

Mejora de decisiones para la secuenciación de procesos mediante el uso de un simulador

Ing. Leopoldo Viveros Rosas
Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, Coacalco Edo. Mex.
liverosr@hotmail.com

Ing. Rebeca Díaz Téllez
Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, Coacalco Edo. Mex.
rbkdiaz@hotmail.com

Dr. Mario Luis Chew Hernández
Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, Coacalco Edo. Mex.
mchew@tesco.edu.mx

Área de participación: Ingeniería Industrial

Resumen

El presente trabajo presenta como el entrenamiento con un simulador, que captura la esencia de una problemática real, puede mejorar la toma de decisiones por parte de planeadores de la producción referentes a problemas de secuenciación. Se utiliza una PYME como caso de estudio y se muestra parte del uso del simulador desarrollado. Además del desarrollo del simulador se busca que el usuario adquiera habilidades para tomar mejores decisiones cuando se enfrente a problemas de secuenciación, mismas habilidades que puede obtener con experiencia en el mismo campo laboral. La parte experimental con el simulador se divide en dos fases. Los resultados de la fase I muestran una mejora en el conocimiento del problema por parte de los usuarios del simulador, mientras que la fase dos muestra como por medio de la experiencia adquirida obtienen una mejor secuencia para la producción.

Palabras clave: Simulación, entrenamiento, decisiones, producción.

Introducción

1.1 Antecedentes

Generalmente, los problemas de secuenciación son tratados por modelos de optimización de investigación de operaciones, en los cuales se trata de encontrar la programación adecuada de n -trabajos en m -máquinas (Winston, 2005; Gaither, 2000) para obtener la producción demandada. Dichos modelos de optimización requieren de ciertas limitantes en las variables del problema tales como tiempo de proceso determinístico, tiempo de montaje despreciable, no consideran los rechazos por calidad, etc. Se han desarrollado algoritmos específicos para resolver algunos problemas especiales de secuenciación (Rimas-Vila et al, 2009; Paternina Arboleda, 2000), pero en la práctica la toma de decisiones en este tipo de problemas requiere de una respuesta rápida a los sucesos que se presenten dentro de la producción diaria, y en el caso de muchas de PYMES, estas no cuentan con el tiempo o software para desarrollar una solución óptima, debido a la demanda tan cambiante en sus productos. Las PYMES resuelven el problema de secuenciación recurriendo a expertos en programación de producción, quienes han ganado experiencia a través del tiempo y con mucho sacrificio humano y económico, es decir, el experto se forma a través del tiempo y la experiencia al enfrentarse repetidamente a problemas de secuenciación de n -trabajos en m -máquinas.

Con la disminución de los costos en tiempo de computación así como el creciente desarrollo de computadoras mas robustas, la simulación de procesos se ha vuelto cada vez más popular y se ha convertido en un auxiliar muy importante para la toma de decisiones (Castrillón, 2008; Montagna, 2008); la mayoría de las aplicaciones de la simulación de procesos en ingeniería industrial se encuentran orientadas a la optimización de diseño, distribución de planta, desarrollo de nuevos

materiales, etc.

La simulación se utiliza en otras áreas, tales como la industria militar o procedimientos médicos, para el entrenamiento y la adquisición de habilidades específicas (Critical Care Nurse, 2009; Fiske, 2007; Jannink, 2008; Langhan, 2008; Lo, 2009; Von Wyl, 2009; Weller, 2005; Kneebone, 2009) bajo la premisa de que la práctica hace al maestro (Nobisso, 2008). En este sentido, el objetivo del presente trabajo es explorar el potencial del entrenamiento en un simulador para crear habilidades en los estudiantes de Ingeniería Industrial para la programación y secuenciación de producción.

1.2 Delimitación del trabajo

En este trabajo se presentan los resultados del uso del simulador para entrenar a estudiantes de ingeniería industrial para resolver problemas de secuenciación. Se consideran dos diferentes fases dentro del entrenamiento. En la primera fase el individuo se familiariza con el problema de secuenciación y con el simulador; en la segunda fase se mide el aprendizaje individual para la resolución de problemas de secuenciación.

