



LA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES EN APLICACIONES A SISTEMAS PRODUCTIVOS: DESARROLLOS RECIENTES

Por : Irene Tischer, Universidad del Valle, Depto. PINO

1. La fábrica del futuro: un enfoque holístico

Las nuevas técnicas y metodologías para los sistemas productivos están dirigidos hacia el objetivo primordial: la calidad en su sentido más amplio. El concepto de calidad total incluye todas las áreas funcionales de un sistema productivo y se extiende a todos los procesos. Se orienta hacia las exigencias del mercado: responder en forma ágil y eficiente a las necesidades cambiantes del cliente y este es la única manera de mantener la competitividad de la empresa.

Las estrategias modernas, basadas en el concepto de calidad total, buscan incrementar la eficiencia y productividad de la empresa.

- el aprovechamiento del espacio (organización en subplantas según productos, distribución en la planta usando células en forma de U);
- el aprovechamiento de la capacidad de trabajo (balance de las líneas en cuanto a operarios terminados y materias primas, buscando la realización de los conceptos "justo a tiempo") y la automatización a costos bajos (a partir de los conceptos de mejoramiento continuo).

Los dos principios detrás de estas estrategias son la simplicidad y la flexibilidad, ambos se justifican por una visión holística del sistema. La simplicidad se expresa por ejemplo en la descomposición del sistema productivo en familias de pro-

ductos, en la estandarización de los componentes y procesos, en la estandarización de los útiles y en la automatización. Permite estructurar el sistema en subsistemas, lo más independientes posible, asegurando así que un cambio que optimice un subsistema tiene efecto positivo también en el desempeño del sistema completo. Fin y objetivo de esta optimización es una respuesta más rápida y más fiable del sistema a las exigencias de su entorno, en este caso, el cumplimiento de las necesidades del mercado, una pronta reacción a una demanda cambiante, o sea, en últimas, se busca alta flexibilidad del sistema en cuanto a las señales de su entorno. Esta flexibilidad se logra por una mayor flexibilidad interna: todos los subsistemas deben estar en capacidad de responder rápidamente a los cambios. Los resultados son la producción en lotes pequeños, la disminución de los tiempos de entrega y la reducción de los inventarios.

Estos dos factores: simplificación del sistema y flexibilidad de la respuesta del sistema a su entorno, influyen también en los procesos decisivos. La simplificación de los procesos productivos permite un control más eficiente, se detectan los problemas más temprano y se facilita la toma de decisiones. Por otro lado, debido a la flexibilidad que exige el sistema, se deben enfrentar nuevas situaciones que requieren la toma de decisiones de manera ágil y eficiente.



Los conceptos de simplicidad y flexibilidad deben extenderse a todo el sistema, especialmente deben formar la base para los procesos decisivos. La estructura organizacional, en forma de subsistemas muy independientes, permite definir en forma clara y sin ambigüedad las decisiones que corresponden a cada subsistema y aquellas que afectan a varios niveles. Se deben definir criterios sencillos para la toma de decisiones y simplificar los elementos que determinan la decisión, identificando los factores que tienen alta influencia en el desempeño del sistema y descartando aquellos que no afectan mucho en la decisión.

Un sistema de información integral fiable apoya los procesos decisivos y permite automatizar la toma de decisiones rutinarias. Así, los analistas se pueden concentrar en situaciones de alto impacto que requieren un cuidado especial, o sea, donde las decisiones no son programables.

En este marco se vuelve factible una base de modelos. La simplificación del sistema permite construir modelos sencillos, fáciles de aplicar, que tienen en cuenta las relaciones entre los diferentes subsistemas y están orientados hacia los objetivos comunes de todo el sistema, logrando de esta forma una mayor flexibilidad en los procesos decisivos.

2 El papel de la Investigación de Operaciones dentro de los nuevos conceptos de la fábrica del futuro.

Ya hay muchos avances que emplean la investigación de operaciones para desarrollar una or-

ganización en dirección a la fábrica del futuro.

2.1 Mejoramiento de los procesos productivos

Mucho esfuerzo se ha dedicado en el diseño y el análisis de modelos que ayudan a definir nuevas estrategias y a realizar los cambios necesarios. Temas grandes en este contexto son la manufactura flexible, la optimización de la distribución en planta, el balance de las líneas de producción y la secuenciación y planeación de la producción.

