



Formación Universitaria

E-ISSN: 0718-5006

citrevistas@gmail.com

Centro de Información Tecnológica

Chile

Giraldo, Jaime A; Toro, Carlos A; Jaramillo, Fabián A
Aprendiendo sobre la Secuenciación de Trabajos en un Job Shop mediante el Uso de
Simulación
Formación Universitaria, vol. 6, núm. 4, 2013, pp. 27-38
Centro de Información Tecnológica
La Serena, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=373534465004>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Aprendiendo sobre la Secuenciación de Trabajos en un *Job Shop* mediante el Uso de Simulación

Jaime A Giraldo, Carlos A Toro y Fabián A Jaramillo

Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Departamento de Ingeniería Industrial, Campus la Nubia. Manizales-Colombia (e-mail: jaiagiraldog@unal.edu.co, catoron@unal.edu.co, fajaramilloro@unal.edu.co)

Recibido Mar. 05, 2013; Aceptado Abr. 29, 2013; Versión final recibida May. 07, 2013

Resumen

En este artículo se presenta una estrategia educativa basada en un modelo de simulación como herramienta de soporte didáctico al aprendizaje de la secuenciación de trabajos en una configuración de producción del tipo *job shop*. La idea surge en el marco de un semillero de investigación en simulación de sistemas de producción y de servicios, empleando en el diseño educacional el método de aprendizaje basado en resolución de problemas (*Problem-solving Based Learning-PBL*). En el diseño computacional, en la simulación por eventos discretos y en el diseño comunicacional se usa una interfaz sencilla y amigable con el usuario. Esta está basada en la interacción persona-computador mediante hojas electrónicas. Se concluye que mediante simulación se logra en la enseñanza de asignaturas empresariales una comprensión espacio-temporal requerida para propiciar ambientes virtuales de aprendizaje.

Palabras clave: didáctica, aprendizaje basado en problemas, simulación discreta, secuenciación de producción, aprendizaje virtual

Learning About Sequencing of Jobs in a Job Shop Simulation Using

Abstract

This article presents an educational strategy based on a simulation model as a tool to support teaching learning sequencing jobs in a configuration job shop production. The idea came as part of a breeding research scheme in simulation of production systems and services, using the instructional design learning method based on problem solving (*Problem-solving-Based Learning PBL*). In the computational design, in the discrete event simulation and in the communication design, a simple and user-friendly interface was used. This is based on human-computer interaction using spreadsheets. It is concluded that simulation helps in the space-time compression required in virtual learning environments.

Keywords: didactic, problem-based learning, discrete simulation, production sequencing, virtual learning.

INTRODUCCIÓN

Una estrategia que se emplea en nuestra universidad para promover la agrupación de discentes/docentes con el fin de realizar actividades de investigación está plasmada en los semilleros de investigación. En tal sentido, en el año 2012 se formuló, aprobó y financio el semillero de investigación en simulación de sistemas de producción y de servicios con aplicaciones didácticas, cuyo objetivo es emplear la simulación de eventos discretos como herramienta metodológica en la investigación, análisis y síntesis de sistemas de producción y de servicios en pro de construir modelos de apoyo didáctico a algunas asignaturas taller del programa de ingeniería industrial. Consecuente con el objetivo citado, los integrantes del semillero diseñaron y aplicaron dos instrumentos de recolección de datos vía web (www.polladady.com) dirigido a 62 estudiantes y 6 profesores con el fin de detectar que asignaturas taller y temas específicos presentan dificultades desde la óptica del profesor (enseñanza) y cuales desde la percepción del estudiante (aprendizaje). Específicamente en la asignatura taller de producción y logística más del 55% de discentes y docentes encuestados manifestaron dificultades en la enseñanza-aprendizaje sobre secuenciación de producción en un ambiente *job shop*, por lo que se optó por desarrollar un modelo de apoyo didáctico en el mencionado tema.

La configuración de producción denominada *job shop* es ampliamente usada a nivel industrial. Básicamente corresponde a ambientes fabriles que procesan una amplia variedad de productos, en pequeños volúmenes, en la cual cada tipo de producto puede tener su propia ruta de producción y con máquinas agrupadas por función. De hecho uno de los problemas clásicos de la optimización combinatoria y la investigación de operaciones lo constituye el *Job Shop Scheduling Problem (JSSP)*, cuyas técnicas de solución se han estado investigando hace más de 50 años, entre las cuales destacan múltiples algoritmos y heurísticas del campo de la inteligencia artificial y la programación matemática, como se describe en: “*A state of the art review of the job-shop scheduling techniques*” en el sitio <http://www.cs.umbc.edu/671/fall01/papers/jain.ps>. Aunque a nivel de pregrado el tema del JSSP no es tratado a profundidad, se considera muy importante que los futuros profesionales de la ingeniería industrial se motiven a investigar/aplicar nuevas soluciones a dicho problema. La importancia de la configuración de producción *job shop* queda manifiesta no solamente por la cantidad de sistemas de producción existente con dicha configuración sino por el nivel de investigación realizado a nivel académico, pues cuando se consultan las bases de datos bibliográficas sobre el tema a través de una rápida búsqueda de los términos *job shop* se encuentra la siguiente cantidad de artículos publicados (a enero de 2013) sobre el tema en los últimos 10 años: ScienceDirect (3037), Ebsco (1720), JSTOR (2779), Ei-Compendex (3318), Google Scholar (98200).

Para el caso del currículo de ingeniería industrial de nuestra universidad hay una distancia temporal de 2 años (4 semestres) entre el momento en que los estudiantes adquieren los conceptos matemáticos (cursos de matemáticas I, II y III, estadística I y II,) y el momento en que estudian los procesos tecnológicos de producción (curso de taller de producción y logística) con lo que se evidencia lo afirmado por Cistac et al.. (2009) en relación a que “...la disociación que parece plantearse entre los conceptos matemáticos y los procesos tecnológicos hace que los estudiantes vean a las distintas áreas como compartimientos estancos, no logrando una interrelación interesante entre asignaturas básicas con tecnológicas”. Surge entonces la necesidad de que los discentes interconecten los contenidos de diversas ciencias, combinando de manera creativa los elementos de unas asignaturas con los de otras para el análisis del objeto de estudio, en este caso los sistemas de producción con configuración *job shop*, como bien lo proponen Mariño et al.. (2012) en otro contexto educativo.