CASO DE ESTUDIO

2. Desarrollo del Simulador y Fases del entrenamiento

2.1 Descripción del caso de estudio

A fin de que los estudiantes enfrentaran un problema de secuenciación de complejidad real, el simulador se construyó en base a datos reales de una PYMES local dedicada, entre otras cosas, a la producción de filtros de gasolina para automóvil. Esto no implica una pérdida de generalidad con otros problemas de secuenciación ya que la mayoría de las PYMES que producen n-artículos en diferentes procesos llevan una producción en serie y por lotes. Se ha mostrado que las habilidades que una persona adquiere en el entrenamiento por simulación de escenarios reales puede ser utilizada en la toma de decisiones en situaciones reales (Domuracki, 2009; Military & Aerospace Electronics, 2010; U. S. Naval Institute Proceedings, 2005; FBI Law Enforcement Bulletin, 2007; Burlacu, 2008; Spellman, 2008).

La PYMES en cuestión tiene capacidad de producción de 13500 filtros por día con 50 personas trabajando en área de producción en dos turnos; se trabaja diez modelos diferentes de filtros en 23 prensas (troqueladoras). La Figura 1 muestra la distribución en planta de las prensas.

Cada uno de los diez modelos que se producen requiere de una secuencia de proceso – llamados pasos - para la cual se colocan troqueles (herramientas); diferentes prensas pueden realizar diferentes pasos de diferentes modelos pero únicamente se cuenta con un troquel para cada paso. La Tabla 1 muestra el número de pasos que requiere cada modelo así como la prensa donde cada paso puede realizarse.

Tabla 1. Pasos por modelo y Prensas donde puede realizarse

MODELOS	PASOS	PASO 1						PASO 2			PASO 3				PASO 4			PASO 5	PASO 6	
02VPA1011	4	P48	P25	P37		P66	P67	P38	P23		P60	P75	P76		P63	P77	P78			
02VPA1019	5	P48	P25	P37		P66	P67	P23	P38	P99	P47				P63	P77	P78	P97		
02VPA1028	6	P48	P25	P37		P66	P67	P49	P105		P68				P63			P73	P78	P65
02VPA1037	4	P48	P25	P37	P40	P66	P67	P38	P73	P99	P47	P73	P75	P76	P63	P77	P78			
02VPA10168	6	P48	P25	P37		P66	P67	P23	P105		P47	P60	P68		P63	P105		P73	P78	P65
02VPF0008	3	P48	P25	P37		P66	P67	P65			P60	P75	P76							
02VPF0011	4	P48	P25	P37		P66	P67	P23	P38		P47	P73	P75		P63	P77	P78			
02VPF0012	4	P48	P25	P37		P66	P67	P23	P38	P99	P47				P63	P77	P78			
02VPF0027	4	P48	P25	P37	P40	P66	P67	P38	P73	P99	P47	P73	P75	P76	P63	P77	P78			
02VPF0040	6	P48	P25	P37		P66	P67	P46	P49		P47	P60			P63	P77		P73	P78	P65

Por mencionar un modelo como ejemplo: para el modelo 02VPF0011 la secuencia requerida es de 4 pasos, de los cuales el paso 1 puede hacerse en cualquiera de las prensas P48, P25, P37, P66 o P67; el paso 2 en las prensas P23 o P38; el paso 3 en las prensas P47, P73 o P75 y por último el paso 4 en

las prensas P63, P77 o P78. Dependiendo del modelo de filtro de gasolina es el número de pasos requeridos. El primer paso se le llama corte de blank y primer embutido, aquí se corta la lámina que llega en rollos y en algunos modelos se hace el primer embutido. El segundo y tercer pasos realizan una disminución del diámetro de la pieza y aumentan la longitud del filtro. El cuarto paso corta el excedente del material que queda alrededor de la pieza dejando el filtro con el diámetro requerido. Finalmente, el quinto paso es el punzonado, En cuanto a la demanda de filtros, de siete modelos llegan pedidos mensualmente. Usando datos históricos de las órdenes de trabajo se obtuvieron las distribuciones de probabilidad mostradas en la Tabla 2, donde $N(\mu, \sigma)$ indica una distribución normal con promedio μ y desviación estándar σ .

Tabla 2. Distribuciones de probabilidad para las órdenes de producción mensual.

MODELO	Distribución de probabilidad para la demanda mensual
02VPA1011	$N(20500,500)$
02VPA1019	$N(62000,350)$
02VPA1028	$N(41000,500)$
02VPA1037	$N(59000,500)$
02VPF0011	$N(22000,500)$
02VPF0012	$N(26500,250)$
02VPF0027	$N(20000,500)$

Los tres modelos restantes pueden o no recibir pedidos semanales durante las tres primeras semanas del periodo de un mes; todos los pedidos deben surtir dentro del periodo solicitado.