La Base para la manufactura flexible es el uso más adecuado de los espacios y recursos disponibles. La investigación de operaciones aporta en estas temáticas, modelos que buscan optimizar la distribución en planta y que balancean las líneas de producción.

La programación matemática en este contexto conduce a modelos de asignación con un número alto de variables binarias, muy costosas en

cuanto a tiempo y espacio en el computador. Por esto, se usan más los modelos de simulación para resolver los problemas de este tipo, lo que favorece también los aspectos del problema, que por la programación matemática son difíciles de tener en cuenta: la aleatoriedad de las variables de entrada, la necesidad de basarse en varios criterios de decisión y la integración del conocimiento experto gerencial. Unos ejemplos para este empleo de la simulación se verán más adelante. Con la simplificación de la estructura y de los procesos de la fábrica, se reduce el número de factores que influyen en el proceso de modelación. De esta manera, también se vuelve más factible la optimización de la programación y secuenciación de la producción. Especialmente la agrupación en familias de productos conduce a una estructura más sencilla, en la cual se basan los autores R.R. Inman *et al.* (1993), para desarrollar un algoritmo para la secuenciación óptima.



El enfoque holístico hace más transparente la estrecha relación estrecha entre la programación de la producción y la planeación de requerimientos de materiales (MRP). B. Pérez *et al.* (1995), utilizan este enfoque para desarrollar un sistema de información para la ayuda de decisiones, que basa toda la programación relacionada con el proceso productivo, en las variables exógenas de más influencia a este sistema: la demanda de los productos. En B. Faaland *et al.* (1993), se desarrolla una metodología de planeación de producción en cuanto a máquinas y mano de obra, para relacionarla con la MRP.

2.2 Desarrollo de metodologías y algoritmos numéricos

La simplificación de los sistemas productivos, apoyada sobre todo en filosofías generales, ha conducido a avances en el desarrollo y a la modificación de algoritmos numéricos, que resuelven los modelos desarrollados con miras hacia la fábrica del futuro. Esta simplificación, junto con la capacidad siempre creciente de los computadores personales, ha vuelto factible la solución de muchos problemas de optimización que antes, por tamaño y complejidad, no se podían atacar.

Existen avances importantes en los algoritmos de programación matemática no-lineal. De importancia especial para la solución de problemas de asignación, son los algoritmos de tipo ramificación y acotamiento, los cuales resuelven problemas de programación lineal y no-lineal, que incluyen variables enteras. Tradicionalmente, estos algoritmos resuelven en una primera fase el problema de programación matemática sin las restricciones de enteridad, basándose en el método simplex. En la segunda fase se resuelve el problema entero por la construcción de una secuencia de subproblemas y su respectiva solución. Esta metodología garantiza la obtención de una solución óptima entera del problema origi-

nal, si existe. En B. Borchers (1992) se propone basar el algoritmo, no en el método simplex, sino en un método de punto interno y además modificar el algoritmo de ramificación y acotamiento para obtener cotas más bajas. El autor afirma que con estas modificaciones se pudo reducir en algunos casos el tiempo de proceso en la CPU en un 20%.

Un enfoque especialmente prometedor para la solución de problemas de asignación de gran escala, parece ser el uso de un método Monte Carlo: el "simulated annealing". Este tipo de algoritmo busca el óptimo global de un problema, tanto si las variables son enteras, como también para problemas continuos. La idea principal es partir de una solución inicial factible, generar una secuencia de modificaciones y seleccionar entre ellas la más probable, como nuevo punto de partida. Ultimamente hay muchas publicaciones sobre este tema, que tratan modificaciones del algoritmo, aplicaciones específicas y teoremas de convergencia (ver por ejemplo S. C. Yoo (1993), A. Duran (1995); C. Belisle (1992)).

2.3 Modelación y teoría de modelos

Con la creciente complejidad de los sistemas y sus correspondientes modelos, se desarrolló como disciplina independiente dentro de la investigación de operaciones, la rama que se ocupa con las metodologías de modelación y los sistemas de manejo de modelos.