Pero no basta que los estudiantes interconecten contenidos, es necesario aprenderlos; como lo plantean Sáez et al.. (2008), la idea es un poco la del proverbio chino que dice “lo que escucho, lo olvido; lo que veo, lo recuerdo; pero lo que hago, lo aprendo”, siendo el método de aprendizaje basado en resolución de problemas (*Problem-solving Based Learning-PBL*) una estrategia educativa (Mills y Treagust, 2003; Prince y Felder, 2006 citados por Sáez et al.. (2008)), “...que consiste esencialmente en que el alumno se ve enfrentado a problemas concretos, prácticos, en el transcurso de las asignaturas, asumiendo el profesor un rol de asesor, o de guía más que el de transmisor de información”. Según Mauffette (2007) citado por Sáez et al.. (2008), estadísticamente un 25% de los alumnos aproximadamente prefiere el sistema tradicional (clase magistral), de “entrega de información”, un 25% prefiere PBL y un 50% dice que puede aprender indistintamente con uno u otro método, siendo más apropiado PBL para asignaturas que emplean la metodología de proyecto y ejercicios (tipo taller), requisitos que cumple la asignatura taller de producción y logística. Dado que el currículo de ingeniería industrial actual es mixto (talleres y cursos tradicionales) es importante contrastar los comentarios de Latasa et al.. (2012) quienes citan a Maudsley (1999) y Greening (1998) respecto a que “...la esencia del verdadero PBL: se trata de una estrategia formativa que abarca la totalidad del currículo y no simplemente un método” frente a autores como Dochy et al.. (2003) (también citados por Latasa et al. (2012)) quienes afirman que “...como resultado de un meta-análisis estadístico de

los resultados de 43 investigaciones empíricas sobre los efectos del PBL, no encontraron diferencias significativas entre los resultados del PBL aplicado en todo el currículo y los resultados del PBL aplicado en cursos individuales”. De hecho en la investigación realizada por Latasa et al. (2012) se concluye que “...la utilización del PBL en contextos curriculares no integrados produce resultados de aprendizaje superiores a los que se obtienen mediante enfoques de enseñanza-aprendizaje más tradicionales”. De este contraste se desprende que no se ha dicho aun la última palabra sobre el currículo ideal (tradicional/taller) para emplear PBL.

Al seleccionar PBL como estrategia educativa se hace necesario pensar en el perfil de los discentes. Es innegable que la generación de estudiantes que se está educando hoy ha crecido de la mano del computador y por tanto se ha habituado al uso de juegos, programas y acceso a la red. Estas nuevas costumbres podrían facilitar el aprendizaje soportado por computadora, según lo corroboran Grane et al. (2008), al afirmar que: “...vivimos un proceso donde los entornos de simulación y los videojuegos están cobrando protagonismo en sistemas de e-learning, y cada vez más, los profesionales del sector, educadores e investigadores, debemos estar atentos a estas formas interactivas y sociales del aprendizaje”. Sherry Turkle (1997) ha argumentado que la primera etapa de los computadores pertenece a una “cultura del cálculo” que se vio sustituida en los años ochenta por una “cultura de la simulación”, no tan centrada en el cálculo y las reglas sino en la simulación, la navegación y la interacción. Turkle sitúa este cambio en el año 1984, con la introducción del característico estilo icónico de la interfaz *Macintosh*, el cual simulaba el espacio de un escritorio (los iconos de carpetas, papelera, teléfono, lápiz, etc.), estableciendo un vínculo comunicativo más basado en la interacción y el diálogo persona-computador. Para Márquez (2010), a pesar del interés actual, los ambientes (mundos) virtuales han existido desde siempre. El hombre nunca se ha limitado a ver lo que ve y siempre ha imaginado un más allá de su entorno vital, empezando por la palabra, que nos permite construir mundos, pensarlos e imaginarlos. Fredes et al. (2012) consideran que en la cibercultura, la educación utiliza las tecnologías digitales para generar una mejor gestión del conocimiento y citando a Prensky (2001) “...los alumnos son nativos digitales y los profesores inmigrantes digitales. Así, el inmigrante debe gastar mucho tiempo para ambientarse en su nueva patria. Y muchos profesores no se han dado este tiempo. Es necesario su aporte porque, como señala Hernández y Romero (2010), la simple inserción de las TIC en el aula no garantiza su eficacia educativa. La real introducción pasa por una alfabetización digital de los profesores... (citando a Proto, 2010)”, siendo este último aspecto quizás un obstáculo en nuestro medio universitario si se tiene en cuenta la diferenciación de Echevarría (2000) quien establece una distinción fundamental entre realidad virtual y “realidad infovirtual”, siendo este último término empleado para separar las formas de virtualidad basadas en la imaginación y la trascendencia, que siempre las ha habido, de las nacidas en torno a la racionalidad tecno-científica y el desarrollo de la información (de ahí el prefijo info-), que generan nuevas formas de realidad virtual, siendo estas últimas las de interés en este trabajo en razón al uso intensivo que hace la simulación de la información.

Son abundantes los documentos que muestran la aplicación de la simulación como apoyo a procesos de enseñanza-aprendizaje relacionados con carreras de negocios. Algunas reseñas bibliográficas al respecto son: Stâh (2007) resume su experiencia de haber enseñado la simulación a más de 7000 estudiantes de pregrado, de postgrado y doctorado por más de 30 años en cinco países, respondiendo a la pregunta de por qué la simulación es importante en una escuela de negocios. Ingalls et al. (2008) reportan un trabajo en curso sobre investigación de la integración de la cadena de suministro, desarrollando y aplicando modelos y herramientas que combinan optimización lineal y simulación. García y García (2008) presentan una metodología para diseñar un juego de simulación interactivo, útil para enseñar simulación de eventos discretos en cursos de pregrado. Kincaid y Westerlund (2009) muestran como la simulación además de sus tradicionales áreas de uso (por ejemplo aviación e investigación) está emergiendo como una potente herramienta en educación y entrenamiento. Grabis y Chandra (2010) proponen un enfoque orientado a los procesos que se utiliza como base para el análisis de operaciones y cadena de suministro, con énfasis en explorar las relaciones entre los diferentes procesos de la cadena de valor tales como fabricación, logística, marketing y finanzas, mediante la simulación del flujo del proceso y obtención de medidas de rendimiento. Mustafee y Katsaliaki (2010) reportan un juego de negocios que imita la cadena de suministro de unidades de sangre de los donantes a los pacientes; el juego simula el flujo de materiales e información en un canal de producción y distribución que sirve a los pacientes en los hospitales que necesitan transfusiones de sangre de acuerdo a las peticiones de los médicos en distintas épocas y con distribuciones independientes. Pidd et al. (2010) reportan que para proporcionar una educación más amplia a estudiantes de doctorado en investigación operativa, el Consejo Nacional de Ingeniería e Investigación de Ciencias Físicas del Reino Unido, creó un centro nacional de impartición del curso de investigación operativa (NATCOR), el cual ofrece una residencia a los estudiantes de una semana en la cual se incluye un curso de simulación. De otra parte Lee (2011) pretende demostrar el uso eficaz de la simulación y la técnica de juego en la enseñanza de los conceptos y mejores prácticas de gestión de proyectos que tengan un valor práctico y duradero. El juego de gestión de proyectos propuesto proporciona un medio de inmersión de las personas en situaciones que