Tabla 3. Distribuciones de probabilidad para las órdenes de producción semanal.

MODELO	Distribución de probabilidad para la demanda semanal
02VPA10168	$N(6250,250)$
02VPF0008	$N(5400,300)$
02VPF0040	$N(5000,100)$

La línea de producción se considera balanceada ya que todas las prensas cuentan con la misma capacidad de producción. Usando datos de los registros de bitácora de cada prensa se obtuvieron las distribuciones de probabilidad de la producción por hora de cada prensa, y el tiempo de montaje del troquel así como la puesta en marcha de la producción, las cuales incluyen los retrasos, rechazos de calidad, scrab, etc. La distribución de probabilidad para la producción por hora se estableció como $N(390, 25)$ piezas x hora y para el tiempo de montaje y puesta en marcha $U(50,100)$ minutos por montaje, donde $U(a,b)$ indica una distribución uniforme entre los números a y b.

2.2 Fases de entrenamiento

A continuación, se describen las etapas de la adquisición de habilidades mediante el uso del simulador.

2.2.1 Fase I: Entrenamiento para entender el problema

Aquí, sujetos experimentales, alumnos de Ingeniería Industrial, enfrentan individualmente el problema de secuenciación presentado por el simulador. Cada alumno tomará el papel del ingeniero de piso que debe decidir la secuencia en la que se trabajará la serie de pedidos del mes, buscando el cumplimiento de las demandas en tiempo. La medida del nivel de habilidad del estudiante estará dada por el número de incumplimientos o penalizaciones incurridas en cada ronda de simulación así como el superávit obtenido. En esta fase el alumno muestra un mejor desempeño porque gana familiaridad con el

simulador y con la naturaleza del problema de secuenciación. Cabe hacer notar que en esta fase la demanda de cada modelo de filtro se maneja relajada para no complicar el conocimiento del problema.

2.2.2 Fase II: Entrenamiento para la mejora de decisiones

En esta fase se usa el simulador para que los estudiantes generen escenarios con datos de demanda ya con las distribuciones de probabilidad calculadas. Se les pide que registren la demanda y la producción de cuatro periodos cuatro veces, con esto se tienen 16 planes de producción. En esta fase la mejora en el desempeño se debe a un incremento real en la habilidad para atacar el problema de secuenciación. Siendo un problema de producción se busca que en cada escenario el superávit sea menor siempre cumpliendo con la demanda.

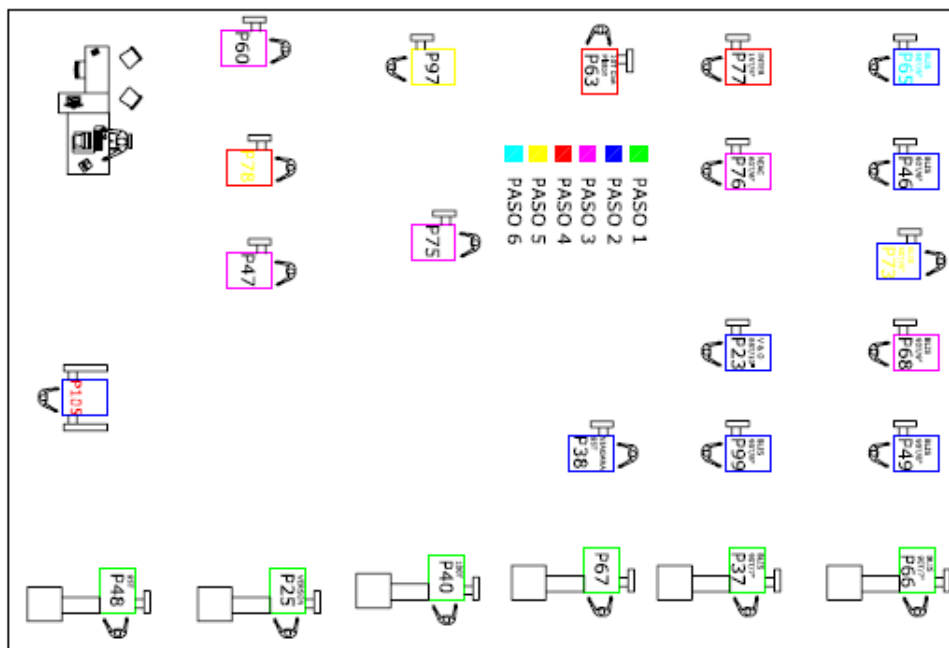


Figura 1. Distribución de planta

Materiales y métodos

3. USO DEL SIMULADOR

El simulador se realizó en hojas de cálculo de EXCEL, bajo la premisa que la mayoría de las PYMES aun cuando no cuenten con un software específico para resolver sus problemas de planeación de producción si cuentan con estas hojas de cálculo, así las habilidades que el estudiante adquiera no se verán disminuidas por el uso de un software especializado.

