witness para poder realizar el caso asignado. Los alumnos dispondrán de una versión educacional del software utilizado, con lo que podrán, efectivamente, aprender el manejo fuera del aula.
4. Ejecución paso a paso del estudio completo de simulación. Este es gran bloque, que se introducirá con una presentación breve a modo de recordatorio de los pasos necesarios para realizar el estudio. Una vez hecho esto, el profesor actuará como tutor de cada uno de los grupos, remitiéndoles a las fuentes apropiadas para resolver los problemas que encuentren y para orientar el trabajo de los equipos.
5. Elaboración de informe y presentación de resultados. Finalmente, los alumnos deberán elaborar un informe y realizar una presentación con los principales resultados de su estudio.

Con la metodología descrita, se espera que los alumnos dispongan de un conocimiento más profundo de las ventajas y los inconvenientes de la simulación y de las técnicas y consideraciones relativas a cada una de las etapas de un estudio.

Como el tiempo durante el cual los alumnos trabajarán con una herramienta profesional será extenso, se espera también que los alumnos mayor destreza en el uso de Witness y sean capaces de usar esta herramienta en diferentes problemas que se plantean en su futura o actual actividad profesional.

Dado que se dedicará un tiempo mayor a los casos de estudio, se espera que los alumnos puedan realizar un análisis más exhaustivo del comportamiento de los sistemas estudiados, como ejemplos representativos de los problemas propios de la Ingeniería de Organización.

## **7. Conclusiones y futuros desarrollos**

Tras las experiencias comentadas previamente, los profesores participantes en estas asignaturas han identificado una serie de ventajas y de inconvenientes respecto al método anterior.

Las ventajas fundamentales derivadas del desarrollo de estas asignaturas son las siguientes:

- Los alumnos adquieren un conocimiento profundo de la simulación, basado fundamentalmente en la experiencia.
- En el aula se pueden identificar problemas de naturaleza similar a los que se plantean en un estudio de simulación profesional, de manera que lo que en una exposición magistral puede resultar ‘obvio’, al encontrar dichas dificultades en un problema de dificultad media, aparecen de forma natural y se integran en el bagaje de los alumnos.
- Por ser el grupo reducido, la evaluación es más fiable. El profesor conoce bien los problemas con los que se han topado los alumnos y cómo los han resuelto, la capacidad de aprendizaje de cada alumno, etc.

Igualmente la naturaleza de las asignaturas plantean inconvenientes, de los cuales los más relevantes son los siguientes:

- Existe una dificultad con respecto a otras experiencias parecidas que es la necesidad de conseguir cierto grado de conocimiento del entorno de simulación utilizado.
- Es difícil mantener el equilibrio entre ABP y método tradicional. Si los grupos avanzan a medida que se les plantean dificultades, cada uno evoluciona de diferente manera, y quizás en algunas partes (menos relevantes) empleen más tiempo del necesario a costa de otras partes más interesantes.
- Hacen falta muchas horas profesor para seguir de forma cercana y rigurosa el trabajo de los alumnos.

En resumen, la evaluación que realizan los profesores tras el primer curso de puesta en marcha de las nuevas asignaturas es altamente satisfactoria. Aun siendo cierto lo anterior, existen algunos aspectos susceptibles de mejora y están previstas modificaciones metodológicas para ajustarse en mayor medida a las directrices propuestas por el tratado de Bolonia, que se pondrán en marcha el presente curso.

Para los próximos cursos convendría disponer de nuevos casos de estudio y así posibilitar que asistan más alumnos o los grupos sean más reducidos. Adicionalmente y para garantizar un correcto desarrollo de las asignaturas y dada la carga de trabajo de los profesores, sería conveniente disponer de un ratio número de alumnos por profesor relativamente bajo, para garantizar la calidad de las discusiones y la correcta dirección y seguimiento del trabajo de los diferentes equipos.

## **Referencias**

Arreche Bedia, L.M.; Ortega Mier, M.; García Sánchez, A. (2005). Virtual laboratories between universities: Virtual – SimLab. International Conference on Engineering and Computer Education. Madrid.

Benítez, R.; Giraldo, B.; Domingo, J. (2004). Aprendizaje cooperativo basado en problemas en el diseño y desarrollo de proyectos de ingeniería. XII Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas. Barcelona.

Figuera Figuera, J.R.; García Sánchez, A.; Ortega Mier, M. (2004). Empleo del ordenador como

herramienta para las enseñanzas de Organización de la Producción y de Métodos Cuantitativos de Organización. VIII Congreso de Ingeniería de Organización. Madrid.

García Sánchez, A.; Ortega Mier, M.; Figuera Figuera, J.R. (2005). A Software package for equipment management learning. 6th Internacional Conference on Information Technology Based Higher Education and Training. Santo Domingo, República Dominicana.

González Manrique, C.; Arreche Bedia, L.M.; García Sánchez, A.; Ortega Mier, M. (2006). Laboratorio virtual para el diseño y programación de células flexibles de fabricación. X Congreso de Ingeniería de Organización. Valencia.

European Union, The European Higher Education Area. Joint declaration of the European Ministers of Education, Convened in Bologna on the 19th of June 1999. Available on-line: [http://www.sc.ehu.es/siwebso/Bologna/textos/AEES\\_EHEA/Bologna\\_declaration.pdf](http://www.sc.ehu.es/siwebso/Bologna/textos/AEES_EHEA/Bologna_declaration.pdf)

Rosa Herrero, M.; Pereira Gude, J. (2000). Guías de simulación con Witness. Publicacions d'Abast. Barcelona.