
Hacia un uso efectivo de la Investigación de Operaciones en Chile: diagnóstico y proposiciones.

Pedro Gazmuri Schleyer
Profesor Facultad de Ingeniería
Universidad de los Andes

Resumen

La Investigación de Operaciones ha demostrado ser una disciplina extremadamente exitosa para generar aumentos de productividad en empresas a nivel internacional; ello se refleja por ejemplo en los artículos que aparecen periódicamente en la revista Interfaces, que publica el Institute for Operations Research and Management Science (INFORMS). En Chile, salvo contadas excepciones, la experiencia ha sido más modesta. En este artículo se proponen algunas explicaciones a este fenómeno nacional, a la luz de la experiencia del autor como profesor del área y como consultor de empresas en las que ha desarrollado aplicaciones de I.O. Creemos que estas explicaciones tienen también validez a nivel internacional, lo que permitiría pensar en un futuro aún más promisorio de esta disciplina también en ese ámbito. A partir de estas ideas se proponen algunas estrategias que permitirían un desarrollo fundamentalmente más exitoso de aplicaciones de I.O.

1. Introducción

El propósito de este artículo es presentar algunas reflexiones del autor respecto al uso e impacto de la Investigación de Operaciones (I.O.). Estas surgen de su experiencia de más de 20 años como profesor e investigador del área, en la que le ha correspondido desarrollar una activa enseñanza de pre y post-grado en esta disciplina, y realizar investigación a través de proyectos Fondecyt y Fondef, además de dirigir múltiples memorias de título y tesis de magister en temas relati-

vos a la I.O. Toda esta actividad se ha visto complementada con actividades de consultoría a diversas empresas en la que se han desarrollado modelos diversos de aplicación de I.O.

Nos asiste la convicción de que la I.O. es una disciplina extremadamente fértil y activa, que está llamada a tener un gran impacto en la forma de gestionar empresas en Chile; ello a pesar de ciertas voces de pesimismo, que hablan en sentido contrario. Creemos sin embargo que para que este potencial de la I.O. se ponga en práctica en toda su capacidad, es necesario producir algunos cambios en el ámbito de la docencia y en la forma de desarrollar las aplicaciones de I.O. en la empresa.

En la segunda sección de este artículo se presenta una breve síntesis del estado actual de las aplicaciones de I.O. a nivel internacional; en la siguiente sección se presenta nuestro diagnóstico de la situación en Chile. En la cuarta sección presentamos unas proposiciones de cambio de la situación actual, que en nuestra opinión podrían llevar a un uso mucho más intensivo y eficaz de estas herramientas en el medio empresarial. Una de estas proposiciones se refiere a la definición de un procedimiento estructurado de desarrollo de aplicaciones de I.O.; este procedimiento se describe en la quinta sección del artículo. La última sección incluye nuestras conclusiones y perspectivas de trabajo futuro.

2. Estado actual del desarrollo de aplicaciones de I.O. a nivel internacional

Existen abundantísimas experiencias exitosas reportadas en la literatura internacional de aplicaciones de Investigación de Operaciones a problemas de toma de decisiones. La revista *Interfaces*, que se publica bi-mensualmente desde hace más de 30 años, ha venido incluyendo en cada uno de sus números un promedio de 5 a 6 experiencias exitosas de este tipo. El rango de problemas abordados es muy amplio, y cubre todo tipo de empresas manufactureras y de servicios, de tamaño diverso, de ámbito local o multinacional, como también agencias de gobierno que han utilizado herramientas de I.O. para mejorar significativamente sus políticas de asignación de recursos en problemas públicos.

En 1988, la National Science Foundation de Estados Unidos constituyó un comité de expertos del área de I.O. (CONDOR: Committee On the Next Decade in Operations Research) (Condor, 1988) que elaboró un informe de los logros alcanzados por esta disciplina y de los desafíos y áreas más promisorias de trabajo futuro. Estimaciones realizadas por este comité indicaban que el aumento promedio de productividad que han representado las aplicaciones de I.O. era del orden de un 30%. Algunas de las aplicaciones más exitosas mencionadas en el informe son: el uso de sistemas integrados que combinan herramientas de programación matemática, con sistemas de pronóstico y sistemas expertos, y el uso de estadística y teoría organizacional; la empresa Citgo desarrolló un sistema de este tipo

para sus operaciones de adquisición de crudo, refinamiento y distribución, planificación de marketing (estratégico y operacional) y control de inventarios, con el cual pudo revertir una situación de pérdidas anuales de más de US\$ 50 millones a una situación de ganancias netas superior a US\$ 70 millones. Otras aplicaciones exitosas han tenido que ver con el uso de herramientas de flujo en redes, en las que se han aprovechado avances algorítmicos significativos mediante los cuales se han podido resolver problemas de gran tamaño, relativos a sistemas integrados de logística, orientados a obtener soluciones más efectivas en costos y calidad de servicio. Otra área muy fructífera ha sido la simulación de sistemas, en que se han aprovechado las capacidades de nuevos lenguajes interactivos para modelar sistemas logísticos de gran complejidad; asimismo nuevos desarrollos en el modelamiento de redes de sistemas de espera han posibilitado su aplicación exitosa en la toma de decisiones de diversas empresas.