imitan las complejidades del mundo real, retándolos a correr riesgos y cometer errores sin mayores consecuencias. Por último, Tobail et al. (2011) reportan que los estudiantes de tercer nivel de hoy en día son de una generación virtual, quienes juegan interactivamente en línea y para quienes la realidad virtual y simulaciones son una parte de su vida cotidiana, haciendo que los videojuegos y la simulación sean un importante catalizador en el proceso de aprendizaje. Por ende consideran estos autores que los métodos de enseñanza tienen que ser más innovadores para ayudar a los estudiantes a entender la complejidad de las decisiones dentro de un entorno dinámico de una cadena de suministro, proponiendo que los juegos interactivos de simulación tienen el potencial de ser un medio eficiente y agradable de aprendizaje, “materializando” sus ideas con la construcción del juego *Automobile Supply Chain Management Game* (AUSUM) cuya implementación en la web fomenta la interacción de estudiantes y el trabajo en grupo.

Específicamente en las últimas décadas se ha incrementado el uso de tecnología informática en la enseñanza de la gestión de operaciones, como se evidencia en algunas fuentes consultadas. Figuera et al (2004) hacen una reseña histórica desde 1977 del empleo de esta tecnología en enseñanza de organización de la producción y de métodos cuantitativos de organización en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid; esta reseña va desde el empleo de máquinas IBM 5110 (1977-1983), pasando por el uso de los lenguajes BASIC y APL (1983-1990), elaboración por encargo de empresas, de varias aplicaciones de métodos cuantitativos a problemas reales de producción y de logística, hasta el empleo de software de programación lineal y mantenimiento industrial. Respecto al uso de la simulación en educación, según Van der Zee y Holkenborg (2010) en los últimos años muchos investigadores (citando a Chapman y Martin (1995), Ruohomaki (1995, 2003), Chwif y Barretto (2003), Smeds (2003), y Lainema & Hilmola (2005)) han señalado el alto potencial que los juegos de simulación tienen en el entrenamiento requerido para lograr el dominio de nuevos conceptos de negocios en gestión de operaciones. Coherente con esto, el juego de simulación desarrollado por Constantino et al (2012) simula un sistema de producción que consta de un conjunto de máquinas, cintas transportadoras y otros componentes, trazándose como objetivo mejorar la enseñanza de algunos conceptos de gestión de operaciones, tales como la utilización de la capacidad y la planificación del mantenimiento; esperando con ello ofrecer un marco de trabajo de toma de decisiones que puede ser usado para evaluar el progreso en el aprendizaje logrado por los estudiantes. Inclusive a hoy se ofrece en Argentina por parte del Instituto Tecnológico de Buenos Aires un programa de posgrado titulado *Simulación en la Gestión de Operaciones y Proyectos*, según oferta mostrada en sitio Universia (2013), hecho este último que ratifica la importancia del uso de la simulación en la enseñanza de la gestión de producción industrial.

Con el advenimiento de enfoques de gestión de producción integrados (cadenas de suministro), la simulación por computadora ha tomado un papel preponderante. El trabajo de Ingalls et al. (2008) describe una investigación realizada en conjunto por las universidades de: Oklahoma, Arkansas y Pittsburgh cuyo propósito es el diseño de un curso de modelado de la cadena de suministro mediante simulación, bases de datos y algoritmos de optimización que incluye: demanda, producción, distribución, transporte, planeación del inventario, pronóstico y planeación de proveedores. Entre las ventajas encontradas se resalta que los resultados mostraron que mediante el uso de un modelo de simulación, es posible diseñar cadenas cuyo resultado final es una mejora significativa en el desempeño operativo y financiero de todos los participantes en la cadena de suministro, incluyendo producción y el cliente final. Haciendo uso de tecnologías web, Zhou et al. (2008) desarrollan un juego de simulación de la cadena de suministro (SC) basado en Internet (ISCS) mediante el cual los estudiantes pueden probar diversas estrategias, las cuales pueden ser evaluadas y valoradas en base al Sistema de Información de Gestión Integrado (SGI). Las funciones clave del ISCS están diseñadas para aumentar el conocimiento en los jugadores de la SC, facilitar el entendimiento sobre diversas estrategias y desafíos de la SC, fomentar la colaboración entre los eslabones de la cadena (incluyendo producción), y mejorar las habilidades para resolver problemas. Se resalta de este trabajo el poder descubrir problemas y obstáculos en el aprendizaje de los participantes, sobre todo en: tendencia de los participantes en enfocarse solo en su área funcional, descuidando la comunicación con otros miembros; incorrecta definición de cliente por parte del equipo; ningún estudiante pudo enfrentar las restricciones de capacidad, originando sanciones pecuniarias; muy pocos estudiantes pueden programar la producción mediante el establecimiento de un plan maestro de producción realista que derive en una secuencia de órdenes de trabajo satisfactoria; y lo más importante, en teoría, los estudiantes entienden las diversas medidas de desempeño de la SC, como el costo, la velocidad, la calidad, etc. sin embargo, en la práctica, las acciones de los estudiantes no son consistentes con sus objetivos, pues los objetivos se establecieron para minimizar el costo total mientras que en la práctica se hicieron todos los esfuerzos para obtener una entrega en corto tiempo.

De otra parte, en diálogos sostenidos con algunos profesores/estudiantes de la asignatura taller de producción y logística del programa de ingeniería industrial se ha evidenciado la dificultad de enseñar-aprender sobre la estructura y dinámica de operación de los sistemas de producción tipo *job shop* debido principalmente a la complejidad de estos en términos de interdependencias entre sus componentes,