Una revisión general del estado del arte, en cuanto a sistemas de manejo de modelos, se encuentra en R. Blanning (1993). Los tres grandes temas de su artículo son: la estructura de la base de modelos, el procesamiento de la base de modelos (incluyendo aplicaciones de inteligencia artificial para la integración, construcción e interpretación de modelos y su interfaz con el usuario) y, finalmente, el ambiente organizacional de



un sistema de manejo de modelos. Mientras en la literatura se considera por lo general los modelos de un sistema como objetos estáticos, los autores Dhar *et al.* (1993), hacen énfasis en el uso dinámico de un sistema de manejo de modelos, que incluye los procesos de construcción, uso y mantenimiento de los modelos en el tiempo, ajustándolos a las circunstancias cambiantes. Ya existen ejemplos de tales sistemas, se propone un enfoque general con el fin de integrar estos esfuerzos aislados.

En "Model integration and a theory of models", (D.R. Dolk *et al.* (1993)), los autores usan esta exigencia de dinámica y flexibilidad como punto de partida para definir, de manera análoga a la teoría de bases de datos, una teoría de sistemas de modelos que integra estructura y procesos. Para tal fin se propone un lenguaje de manipulación de modelos, basado en modelación estructurada y comunicación entre modelos estructurados. Este enfoque se considera como un punto de partida para el desarrollo de una teoría general de modelos

2.4 Hacer más amigable la Investigación de Operaciones para el usuario

La construcción de modelos complejos es una tarea importante para la investigación de operaciones, pero adicionalmente a los aspectos técnicos, los investigadores también deben considerar y orientarse hacia el usuario del modelo. Esto significa, en últimas, una revisión crítica de modelos y su administración, buscando también en este aspecto la simplicidad y la flexibilidad, que son los rasgos determinantes de la fábrica del futuro.

En Murphy (1993), se describen herramientas que buscan orientar al modelador hacia un punto de vista más operativo, mientras en D.L. Davis *et al.* (1993), se pretende mejorar la comunicación entre investigadores y la gente que aplica la

investigación de operaciones. Basado en la teoría de comunicaciones, los autores proponen un enfoque suave a la investigación de operaciones. Apoyados en un ambiente de simulación por computador, los autores se centran en el desarrollo de un interfaz usuario-computador, que permite una representación de los resultados en la forma más apropiada para el estilo cognitivo del usuario, lo que influye mucho en su desempeño. Este enfoque no solamente es interesante para el profesional en la práctica. Los educadores a nivel universitario también deberíamos estar pendientes de los diferentes estilos cognitivos y mecanismos de aprendizaje, para poder, de manera análoga, mejorar la comunicación con el estudiante y lograr un entendimiento más conceptual y menos técnicos en la enseñanza de la investigación de operaciones.

En su artículo "Provisions for naive users of model management systems", los autores (Q.B. Chung *et al.* (1993)) hacen énfasis en un sistema de manejo de modelos, que se entiende como una herramienta para el usuario no experto en modelación. Desarrollan un prototipo de un sistema de manejo de modelos, que no solamente provee una base de modelos con los mecanismos correspondientes de selección, modificación e integración de modelos, sino que también se ajusta al usuario no experto en cuanto a su capacidad de guiarlo, hacer explicaciones y sugerencias. Si el usuario aprende a entender de esta manera el proceso de modelación, este sistema de manejo de modelos puede ser de gran utilidad en organizaciones pequeñas que no tienen el personal experto en modelación. En el caso contrario, el efecto de la "caja negra", es decir, presentar soluciones con un mecanismo no transparente al usuario, conduce a malentendidos por parte del usuario y consecuentemente a una falsa interpretación de los resultados obtenidos.

Un estudio de L. Raymond *et al.* (1992), muestra que en lo general, la gerencia de organizaciones pequeñas es más exitosa, si construye sus propios modelos, basados en herramientas sencillas como hojas electrónicas, en vez de aplicar



modelos construidos por expertos en la investigación de operaciones. Con un sistema apropia-

do para el manejo de una base de modelos, se llegará a un sistema personalizado de ayuda para la toma de decisiones.