El aumento de las capacidades computacionales en las empresas, ocurrido durante la década de los 90 y su descentralización hacia los escritorios de los profesionales (en cuanto a grandes capacidades de procesamiento en sus computadores personales y el acceso cada vez más expedito desde estos equipos a las Bases de Datos corporativas), junto con notables avances en las capacidades de modelamiento de problemas y en las velocidades de los algoritmos de solución, han llevado a una mayor masificación de estas herramientas en los países desarrollados. Ha contribuido a ello también los avances de las tecnologías de información y de las herramientas de recopilación de información (como código de barras y otras), que han permitido disponer de grandes cantidades de información, respecto a los procesos operacionales de los distintos negocios, a los hábitos de consumo de los clientes, etc., lo que ha abierto posibilidades antes insospechadas de análisis cuantitativo de los procesos de decisión. Algunos investigadores estiman que estos factores han reducido en dos órdenes de magnitud los costos asociados a desarrollar aplicaciones de I.O.

Como un antecedente del éxito que ha venido teniendo la I.O., A.M. Geoffrion, en uno de sus artículos (Geoffrion, 1992) indica que durante el año 1991, se vendieron en USA más de un millón de copias de software de Programación Lineal y No Lineal.

A pesar de este panorama ciertamente positivo y alentador, se ha venido planteando desde hace ya bastante tiempo, la idea de una crisis de la I.O. Algunos síntomas de esta crisis son los siguientes: el énfasis excesivamente teórico de la investigación que se publica; su desconexión de los problemas reales que enfrentan los tomadores de decisiones; el afán de ajustar los problemas reales a un problema teórico simplificado para el cual sea posible encontrar una solución analítica elegante; el no enfrentar derechamente los problemas confusos (*messy problems*) que son los que verdaderamente aparecen en la vida real; etc. (Coates, 1995; Rosenhead, 1996; Gass, 1987; Corbett et al, 1993; Miser, 1987). T.H. Lee (1989) plantea que la I.O. se ha terminado identificando con el uso de modelos matemáticos y de algoritmos, en contra-posición al desarrollo de la habilidad para formular problemas de management, para resolverlos apropiadamente y para implementar y mantener sus soluciones en ambientes turbulentos.

Otros autores plantean que la I.O se ha desviado de su estilo original de trabajo, que surgió de la necesidad de abordar diversos problemas tácticos y estratégicos durante la Segunda Guerra Mundial, en que el propósito central era salvar vidas.

Como otro síntoma de la crisis, algunos autores comentan el hecho que las revistas orientadas a la gestión de empresas, tales como Business Week o Harvard Business Review ya no incluyen información relevante respecto a la I.O. En otras palabras, los gerentes ya no leen ni les interesa mayormente el tema.

El mismo Lee considera que la actividad de la I.O. puede clasificarse en 3 áreas: la primera se denomina **management science**, y su objetivo es desarrollar nuevos resultados que contribuyan al cuerpo de conocimientos de la disciplina; la segunda se denomina **management consulting**, y se dedica a resolver un problema práctico para alguien. La tercera área se ubica entre las dos primeras y se denomina **management engineering**; su propósito es resolver aquellos problemas prácticos para los que es necesario adaptar herramientas existentes en algún modo novedoso. En su opinión, es esta última área la que se ha ido desvaneciendo. Un management engineer estudia una situación real desde un punto de vista analítico y trata de relacionar lo que ve en el mundo real con los conceptos y marcos de referencia desarrollados por los management scientists.

Gass (1987) plantea que es necesario establecer buenas prácticas de modelamiento; alejarse de la muletilla que modelar es un arte; en su opinión, modelar debe transformarse en una profesión con estándares objetivos. Debemos aprender a estructurar el proceso de modelamiento y a administrarlo adecuadamente, incorporando las herramientas y conceptos de control de proyectos, desde la visión de engineering management.