variabilidad y necesidad de su observación en periodos largos de tiempo. Una opción de ayuda para el aprendizaje lo constituye las visitas industriales, pero estas son costosas, cortas y no pueden garantizar el mostrar toda la complejidad inherente a estos sistemas. Es por ello que se justifica desarrollar modelos didácticos que le permitan al discente aprender la complejidad de estos sistemas mediante la simulación en computadora. De hecho Kiran (2000) define el problema de la secuenciación de trabajos en un *job shop* como el momento de inicio/terminación (de cada operación) de cada trabajo esperando a ser procesado que satisface: 1) las restricciones tecnológicas y/o orden de procesamiento y 2) una función objetivo que mide el desempeño o efectividad de un programa de secuenciación en particular. Sugiere igualmente incorporar en el modelo de simulación los siguientes componentes básicos: a) arribo de trabajos, b) tiempos de procesamiento y alistamiento, c) máquinas, d) enrutamiento de trabajos, e) factores de carga de producción, f) fechas de entrega y g) reglas de prioridad de secuenciación. Complementariamente Vinod y Sridharan (2011) consideran citando a (Rangsaritratamee et al., 2004) que un *job shop* realista considera entre 4 y 10 máquinas y sugieren las siguientes suposiciones en su programación: i) existe una máquina de cada tipo en el sistema, ii) cada máquina puede ejecutar solamente una operación al tiempo sobre cada trabajo, iii) una operación de un trabajo puede ser ejecutada solamente por una máquina, iv) una vez una operación empieza en una máquina, esta no puede ser interrumpida, v) una operación de un trabajo no puede ser ejecutada hasta que las operaciones precedentes no sean terminadas, vi) no hay rutas de producción alternativas, vii) cada máquina está continuamente disponible para la producción y viii) no hay restricciones en las longitudes de cola en cada máquina.

Motivados por lo anteriormente expuesto, en este artículo se presenta un modelo de simulación como herramienta de soporte didáctico al aprendizaje de la secuenciación de trabajos en una configuración de producción del tipo *job shop*. La idea surge en el marco del semillero de investigación en simulación de sistemas de producción y de servicios y pretende emplear en el diseño educacional el método de aprendizaje basado en resolución de problemas (*Problem-solving Based Learning*-PBL), utilizar en el diseño computacional la simulación por eventos discretos y en el diseño comunicacional una interfaz sencilla y amigable con el usuario basada en la interacción y el diálogo persona-computador mediante hojas electrónicas.

DESARROLLO METODOLÓGICO

Detección de dificultades en la enseñanza-aprendizaje

Por medio de una encuesta en medio físico se conoció la opinión que tenían 3 profesores asociados a la asignatura taller de producción y logística, acerca de los temas más difíciles de enseñar. Simultáneamente se hizo uso de la plataforma web poll daddy.com para crear y aplicar una encuesta en línea a 62 estudiantes que habían culminado las asignaturas taller. El análisis de los respuestas arrojó, entre otros, los siguientes resultados: los docentes coinciden en que se presentan dificultades en la enseñanza del tema de secuenciación de producción, teniendo este una valoración promedio de 3,33% en una escala de 1 a 5 (siendo 5 más difícil). De otra parte, el 26% de los estudiantes manifiesta que el grado de dificultad en el aprendizaje de este tema se encuentra entre 4 y 5 empleando la misma escala. Finalmente los tres profesores consideran necesario soportar el proceso enseñanza-aprendizaje de los temas impartidos en el taller de producción y logística mediante simulación. Los resultados completos de las encuestas aplicadas con el fin de detectar dificultades en la enseñanza-aprendizaje en las asignaturas taller pueden ser consultados en el sitio web del semillero de investigación: semillerosimulacionps.wordpress.com

Definición del problema

Sin detallar a profundidad el problema de secuenciación de trabajos en un *job shop*, Castrillón et al (2010) consideran que el número de trabajos n y el número de máquinas m se considera finito y computacionalmente tratable. Bajo un ambiente de manufactura *job shop* se da un conjunto J de n trabajos J_1, J_2, \dots, J_n que deben ser procesados en un conjunto M de m diferentes máquinas M_1, M_2, \dots, M_m . Cada trabajo J_j consiste de una secuencia de m_j operaciones $O_{j1}, O_{j2}, \dots, O_{jm_j}$ la cual debe programarse en este orden. Empleando el índice i para denotar las máquinas y j para los trabajos, se definen los siguientes términos: a) tiempo de procesamiento (p_{ij}), si un trabajo j requiere procesamiento en la máquina i , entonces p_{ij} representa el tiempo de procesamiento del trabajo j en la máquina i . Cuando el índice i es omitido, denota que el trabajo j sólo es procesado en una máquina; b) fecha de liberación (r_j): es el momento en el cual un trabajo j puede empezar a ser procesado; c) fecha de vencimiento (d_j): es el momento en el cual se espera que el trabajo j sea terminado. La finalización del trabajo después (o incluso antes) de esta fecha, acarrea un costo; d) peso (w_j): refleja la importancia (prioridad) del trabajo j ; e) fecha de terminación (c_j): momento en que termina de realizarse el trabajo j .

Varios objetivos a lograr en la secuenciación han sido propuestos en la literatura y estudiados por diferentes investigadores. Los objetivos basados en el tiempo son frecuentemente considerados, siendo muy común medir el tiempo total de flujo. En la Tabla 1 se muestra las medidas de desempeño que se han elegido para cuantificar el logro del objetivo en un programa de secuenciación dado.

Tabla 1: Algunas medidas de desempeño en la secuenciación de trabajos

Medida	Significado	Formula
Tiempo total de flujo	Tiempo total requerido para terminar la ejecución de los n trabajos	$tf = \sum c_j$
Retraso del trabajo j	Tiempo de retraso del trabajo respecto a su fecha de entrega	$l_j = c_j - d_j$
Máximo retraso	El máximo tiempo de retraso	$\text{Max} (l_1, \dots, l_n)$
Retraso total	Tiempo de retraso de los n trabajos	$\sum l_j$
Tiempo de flujo del trabajo j	Es la suma de los tiempos de movimiento entre operaciones, tiempos de espera por no disponibilidad de las maquinas, tiempos de proceso (incluyendo tiempos de alistamiento) y retrasos resultantes de fallos en los recursos	$T_j = c_j - r_j$
Inventario en proceso (work-in-process, WIP)	Cualquier trabajo en una línea de espera, en movimiento o en proceso es considerado WIP	$\sum \text{Trabajos en proceso}$
Tasa de utilización de las maquinas	Porcentaje de tiempo que las maquinas permanecen ocupadas	$U = (\text{tiempo en uso} / \text{tiempo de trabajo disponible})$

Estas medidas de desempeño generalmente en un modelo de simulación se expresan en términos de la media y la desviación estándar y a menudo están interrelacionadas. Por ejemplo en un *job shop*, minimizar el tiempo de flujo conlleva a reducir el WIP e incrementar la utilización de las maquinas.

Dada la definición anterior, podríamos afirmar que el problema (sus múltiples instancias) reúne las características típicas de los problemas empleados por PBL: a) corresponde a una situación del mundo real, b) debe ser cercano a quien lo debe resolver, c) que tenga más de una solución, d) que exija pensar la situación, e) la solución del mismo debe proporcionar conocimiento, f) debe exigir búsqueda e interpretación de información, g) algo que produzca resultados evaluables, h) basado en conocimientos existentes y i) que precise de colaboración entre varios estudiantes.