Para la simulación se cuenta con los siguientes datos:

1. Distribución de probabilidad para las órdenes de producción de cada modelo de filtro (10 modelos diferentes de los cuales siete se piden con regularidad cada mes y tres semanalmente).
2. Distribución de probabilidad para el tiempo de montaje y preparación de máquina.
3. Distribución de probabilidad para la cantidad de producción por hora.
4. Pasos de producción factibles por prensa.
5. Distribución de cada una de las máquinas para la producción.

Básicamente la lógica del simulador es la siguiente:

1. Generar demanda para cada modelo de filtro de gasolina muestreando las distribuciones de probabilidad descritas en la Tabla 1.

MODELO	DEMANDA PRINCIPALES					
	PERIODO 1	PERIODO 2	PERIODO 3	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 6
02VPA1011	19820	19673	20018	21193		
02VPA1019	60073	60563	59945	59512		
02VPA1028	40806	40885	40523	41576		
02VPA1037	58380	59272	59158	58451		
02VVPF0011	22359	21068	21858	21338		
02VVPF0012	26661	26611	27013	26849		
02VVPF0027	20735	20412	19937	18461		

MODELO	PERIODO 1	PERIODO 2	PERIODO 3	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 6	
02VPA10168	6111	0	0	0			SEMANA 1
	0	6375	0	6268			SEMANA 2
	6404	6239	0	6067			SEMANA 3
02VVPF0008	0	0	6015	0			SEMANA 1
	0	0	0	0			SEMANA 2
	5801	5254	5569	0			SEMANA 3
02VVPF0040	5090	0	5057	0			SEMANA 1
	0	0	0	0			SEMANA 2
	0	0	0	4917			SEMANA 3

Figura 2. Simulación de demandas

En la Figura 2 se puede observar un ejemplo de los pedidos simulados por periodo mensual y las demandas extraordinarias por semana, todo esto hasta el periodo 4. Siendo los periodos de 20 días, al inicio de cada periodo – digamos día cero – se simulan los pedidos para el periodo 1 de los siete modelos con pedidos mensuales y los pedidos de la primer semana para el periodo 1 de los tres modelos con pedidos semanales.

2. Se le pide al estudiante que realice su planeación respetando la factibilidad de proceso y de máquina. Se le proporciona el siguiente cuadro de planeación.



Figura 3. Plan de producción

En el cuadro para la planeación de la producción se encuentran todas las prensas con las que se cuenta y los espacios en blanco permiten al estudiante colocar únicamente la cantidad de modelos diferentes que se puedan producir, así por ejemplo, la prensa P76 para el paso 3 únicamente permite

los estudiantes acomoden los nuevos pedidos en su planeación inicial según vayan avanzando en el tiempo.

Resultados y discusión

4. RESULTADOS

En una primera etapa se corrió una simulación con diez estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial de 6^o y 8^o semestre. La siguiente gráfica muestra el número de días empleados por cada sujeto (jugador) para satisfacer los pedidos de producción en cada uno de los periodos. De los diez estudiantes voluntarios que participaron, ocho cumplieron con la demanda de tres periodos y dos de ellos no entregaron sus hojas de planeación motivo por el cual no se incluyen en los resultados. Se puede observar que la primera fase de formación de su conocimiento es referente a la comprensión del problema, es decir, primero deben entender claramente el problema al que se enfrentan, en este caso el problema de secuenciación. También se puede observar un cambio de planeación entre el plan del periodo 1 y el plan del periodo 3.