3. Los aportes de la simulación

3.1 Características

Entre los modelos con los cuales se ocupa la investigación de operaciones, la simulación juega un papel importante. Los modelos de simulación son muy orientados a la realidad y requieren solo poca abstracción. Por esto, es fácil de entenderlos, también para personas no expertas en modelación. El gerente de una empresa "reconoce" su planta en el modelo. Por esta razón confía más en los resultados y está más dispuesto a implementarlos.

Los resultados de la simulación no son óptimos en un sentido matemático, sino representaciones del sistema, operando bajo condiciones cambiantes. Dejan al juicio de la gerencia si una posible alternativa a la solución de un problema es compatible con las metas de la empresa, y si el cambio es factible, considerando la situación general de la empresa.

Así, la simulación, empleada en la planeación y el diseño de sistemas productivos, es una herramienta poderosa para lograr la eficiencia y eficacia deseada del sistema. Además ayuda mucho al entendimiento del sistema en su operación actual y de esta manera, contribuye al mejoramiento continuo.

Sin embargo, dado el potencial de esta herramienta, su evolución y aceptación no ha sido tan rápida como esperaban los expertos, por distintas razones:

- La modelación por simulación es una disciplina relativamente nueva, hay reservas en cuanto

a la confiabilidad de los resultados, más que todo por la documentación de experiencias negativas aunque éstas probablemente se podrían explicar con errores en la formulación del modelo y deficiencias en el manejo de información.

- La bondad del modelo de simulación depende de la calidad y fiabilidad de la información requerida. La simulación no reemplaza, sino se basa en información del sistema real.
- Usar simulación requiere inversiones altas, tanto en la herramienta de simulación, como en capacitación o empleo de personal entrenado en la ingeniería de sistemas y el manejo de información.
- Es difícil justificar estos costos: las ventajas de usar simulación en la fase de desarrollo y planeación, se expresa más en evitar costos que en ahorros (ver M.B. Thompson (1994)).

3.2 Simulación para evaluar y programar el cambio

La fortaleza de la simulación, apoyar la toma de decisiones tácticas y estratégicas, se muestra explícitamente en la evaluación de las técnicas y métodos que toman parte en la fábrica del futuro, que involucran las ideas de justo a tiempo, lotes pequeños de producción, cambios rápidos



de útiles, agrupación de células de producción y balance de línea.

3.2.1 Distribución en planta

Una condición para la manufactura flexible es una distribución en planta, que garantice un flujo continuo de la producción sin obstáculos. En A. Prakash *et al.* (1995), se presenta un estudio de simulación, que tiene como objetivo el mejoramiento de la distribución en planta. El criterio de decisión es minimizar el tiempo que las partes se demoran en el sistema. Esto disminuye la cantidad de productos en proceso y aumenta de esta manera la productividad del sistema.

En S.M. Shafer *et al.* (1993), los autores comparan una distribución funcional, con el uso de células de producción. Basados en modelos de simulación, contrastan estos dos enfoques en casos reales, utilizando para la comparación variables como tiempos de flujo y productos en proceso. Los resultados no muestran en forma muy contundente los beneficios de la producción celular. Un estudio de causas y la correspondiente generalización de los modelos permite llegar a resultados más convincentes. La misma temática se estudia en J.S. Morris *et al.* (1995).

3.2.2 Balance de líneas

Como ya se mencionó anteriormente, los problemas de asignación de recursos se prestan particularmente para ser atacados con un estudio de simulación. En J.D. Jacobson *et al.* (1993), se considera entre otros el problema de mejorar la asignación de recursos en una industria pequeña de zapatos. Los resultados documentados permiten contrastar el balance de la línea de producción, con la posible adquisición de automatización en cuanto a la capacidad de producción, en favor del balance.

Un ejemplo más complejo de un modelo de simulación para evaluar la asignación de recursos es S.K. Bhattacharyya *et al.* (1993), donde se usa la simulación en carriles de ensamblaje de carros. La asignación es un proceso bastante complejo que se agrava aún más por la mezcla de diferentes modelos de carros en la línea. El sistema de simulación presentado constituye una herramienta valiosa en este proceso, como ya se comprobó en un proceso de validación que se realizó en la empresa que patrocinó la investigación.