Reglas de secuenciación y medidas de desempeño

Con el fin de garantizar el uso de problemas reales en la aplicación didáctica a realizar se consultó en la literatura reciente algunos casos de aplicación en secuenciación de producción empleando simulación. Así, en el estudio reportado por Ang et al. (2011) se experimenta mediante simulación varias reglas de secuenciación en una empresa real cuyo sistema de producción corresponde a un *job shop*; entre las reglas utilizadas mencionan: *shortest setup time* (SST), *shortest processing time* (SPT), *shortest processing and setup time* (SPST), *earliest due date* (EDD), *least process* (LP), and *lowest volume* (LV), midiendo el desempeño de cada regla mediante el WIP y el tiempo total de terminación entre otras. Sels et al. (2011) comparan y validan 30 reglas de secuenciación en un *job shop* midiendo su desempeño bajo diferentes funciones objetivo. Entre las reglas utilizadas están: FIFO (*First Input, First Output*), LIFO (*Last Input First Output*), LPT (*Long Process Time*), SPT, etc. y como funciones objetivo miden el tiempo medio de flujo, el retraso promedio, el máximo retraso, etc. Tavakkoli-Moghaddam y Daneshmand-Mehr (2005) utilizan un modelo de simulación que mediante el modelamiento de redes minimizan el *makespan* al programar un *job shop* evaluando su desempeño comparando diferentes reglas de secuenciación: FIFO, LIFO, HVF (*Highest Value First*), LVF (*Lowest Value First*), etc. No sobra mencionar que los textos clásicos en ingeniería de producción incluyen capítulos sobre el tema de secuenciación de trabajos en un *job shop*.

Por lo expuesto se han seleccionado las siguientes 4 reglas de secuenciación a utilizar en la aplicación didáctica como material experimental en esta publicación, en razón a su popular uso: FIFO, SPT, EDD y LPT. Pero igualmente, la aplicación está diseñada para medir el desempeño de otras reglas e inclusive de soluciones de secuenciación más sofisticadas, incluyendo técnicas de inteligencia artificial y programación matemática. Como medidas de desempeño se han elegido las siguientes, según las expresiones (1) a (4) y teniendo en cuenta la nomenclatura empleada en la Tabla 1:

$$\text{Tiempo promedio en el sistema } tps = \sum c_j / n \quad (1)$$

$$\text{Tasa de utilización } tu = \sum p_{ij} / tps \quad (2)$$

$$\text{WIP promedio } wip = tps / \sum p_{ij} \quad (3)$$

$$\text{Retraso promedio } rp = \sum T_j / n \quad (4)$$

Es de anotar que las medidas dadas por las expresiones (1) y (4) son de interés desde el punto de vista del cliente y las (2) y (3) son de interés para quien administra el sistema de producción.

Simulación como soporte al aprendizaje

En este punto es claro que el aprendizaje de la secuenciación de trabajos en un sistema de producción configurado en *job shop* requiere un ambiente virtual, dado que experimentar con los sistemas físicos es costoso y lento. Según Fredes et al. (2012) "... cuando en estos ambientes virtuales se agrega la capacidad de simular, el resultado sobre el aprendizaje se incrementa". Parafraseando a estos últimos autores se entiende la simulación como el proceso de diseñar una abstracción de un sistema real (para el caso sistema de producción configurado en *job shop*) que permita experimentar (diversos métodos de secuenciar trabajos) mediante un modelo, que recibe entradas (parámetros de operación como tiempos y secuencia de procesamiento) y genera salidas (medidas de desempeño), que dependen de la observación de los fenómenos (procesamiento de trabajos) del sistema representado. Mientras más fenómenos (tales como tiempos entre fallas y tiempos de reparación de máquinas) se representen del sistema, más preciso será el modelo. El modelo de simulación por computadora de un sistema de producción se puede clasificar como estocástico/determinista, en razón a que algunos parámetros de operación se conocen de antemano y otros tienen variación aleatoria; es dinámico dado que interesa su comportamiento en el tiempo y discreto porque los cambios en las variables de estado del sistema ocurren según se dan los eventos en el tiempo.

En la construcción de modelos de simulación se ofrece en la literatura consultada metodologías universalmente aceptadas. En el presente trabajo se adoptó la propuesta por Banks et al. (2009). Igualmente existen más de 20 paquetes de software de simulación discreta en el mercado que pueden emplearse para simular sistemas de manufactura. Para el caso, el *software* de simulación empleado es Promodel 2011 y hoja de cálculo Excel 2010.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Modelo de simulación

El modelo desarrollado, estructuralmente representa un sistema de producción que consta de 6 máquinas: cortadora (M1), prensa (M2), soldador (M3), fresadora (M4), robot (M5) y estampadora (M6). Operacionalmente el modelo se comporta como un *job shop* y tiene en cuenta las suposiciones i) a la viii) (ver introducción) sugeridas por Vinod y Sridharan (2011). La Figura 1 muestra una representación gráfica del modelo de simulación en el que se connotan las máquinas, rutas de producción y valores de desempeño que se muestran durante la simulación.

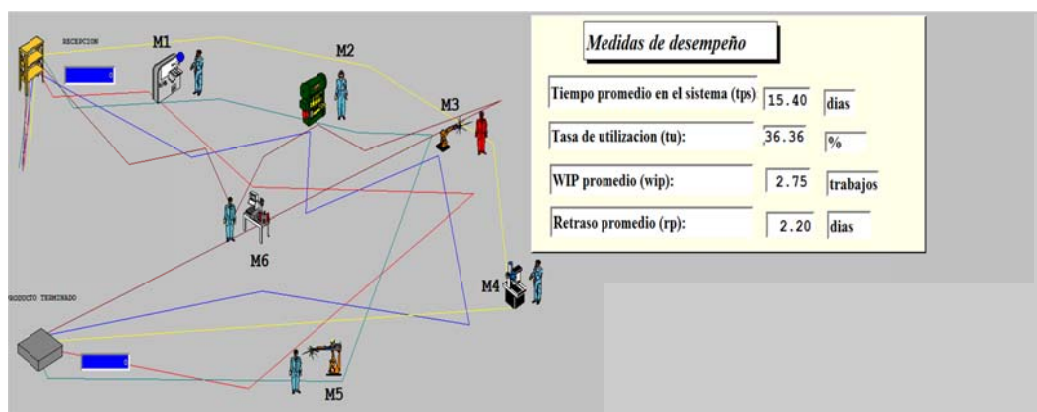


Fig. 1: Representación gráfica del modelo de simulación.