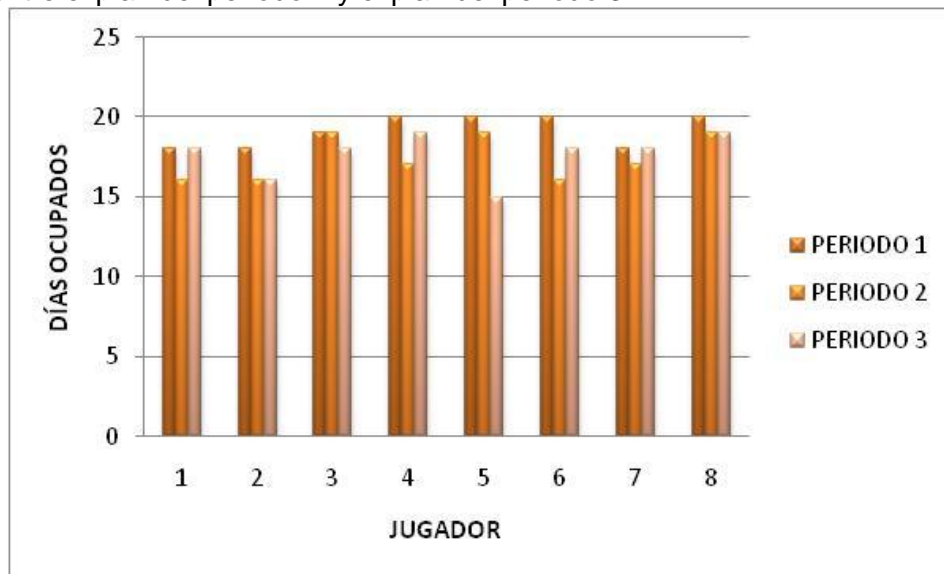


Figura 6 – Tiempos empleados para satisfacer pedidos de producción

Una vez que los sujetos comprenden el problema se les pide que generen sus escenarios y registren sus datos. De los ocho participantes, uno obtuvo déficit en la mayoría de sus periodos generados pero este fue disminuyendo tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4. Periodos con déficit del jugador 7

jugador 7 Periodos con déficit	periodo 1	periodo 2	periodo 3	periodo 4
Escenario 1	X	X	X	
Escenario 2		X	X	
Escenario 3	X	X		
Escenario 4			X	

En este caso se puede observar que su aprendizaje con el simulador le sirvió para disminuir los periodos con déficit. En el resto de los jugadores se observa una disminución en el superávit promedio por periodo y por escenario, se penalizan los periodos con déficit para que no marque una ventaja en el cálculo de los promedios. La siguiente gráfica representa el superávit obtenido por jugador, por periodo y por escenario.

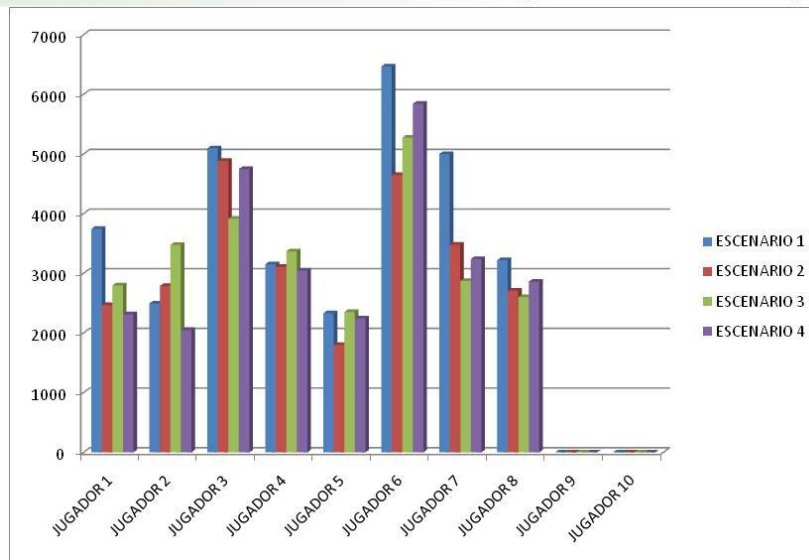


Figura 6. Resultados del superávit promedio obtenido por los jugadores

Conclusiones

5. CONCLUSIONES

Se puede observar que aun cuando no se les indicó a los participantes de la simulación la métrica a utilizar (disminución del superávit) el 87.5% consiguió una mejora en este indicador; esto nos permite proponer que con un simulador de tamaño real se pueden obtener planeadores de la producción con experiencia (simulada) en problemas de secuenciación de procesos. Actualmente el simulador se encuentra en proceso de mejora para generar distintas métricas y una mayor cantidad de escenarios. Es muy pronto para dar un resultado final pero, de seguir esa tendencia, se validaría el uso de simuladores como una herramienta en la formación de Ingenieros Industriales como ha sido en otras áreas de formación (Wilford, 2006; Antonoff, 2008).