3.2.3 Cambio de útiles

Un problema típico, relacionado con el cambio rápido de útiles, donde se aplica la simulación para la evaluación del sistema real y programar y priorizar el cambio, se describe en Rehman *et al.* (1993). Su empresa, enfocada hacia la fábrica del futuro, impulsó la implementación de un programa radical para reducir el tiempo de alistamiento, con el fin de aumentar la capacidad, reducir la cantidad de productos en proceso y disminuir los tiempos de entrega al cliente. La complejidad del sistema impidió en este caso el análisis detallado, el grupo analista tenía que realizar generalizaciones fuertes como el agrupamiento en familias de productos y la restricción a las secuencias productivas más frecuentes.

Una vez reducido el tamaño del sistema, se utilizó una herramienta de simulación para modelar rápidamente (en un par de horas) el sistema. Unas inconsistencias iniciales entre el sistema real y el modelo se resolvieron introduciendo nuevas características al modelo que antes no se consideraron. El análisis de los resultados de la simulación permitía identificar las máquinas cuello de botella principales, donde más eficiente sería un cambio rápido de útiles. Contrastando la experimentación a partir del modelo con un análisis de los puntos críticos identificados, el grupo llegó a proponer y justificar ante la gerencia estos cambios:



- Unos cambios sencillos y a bajo costo serían capaces de reducir el tiempo de alistamiento en estas máquinas en un 50%.
- Cambios más a fondo y a costo relativamente alto podrían disminuir el tiempo de cambio de útiles alrededor de un 80%.
- Reduciendo los tamaños de los lotes, se podría disminuir en un 75% el tiempo de entrega.

La primera propuesta se empezó a realizar de una vez, los demás cambios se aceptaron después de una análisis más profundo.

Lastimosamente, los autores no reportan sobre el éxito de la implementación de estos cambios y la bondad de las predicciones numéricas que se hicieron a partir del modelo simulado. De esta manera no se dispone de una prueba de la bondad del análisis que llevó a cabo el grupo, pero creo que se hicieron evidentes varias características:

- Es viable y prometedor aplicar la simulación en contextos muy complejos, siempre y cuando vaya acompañada de una análisis cuidadoso del sistema real, que permite hacer las generalizaciones y supuestos en forma correcta.
- La metodología de modelación rápida, usando simulación, es muy apropiada para el análisis de un sistema complejo, si el énfasis se hace en la propuesta y justificación de alternativas estratégicas generales del sistema.
- La representación dinámica, en su forma simplificada, por un modelo de simulación contribuye al entendimiento del sistema real y ayuda a convencer al personal en los diferentes niveles organizacionales de la factibilidad de los cambios propuestos y de esta manera vence la resistencia al cambio, inherente en todos los sistemas productivos.

3.2.4 Secuenciación de la producción

La secuenciación de la producción se vuelve un problema más complejo con la flexibilidad creciente de la fábrica del futuro. La simulación ayuda a comprobar y evaluar las posibles estrategias.

Un ejemplo de un estudio de simulación que pretende evaluar estrategias para la secuenciación de la producción, se encuentra en W.R. Schmeal *et al.* (1993). Los autores usaron el modelo para visualizar y entender el sistema productivo actual. Después se evaluaron varias estrategias de secuenciación, incluyendo kanbans y un método tipo "push". Los autores están convencidos de la metodología de simulación para resolver el problema, más que todo la representación animada del sistema modelado en funcionamiento.

3.3 Simulación y aprendizaje

En muchos campos ya se utiliza la simulación para el entrenamiento de personal (por ejemplo simuladores de vuelo para entrenar pilotos). Ahora se desarrollan también juegos de simulación para capacitar los operarios y la gerencia en sus futuras tareas.

Ejemplos son A.J. Faria *et al.* (1994), donde se describe un software de simulación, diseñando para entrenar la gerencia de ventas, y en J. Strausz (1995), se muestra el desarrollo de un modelo de simulación para capacitar los operarios de una industria de papel, en el manejo de un sistema automatizado.

M. Blotzer (1995), propone extender el entrenamiento por simulación a un aspecto importante: la salud y seguridad ocupacional. Esto permitirá evaluar el impacto de posibles medidas de control de seguridad y enfrentar los operarios con accidentes laborales simulados, para familiarizarlos con los posibles riesgos de su puesto de trabajo y



con la forma de evitarlos.