Este modelo debe permitir simular muy diversas instancias del problema, dado que la estrategia educativa PBL procura que el alumno se vea enfrentado a problemas concretos y prácticos en el transcurso de la asignatura. Es por esto que el modelo debe ser flexible en relación a permitir que el discente manipule muy diversas variantes (instancias) del problema de secuenciación, para lo cual se desarrollaron interfaces a través de Excel. La Tabla 2 muestra la interfaz para entrar los tiempos de procesamiento de los trabajos J1, J2, J3, J4 y J5 en cada una de las máquinas. Si un trabajo no se procesa en alguna máquina, se deja en blanco la respectiva celda (caso J2 en prensa). Estos tiempos pueden ser determinísticos (caso trabajo

J1 en máquinas cortadora y torno) o aleatorios como se expone para demás trabajos (según distribución triangular con mínimo 13, moda de 16 y máximo de 19).

Tabla 2: Datos de entrada sobre tiempos de procesamiento.

Maquinas	Trabajos				
	J1	J2	J3	J4	J5
Cortadora	3	T(13,16,19)	T(13,16,19)	T(13,16,19)	T(13,16,19)
Prensa	T(13,16,19)		T(13,16,19)	T(13,16,19)	T(13,16,19)
Soldador	T(13,16,19)	T(13,16,19)	T(13,16,19)	T(13,16,19)	T(13,16,19)
Fresadora	T(13,16,19)		T(13,16,19)		
Torno	5	T(13,16,19)		T(13,16,19)	
Estampadora	T(13,16,19)	T(13,16,19)			T(13,16,19)

La Tabla 3 muestra la interfaz a través de Excel para entrar la secuencia de procesamiento de los trabajos a simular. En esta interfaz la columna *Momento* corresponde a la fecha de liberación del trabajo j (r_j), *Ocurrencias* corresponde al número de trabajos que se liberan a la vez, *Frecuencia* denota el tiempo entre arribos de los trabajos y *Día Entrega* corresponde a la fecha prometida de entrega del trabajo j (d_j). La columna *Secuencia* indica el orden en que se procesaran los trabajos según la regla a simular: FIFO, SPT, EDD o LPT (u otra), teniendo presente que FIFO está basada en la fecha de liberación del trabajo j (r_j), SPT y LPT están relacionadas con el tiempo de procesamiento del trabajo j y EDD de acuerdo a la fecha de entrega d_j .

Tabla 3: Datos de entrada sobre los trabajos y su secuencia de procesamiento.

Trabajo	Lugar	Cantidad	Momento	Ocurrencias	Frecuencia	Secuencia	Día Entrega
J2	Recepción	1	0	1		1	6
J4	Recepción	1	0	1		2	15
J1	Recepción	1	0	1		3	8
J3	Recepción	1	0	1		4	18
J5	Recepción	1	0	1		5	23

La Figura 2 ilustra como el modelo de simulación solicita al usuario la regla de secuenciación a simular y le pregunta si va a iniciar una nueva instancia del problema o continuar con una ya registrada. El usuario debe seleccionar esta última opción cuando requiera comparar varias reglas de secuenciación para un mismo problema en términos de las expresiones (1) a (4).



Fig. 2: Menú de interacción con el usuario.

El modelo simula el sistema real de producción mostrando de manera animada el flujo de los trabajos a través de cada una de las maquinas, con lo cual se espera que mediante esta representación grafica el estudiante comprenda mejor la dinámica de estos sistemas. Al finalizar la simulación, la salida generada por el modelo se hace a través de 2 hojas Excel. La primera hoja muestra: cada trabajo j , la regla de secuenciación empleada, el momento de liberación r_j y el tiempo de flujo del trabajo, c_j . La segunda hoja muestra de manera resumida por cada regla de secuenciación las medidas de desempeño descritas por las expresiones (1) a (4), con el fin de que el estudiante pueda hacer un análisis comparativo de las diferentes reglas.

Los lectores interesados en conocer el código fuente del modelo de simulación, las interfaces de entrada/salida en Excel, los datos y resultados de simular una instancia del problema e instrucciones de uso pueden ver/descargar estos del sitio: semillerosimulacionps.wordpress.com

Experimentando con una instancia del problema

Por cuestiones de espacio y con el fin que el lector pueda verificar los cálculos mentalmente, se describe y discute a continuación los resultados obtenidos al simular una instancia del problema consistente en secuenciar 5 trabajos en una máquina y cuya solución detallada (cálculo manual) puede ser consultada en el sitio web con dirección <http://semillerosimulacionps.files.wordpress.com/2013/02/class-18-production-scheduling.pdf>. Los trabajos a secuenciar son 5 (J1 a J5) con tiempos de procesamiento en cada máquina (en días) según se muestra en la Tabla 4 (corresponde a hoja en Excel con la que interactúa el modelo de simulación).

Tabla 4: Tiempos de procesamiento de los trabajos para una instancia del problema.

Maquinas	Trabajos				
	J1	J2	J3	J4	J5
M1	6	2	8	3	9
M2	0	0	0	0	0
M3	0	0	0	0	0
M4	0	0	0	0	0
M5	0	0	0	0	0
M6	0	0	0	0	0

Mediante la hoja Excel mostrada en la Tabla 5, se proporciona al modelo de simulación los siguientes datos de los trabajos: lugar en el sistema al que arriban, momento de liberación del trabajo, número de trabajos a simular, secuencia de producción (para el caso de la tabla corresponde a la regla LPT) y fecha prometida de entrega de cada trabajo (en días).

Tabla 5: Datos de entrada sobre los trabajos para una instancia del problema.

Trabajo	Lugar	Cantidad	Momento	Ocurrencias	Frecuencia	Secuencia	DiaEntrega
J5	Recepción	1	0	1		5	23
J3	Recepción	1	0	1		4	18
J1	Recepción	1	0	1		3	8
J4	Recepción	1	0	1		2	15
J2	Recepción	1	0	1		1	6

Al proporcionar al modelo de simulación además de los datos mostrados en las Tablas 4 y 5, los correspondientes a las reglas de secuenciación FIFO, SPT y EDD, la simulación genera en Excel la salida detallada mostrada en la Tabla 6, en la cual se expone por cada regla de secuenciación y trabajo: el momento de liberación, el tiempo de flujo, la fecha prometida de entrega y el tiempo de retraso. Con esta información de salida se espera que los estudiantes discutan y analicen aspectos como: la conveniencia de liberar un trabajo en un momento específico; bajo cual regla de secuenciación un determinado trabajo se termina más prontamente, mas tardíamente; cuales trabajos se terminaron anticipadamente, cuales en la fecha prometida de entrega y cuales con algún retraso, entre otros.

Tabla 6: Datos de salida detallados para una instancia del problema.