Referencias

1. Military & Aerospace Electronics. (2010). SIMULATION AND TRAINING. *Military & Aerospace Electronics* , 22-23.
2. Antonoff, M. S. (2008). A novel “critical skills” curriculum for surgical interns incorporating simulation training improves readiness for acute inpatient care. *Journal of the American College of Surgeons* , 93.
3. Burlacu, C. &. (2008). Effect of pediatric simulation training on candidate’s confidence. *Pediatric Anesthesia* , 566-567.
4. Castrillón, J. (2008). La simulación de procesos, clave en la toma de decisiones. *DYNA* , 221-227.
5. Critical Care Nurse. (2009). CS60 Assuming Command: Using Simulation Training to Develop Leadership Skills for Resuscitation and Critical Care Transport. *Critical Care Nurse* .
6. Domuracki, K. M. (2009). Learning on a simulator does transfer to clinical practice. *Resuscitation* , 346-349.
7. FBI Law Enforcement Bulletin. (2007). Computer-Based Training. *FBI Law Enforcement Bulletin* , 26-30.
8. Fiske, T. (2007). Benefits of dynamic simulation for operator training. *Hydrocarbon Processing. Academic Search Premier* , 86(12), 17.
9. Gaither, F. N. (2000). *Administración de producción y operaciones*. Edición Learning.
10. Jannink, M. E.-W. (2008). An Electric Scooter Simulation Program for Training the Driving Skills of Stroke Patients with Mobility Problems: A Pilot Study. *CyberPsychology & Behavior* , 751-754.
11. Kneebone, R. &. (2009). Surgical training using simulation. *British Medical Journal* , 1220-1221.
12. Langhan, T. (2008). Simulation training for emergency medicine residents: time to move forward. *The Journal of the Canadian Association of Emergency* , 467-469.

13. Lo, T. M. (2009). Effective performance of a new post-operative cardiac resuscitation simulation training scheme in the Paediatric Intensive Care Unit. *Intensive Care Medicine* , 725-729.
14. Montagna, F. (2008). Simulation Training: Decision-Making Aid. *Fire Engineering* , 111-132.
15. Nobisso, J. (2008). Practice Makes Perfect. *Knowledge Quest* , 70-73.
16. Paternina Arboleda, C. D. (2000). Programación (secuenciación) pseudo -optima de multiples productos en una estación flexible usando aprendizaje reforzado. *Ingeniería & Desarrollo. Universidad del Norte* , 111-118.
17. Rimas-Vila, I., Companys-Pascual, R., & mateo-Doll, M. (2009). Programación Bicriterio para máquinas en paralelo. *Dyna Vol. 84 nº5* , 429/440.
18. Spellman, J. (2008). Ready or Not: Preparation Through Simulation. *Community College Journal of Research & Practice* , 920-921.
19. U. S. Naval Institute Proceedings. (2005). Simulation Training TODAY. *U. S. Naval Institute Proceedings* , 28-29.
20. VON WYL, T. Z. (2009). Technical and non-technical skills can be reliably assessed during paramedic simulation training. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica* , 121-127.
21. Weller, J. D. (2005). Simulation training for medical emergencies in general practice. *Medical Education* , 1154-1165.
22. Wilford, A. &. (2006). Integrating simulation training into the nursing curriculum. *British Journal of Nursing* , 926-930.
23. Winston, W. (2005). *Investigación de operaciones, aplicaciones y algoritmos*. Thomson.

Acerca del autor

El Ingeniero Leopoldo Viveros Rosas estudió la Licenciatura en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico de Tlalnepantla. Actualmente es Profesor de Asignatura del Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco y de la Universidad Politécnica del Valle de México y también es estudiante de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Industrial del Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, México. lviveros@hotmail.com

El Ingeniero Rebeca Díaz Téllez estudió la Licenciatura en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico de Tlalnepantla. Actualmente es Profesor de Asignatura del Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco y de la Universidad Politécnica del Valle de México y también es estudiante de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Industrial del Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, México. rbkdiaz@hotmail.com

El Dr. Mario Luis Chew Hernández estudió la Licenciatura en Ingeniería Química en la Facultad de Química de la UNAM, México. Posteriormente se graduó como Maestro en Ciencias en Ingeniería de Procesos en The University of Nottingham, Inglaterra y más adelante como Doctor en Ingeniería en la misma cede con el enfoque Simulación y control de procesos químicos. Actualmente es profesor investigador en el área de Posgrado e Investigación en Ingeniería Industrial en el Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, México. mchew@tesco.edu.mx