En su publicación "Integrating of simulation modeling and inductive learning", (ver Piramuthu et al. (1993)) los autores presentan un sistema de apoyo a la toma de decisiones, que incluye la capacidad de aprendizaje inductivo, para la gerencia de modelos, basado en un ambiente de simulación para modelar sistemas productivos y sus procesos con el propósito de proveer una ayuda en la programación de la producción. Este enfoque que combina la simulación con el aprendizaje inductivo, conduce a un mejor desempeño del sistema, como muestran resultados numéricos.

Creo que se debería empezar aun más temprano con el entrenamiento mediante los juegos de simulación: los estudiantes universitarios en el campo de Ingeniería Industrial, sin experiencia práctica en la problemática industrial, se pueden entrenar en la toma de decisiones para resolver problemas que enfrentarán en su futura profesión (ver I. Tischer, (1995)).

3.4 Aprovechando más de la simulación

Hay muchos esfuerzos para aumentar la utilidad y la operacionalidad de la simulación para la gerencia de industrias grandes.

Clave para mejorar la operacionalidad es la integración de la simulación con una base de conocimientos, lo que reemplaza al experto en modelación. Esto permite al usuario aprovechar las ventajas de la simulación, sin tener que entrar en los detalles relacionados con la construcción e implementación del modelo. De esta forma, la simulación se puede volver una herramienta de uso frecuente para la solución de problemas de evaluación de estrategias, programación y planeación en la industria.

Si se integra el modelo con el sistema real, se aumenta al alcance de simulación: también puede ser de utilidad en las fases de implementación

y operación de sistemas productivos.

El autor del artículo "Expanding simulation beyond planning and design" (M.B. Thompson (1994)) argumenta que con esta extensión, los modelos de simulación podrían formar parte del sistema durante toda su vida, alimentándose de un sistema de información real. El autor desarrolla una herramienta de simulación con acoplamiento al sistema real, para la cual ve diferentes aplicaciones posibles en las fases de implementación y operación:

En primera instancia, el autor quiere usar la herramienta para emular en tiempo real los sistemas de control. El sistema de control simulado se comunica con el controlador automático: recibe señales del controlador, reacciona con las acciones apropiadas y envía los mensajes correspondientes. De esta manera se puede medir el desempeño del sistema de control real, sin tener que arriesgar una fase de prueba con el sistema real.

Usando la capacidad de representación tridimensional y la sincronización con el tiempo real, se puede visualizar el sistema real en cualquier momento, y hacer pronósticos que parten precisamente de su estado actual.

Para facilitar el proceso de programación, el autor propone el uso de una base de reglas que están definidas por el usuario. Estas reglas no solamente permiten respetar el flujo de producción en el proceso de programación, sino también integran para cada máquina los productos que esperan a ser procesados, los productos que están en una de las máquinas flujo arriba y los estados de las máquinas flujo abajo, por donde el producto en proceso va a seguir.

El uso de una base de reglas o, en términos más amplios, de una base de conocimientos en el proceso de modelación, permite al usuario concentrarse en trabajo del análisis e interpretación de los resultados del estudio, más que en conseguir e integrar al modelo conocimiento experto sobre el sistema actual. Hay varias publicaciones que se ocupan de este campo:

P. Farrington *et al.* (1995), desarrollan una he-



herramienta de simulación para la industria moderna de confección. El sistema automatiza la fase de construcción del modelo, traduce el modelo conceptual en el lenguaje WITNESS y lo ejecuta. En R. Shannon et al. (1993), se describe una herramienta que también automatiza las fases de planeación estratégica y táctica, de experi-

mentación y de análisis de los resultados en un estudio de simulación. Los autores pretenden crear un ambiente ideal de simulación, dirigido hacia metas, donde el usuario solamente tiene que describir el sistema en consideración y definir los objetivos. El ambiente de simulación ejecuta los demás pasos del ciclo de simulación.