Regla	Trabajo	r_i	c_i	d_i	l_i
FIFO	J1	0.00	6.00	8.00	0.00
FIFO	J2	0.00	8.00	6.00	2.00
FIFO	J3	0.00	16.00	18.00	0.00
FIFO	J4	0.00	19.00	15.00	4.00
FIFO	J5	0.00	28.00	23.00	5.00
SPT	J2	0.00	2.00	6.00	0.00
SPT	J4	0.00	5.00	15.00	0.00
SPT	J1	0.00	11.00	8.00	3.00
SPT	J3	0.00	19.00	18.00	1.00
SPT	J5	0.00	28.00	23.00	5.00
EDD	J2	0.00	2.00	6.00	0.00
EDD	J1	0.00	8.00	8.00	0.00
EDD	J4	0.00	11.00	15.00	0.00
EDD	J3	0.00	19.00	18.00	1.00
EDD	J5	0.00	28.00	23.00	5.00
LPT	J5	0.00	9.00	23.00	0.00
LPT	J3	0.00	17.00	18.00	0.00
LPT	J1	0.00	23.00	8.00	15.00
LPT	J4	0.00	26.00	15.00	11.00
LPT	J2	0.00	28.00	6.00	22.00

Igualmente se genera en Excel un resumen de las medidas de desempeño (según expresiones (1) a (4)) por regla de secuenciación, lo cual se ilustra en la Tabla 7. Con esta información de salida se espera que los estudiantes discutan y analicen aspectos como: existe una regla que supere a las demás en todas las medidas de desempeño; cual regla tiene un mejor desempeño en relación con el cliente y cual en relación con el empleo eficiente de los recursos; cual secuencia en el procesamiento de los trabajos minimiza simultáneamente el tiempo de flujo y el número de trabajos en el sistema; cual regla conlleva al mínimo incumplimiento en la entrega de los trabajos a los clientes; cual implica la máxima utilización de los recursos; etc. En síntesis, con esta salida resumida se pretende que el discente aprenda que el problema de la secuenciación de la producción implica un análisis multi objetivo que conlleva a investigar cuales deben ser los valores de las variables de decisión (r_j , d_j , c_j) más apropiados para alcanzar varios objetivos simultáneamente (tps, tu, wip y rp).

Tabla 7: Datos de salida resumidos para una instancia del problema.

Regla	Tps	Tu	Wip	Rp
FIFO	15.40	36.36	2.75	2.20
SPT	13.00	43.08	2.32	1.80
EDD	13.60	41.18	2.43	1.20
LPT	20.60	27.18	3.68	9.60

Si en verdad se tiene un enfoque de aprendizaje basado en problemas, el docente podría invitar a los discentes a que investiguen y estudien otras reglas de secuenciación ya probadas (más de 30 según la literatura disponible). Inclusive, podría motivarlos a conocer estudios más avanzados en programación de producción (*Scheduling*) que cubre un amplio espectro de investigación cuyos resultados son constructos de conocimiento más elaborados y avanzados: heurísticas, algoritmos genéticos, redes neuronales, recocido simulado, sistemas expertos, agentes inteligentes, etc., por ejemplo ver a Ruiz et al. (2012) y Castrillon et al. (2011).

Dado que el programa de simulación Promodel ofrece una muy variada salida, el estudiante que conozca la operación de este *software* puede obtener información gráfica y tabular muy detallada sobre lo que ocurrió durante la simulación, en términos de otras medidas de desempeño.

Finalmente se invitó a profesores que orientan la asignatura y estudiantes que la cursaron, a usar el modelo didáctico y contestar una encuesta piloto en línea, con el objetivo de conocer de manera preliminar su opinión sobre la herramienta elaborada. En el sitio del semillero se puede ver sus resultados (a abril de 2013), connotándose que el 84.6% de los estudiantes consideraron estar altamente satisfechos respecto al empleo del modelo de simulación como soporte al aprendizaje de la secuenciación de producción y el 66.7% de los profesores, como soporte a la enseñanza del mencionado tema. Se espera que del sitio <http://semillerosimulacionsps.wordpress.com> se descargue y use la herramienta, además de diligenciar la encuesta en línea con el fin de ir midiendo el aporte del trabajo.

CONCLUSIONES

De los resultados expuestos, de su análisis y discusión se pueden obtener las siguientes conclusiones:

Una manera de aprender sobre secuenciación de trabajos en un sistema de producción lo constituye la experimentación con el sistema real, lo cual acarrea costos relacionados con visitas industriales, consumo de tiempo escolar, incurrir en ciertos riesgos asociados a posibles errores derivados de una incorrecta experimentación, entre otros. Otra forma de hacer lo mismo sería el representar el sistema mediante un modelo valido en computadora del sistema y experimentar (simular) con este desde la comodidad del aula, permitiendo la visualización de grandes espacios (sistema real) en una pequeña pantalla, la aceleración del tiempo para conocer prontamente los resultados en términos de medidas de desempeño y sobre todo poder cometer errores sin que esto implique sanción alguna, sea moral o económica.

Al entenderse la didáctica como la disciplina científico-pedagógica que tiene como objeto de estudio los procesos y elementos existentes en la enseñanza y el aprendizaje, concluimos que el ideal es que sus respectivos protagonistas: el docente y el discente, son los llamados no solamente a detectar problemas en dichos procesos y elementos, sino a plantear soluciones a los mismos. De hecho consideramos que el trabajo presentado en el marco de un semillero de investigación en aplicaciones didácticas en sistemas de producción y de servicios es un indicador de la necesidad de dicho protagonismo.

Por último los autores, con base en la literatura revisada, intuyen que se vienen cambios profundos en nuestra forma de aprender, quizás influenciados enormemente por el papel que actualmente (y hacia el futuro) desempeñan las TICs en la educación e invitan al maestro iberoamericano a que reflexione sobre la impactante frase del profesor David Warlick: “Las sillas anclaron a los estudiantes, el pizarrón ancló al maestro, los libros de texto anclaron el contenido, las calificaciones anclaron la atención de los alumnos y familias, enseñar lo mismo cada año, del mismo modo, ancló el concepto de lo que es un maestro”.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean dar reconocimiento a la Universidad Nacional de Colombia a través de la Dirección de Investigaciones (DIMA) por su apoyo económico e institucional al desarrollo de esta investigación (Proyecto: “Semillero de investigación en simulación de sistemas de producción y de servicios. Aplicaciones didácticas”, (código Hermes 15578).