Bibliografía

- C. Belisle, "Convergence theorems for a class of simulated annealing algorithms on R^d ", JAP (Israel) 29 (4), 1992.
- S.K. Bhattacharyya, R. Roy, M.J. Low, "A computer simulation system for the evaluation of man assignment on car assembly tracks", Simulation 60, 2, 1993.
- R. W. Blanning, "Model management systems: an overview", Decision Support Systems (The Netherlands) 9 (1), 1993.
- M. Blotzer, "Virtual reality: Real value for safety training", OR 57, 1, 1995.
- B. Borchers, "Improved branch and bound algorithms for integer programming", PhD Thesis, New Mexico Tech., Socorro, New Mexico, 1992.
- Q.B. Chung, R.M. O'Keefe, "Provisions for naive users of model management systems", EJIS (U.K.) 2 (3), 1993.
- D.L. Davis, J.H. Barners, W.M., Jackson, "Integrating communications theory, cognitive style and computer simulation as an aid to research on implementation of operations research", Computers and Operations Research (U.K.) 20 (2), 1993.
- V. Dhar, M. Jake, "On modeling processes", Decision Support Systems (The Netherlands) 9 (1), 1993.
- D.R. Dolk, J.E. Kottemann, "Model integration and a theory of models", Decision Support Systems (The Netherlands) 9 (1), 1993.
- A. Durán, "El símil termodinámico para resolver problemas industriales de asignación", Tesis para Magister en Ingeniería de Sistemas bajo dirección de I. Tischer (en proceso), Universidad del Valle, 1995.
- B. Faaland, T. Schmitt, "Cost-based scheduling of workers and equipment in a fabrication and assembly shop", Oprs. Res. (USA) 41, 2, 1993.
- A.J. Faria, J.R. Dickinson, "Simulation gaming for sales management training", Journal of Management Development 13, 1, 1994.
- P. Farrington, B. Schroer, J. Wang, "Front end System for modeling modern apparel manufacturing systems", Computers & Industrial Engineering 28, 2, 1995.
- R.R. Inman, P.C. Jones, "Decomposition for scheduling flexible manufacturing systems", Oprs. Res. (USA) 41, 3, 1993.
- J.D. Jacobson, M.A. Townsend, J.T. Allatta, "Evaluation of new technologies in a shoes manufacturing plant using simulation 61, 5, 1993.
- J.S. Morris, R.J. Tersine, "A simulation comparison of Process and cellular layouts in a dual resource constraint environment", Computers & Industrial Engineering, 26, 4, 1994.
- F. Murphy, "Making large scale models manageable: Modeling from an operations management perspective", Oprs. Res. (USA) 41 (2), 1993.
- B. Pérez, I. Tischer, "Un sistema de información para el manejo flexible de la programación de los procesos productivos", a publicar, 1995.



- S. Piramuthu, N. Raman, M. Shaw, S. C. Park, "Integrating of simulation modeling and inductive learning", *Decision Support Systems (The Netherlands)*, 9 (1), 1993.
- A. Prakash, M. Chen, "A simulation study of flexible manufacturing systems", *Computers & Industrial Engineering*, 28, 1, 1995.
- L. Raymond, F. Bergeron, "Personal decision support system in small enterprises", *Information and Management (The Netherlands)* 22 (5), 1992.
- A. Rehman, M. Diehl, "Rapid modeling helps focus setup reduction at Ingersoll", *Industrial Engineering*, noviembre de 1993.
- W. R. Schmeal, P.D. Parikh, "simulation in evaluation of scheduling policies in composites manufacturing", *Industrial Engineering*, noviembre de 1995.
- S.M. Shafer, J.R. Meredith, "An empirical-based simulation study of functional vs Cellular layouts with operations overlapping", *IJOPM (UK)* 13, 2, 1993.
- R. Shannon, S. Prakash, "Development of a goal directed simulation environment for discrete part manufacturing systems", *Simulation* 61, 2, 1993.
- J. Strausz, "Process simulation training helps Alberta-Pacific start up greenfield mill", *Pulp & Paper* 69, 3, 1995.
- I. Tischer, "Simulación de sistemas industriales - herramienta didáctica en la formación universitaria", Proyecto de investigación en trámite de aprobación, Universidad del Valle, Cali, Colombia, 1995.
- M. B. Thompson, "Expanding simulation beyond planning and design", *Industrial Engineering*, octubre 1994.
- S.C. Yoo, "A simulated annealing method for the optimization problem in a multiserver and multi-class customer system", *JKORS (Korea)* 18 (2), 1993.