REFERENCIAS

- Ang, L., Yew W. K. y Peng W. W. *Simulation of Sequencing Rules Using Witness in a Milling Job Shop*, Communications of the IBIMA <http://www.ibimapublishing.com/journals/CIBIMA/cibima.html>, Vol. 2011, Article ID 402089, 6 pages DOI: 10.5171/2011.402089. (2011).
- Banks J.; Carson J.; Barry L. N. y Nicol D. *Discrete-Event System Simulation*. Fifth Edition. Prentice Hall. N.Y. (2009).
- Castrillón, O., Giraldo J., Sarache W., *Técnicas inteligentes y estocásticas en schedulling. Un enfoque en la producción y las operaciones*. Bogotá. Editorial Universidad Nacional de Colombia. (2010).
- Castrillón, O., Sarache, W. y Giraldo, J: *Aplicación de un Algoritmo Evolutivo en la Solución de Problemas Job Shop-Open Shop*. Información Tecnológica., vol.22, no.1, p.83-92. (2011).
- Cistac, G. I.; Bongianino, R. H.; Filippi, J. L. y Kovac, F. D. *La Simulación como Medio de Interrelación entre Herramientas Matemáticas y Procesos Tecnológicos*, Form. Univ. [online], vol.2, n.5, pp. 3-12 (2009).
- Costantino, F., Di Gravio, G., Shaban, H. y Tronci M. *A simulation based game approach for teaching operations management topics*. Actas de Winter Simulation Conference, USA Diciembre (2012).
- Echeverría, J.: *Un mundo virtual*. Barcelona. Plaza & Janés. (2000).
- Figuera, J. R., García, A., Ortega, M. *Empleo del ordenador como herramienta para las enseñanzas de Organización de la Producción y de Métodos Cuantitativos de Organización*, 389-400, VIII Congreso de Ingeniería de Organización, Leganés (2004).
- Fredes, C. A.; Hernandez, J. P. y Diaz, D. A. *Potencial y Problemas de la Simulación en Ambientes Virtuales para el Aprendizaje*, Form. Univ. [online]. vol.5, n.1, pp. 45-56 (2012).
- Garcia, H., Garcia, E., *Enhancing simulation as improvement and decision support system tool*, Actas de Winter Simulation Conference, 2549-255, USA Diciembre (2008).
- Grabis, J., Chandra, C. *Process simulation environment for case studies*. Actas de Winter Simulation Conference, 317-326, USA Diciembre (2010).
- Grané, M; Muras, MA. *Second Life, entorno virtual, aprendizaje real*. A: Actas Electrónicas del III Congreso ONLINE del Observatorio para la Cibersociedad. Barcelona. Noviembre (2008).
- Ingalls, R. G., Cornejo, M., Methapatara, C. *Integrating simulation and optimization research into a graduate supply chain modeling course*. Actas de Winter Simulation Conference, 2527-2533, USA Diciembre (2008).
- Kincaid, J. P., Westerlund, K. K. *Simulation in education and training*. Actas de Winter Simulation Conference, 263-280, USA Diciembre (2009).
- Latasa, I., Lozano, P. y Ocerinjauregi, N. *Aprendizaje Basado en Problemas en Currículos Tradicionales: Beneficios e Inconvenientes*, Form. Univ. [online]. vol.5, n.5, pp. 15-26 (2012).

- Lee, W. L. *Spreadsheet based experiential learning environment for project management*. Actas de Winter Simulation Conference, 3882-3892, USA Diciembre (2011).
- Mariño, S. I. López M. V. y Alderete, R. Y. *Evaluación formativa en la asignatura Modelos y Simulación. Experimentación mediante la generación de software*. Revista Iberoamericana de Educación (2012).
- Márquez, I. V. *La simulación como aprendizaje: educación y mundos virtuales*. Actas II Congreso Internacional Comunicación 3.0, 1-10. Madrid, octubre, (2010).
- Munoz-Cano, J. M., Cordova, J. A. y Priego, H. *Dificultades y facilidades para el desarrollo de un proceso de innovación educativa con base en las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC)*. Form. Univ. [online]. vol.5, n.1, pp. 3-12. (2012).
- Mustafee, N., Katsaliaki, K. *The blood supply game*. Actas de Winter Simulation Conference, 327-338, USA Diciembre (2010).
- Pidd, M., Robinson, S., Davies, R., Hoad, K. *Phd training in simulation: NATCOR*. Actas de Winter Simulation Conference, 339-343, USA Diciembre (2010).
- R. Tavakkoli-Moghaddam, M. Daneshmand-Mehr, *A computer simulation model for job shop scheduling problems minimizing makespan*, Computers & Industrial Engineering 48, 811–823 (2005).
- Ruiz, S., Castrillón, O. D.; Sarache, W. A. *Una Metodología Multiobjetivo para Optimizar un Ambiente Job Shop*. Información Tecnológica. [online]. ISSN 0718-0764. 2012, vol.23, n.1, pp. 35-46. Disponible en: <http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v23n1/art05.pdf> (Consultado en Enero 14 de 2012). (2012).
- Saez, P. D. y Monsalve, C. E. *Aprendizaje Basado en Resolución de Problemas en Ingeniería Informática*. Form. Univ. [online]. vol.1, n.2, pp. 3-8. (2008).
- Sels, V., Vanhoucke, M., Nele G. *A comparison of priority rules for the job shop scheduling problem under different flow time- and tardiness-related objective functions*, International Journal of Production Research, DOI : 10.1080/00207543.2011.611539. (2011).
- Ståhl I. *Teaching simulation to business students. Summary of 30 years' experience*. Actas de Winter Simulation Conference, 2327-2335, USA Diciembre (2007).
- Tobail, A., Crowe, J., Arisha, A. *Learning By Gaming: Supply Chain Application*. Actas de Winter Simulation Conference, 3893-3899, USA Diciembre (2011).
- Turkle, S.: *La vida en la pantalla. La construcción de la identidad en la era de Internet*. Barcelona: Paidós, (1997).
- Universia. <http://estudios.universia.net/argentina/carrera/itba-simulacion-gestion-operaciones-proyectos>. (2013). Consultado en mayo 6 de 2013.
- Tobail, A., Crowe, J., Arisha, A. *Learning By Gaming: Supply Chain Application*. Actas de Winter Simulation Conference, 3893-3899, USA Diciembre (2011).
- Van der Zee, D. J., Holkenborg, B. *Conceptual modelling for simulation-based serious gaming*. Actas de Winter Simulation Conference, 522-534, USA Diciembre (2010).
- Vinod, R., Sridharan N. *Simulation modeling and analysis of due-date assignment methods and scheduling decision rules in a dynamic job shop production system*, Int. J. Production Economics 129 (2011) 127–146, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.08.017>. (2011).
- Zhou, L., Xie Y., Wild, N. *Learning and practising supply chain management strategies from a business , simulation game: a comprehensive supply chain simulation*. Actas de Winter Simulation Conference, 2534-2542, USA Diciembre (2008).