3. La situación chilena y sus causas

En Chile, las capacidades de desarrollo de aplicaciones han estado muy concentradas en unos pocos centros universitarios. Por otra parte, la difusión de las aplicaciones exitosas desarrolladas por estos centros hacia el medio empresarial ha sido muy marginal. Los gerentes chilenos tienen pocas posibilidades de informarse sobre estas aplicaciones exitosas y en general, sobre el impacto que estas herramientas pueden tener en su negocio. Adicionalmente, las sensibilidades del ambiente gerencial chileno han estado más claramente inclinadas hacia los aspectos financieros y la generación de oportunidades de nuevos negocios, siendo ésta última un actividad más basada en una buena intuición, que en análisis cuantitativos más sofisticados. La convicción de que los aumentos de productividad que la industria nacional necesita urgentemente, si quiere permanecer competitiva en una economía globalizada, deberán provenir de análisis cuantitativos más sofisticados (ir al “área chica” de las operaciones de los procesos), no es algo que esté suficientemente asentado en nuestra cultura de gestión.

Esto afecta tanto a las empresas que participan en mercados internacionales (exportando sus productos a otros países) como a aquellas que enfrentan localmente competencia de empresas internacionales que ofrecen sus productos en nuestro país. Si uno observa la evolución de la industria nacional en los últimos años, tanto manufacturera como de servicios, es fácil concluir que cada vez son más numerosos los sectores que están enfrentando algunos de estos dos niveles de competencia internacional. Creemos que ésta será una tendencia sostenida en el tiempo. Por lo tanto en todos estos ámbitos de negocios, el impacto de la I.O. puede ser muy significativo. Por otra parte, no nos parece que esta potencialidad se circunscriba sólo a empresas de tamaño mediano a grande, si bien es en ellas en las que la literatura internacional reporta las contribuciones más exitosas; se sabe de empresas nacionales más bien pequeñas que están logrando competir exitosamente en alguno de los ambientes internacionales mencionados más arriba. La variable más relevante no es el tamaño de la empresa si no el nivel de competitividad de la industria en que está inmersa.

A nivel gerencial, es sabido que las profesiones dominantes hoy día en Chile son la Ingeniería Comercial y la Ingeniería Civil Industrial. En el primer caso, la formación en enfoques cuantitativos y específicamente, en I.O. es muy escasa, por lo que no es de extrañar que estos profesionales, en su desempeño en la empresa, tengan muy poca sensibilidad hacia el uso de estas herramientas. En el caso de los Ingenieros Industriales, creemos que su sólida formación científico-matemática representa un activo muy importante desde la perspectiva que nos ocupa en este artículo. Sin embargo, creemos que ese activo no ha sido debidamente aprovechado. Hay que pensar que la carrera de Ingeniería Industrial cuenta con un prestigio y un liderazgo indiscutido a nivel nacional, siendo la especialidad más apetecida por los estudiantes, dentro de las opciones de Ingeniería Civil, en forma sostenida durante los últimos 30 años. Por otra parte esta experiencia de currículum, que combina esta formación en Física y Matemática, con una formación en tecnología y gestión de empresas, es bastante única en el mundo. En Estados Unidos por ejemplo, el currículum de ingeniería industrial tiene un perfil bastante más acotado; la aproximación más sistémica sólo ha venido a consolidarse durante la década de los 90 a través de algunos programas de post-grado, cuya novedad principal es esta juiciosa combinación entre tecnología y gestión, combinación que en nuestro país ya está consolidada hace más de 3 décadas!

Creemos que este tremendo potencial de la ingeniería industrial ha sido desaprovechado desde el punto de vista de lograr una mayor utilización de la I.O. en la empresa. Una de las razones de ello es que la formación de I.O. que se entrega en los cursos de la especialidad (a nivel de pre-grado) tiene un claro sesgo teórico, en la que se privilegia más el rigor que los aspectos de aplicación e implementación. Particularmente ausente de estos cursos ha estado todo lo referente a las implicancias de estas herramientas en la productividad de la empresa; curiosamente, revistas como Interfaces no aparecen en la literatura obligatoria o recomendada de estos cursos (aunque sí se utilizan en algunos programas de post-título y post-grado). Al no ser la lectura de este tipo de referencias algo habitual, el estudiante no adquiere la capacidad de seguir informándose de estos contenidos una vez que empieza a desempeñarse como profesional. La literatura re-

visada habitualmente por los ingenieros industriales corresponde a revistas generales de negocios, como Business Week y otras, que como ya hemos comentado, no hacen referencia alguna a la I.O.

Las consecuencias de todo lo anterior son bastante claras: la toma de decisiones en el mundo de la empresa está impregnada de criterios basados en experiencias anteriores, en intuiciones más o menos superficiales, y a lo sumo en cuantificaciones simplistas en base a algunos indicadores de desempeño. Lo que la literatura está indicando al respecto es que los problemas de toma de decisiones son más complejos que esto; que una adecuada comprensión de estos problemas requiere con frecuencia un esfuerzo de modelamiento, y que las mejoras potenciales de productividad que pueden obtenerse usando I.O. son enormes (y sólo son obtenibles por la vía del uso de estas herramientas).

4. Propositiones para un cambio

En esta sección del artículo queremos comentar 5 esfuerzos en los que el autor de este artículo está empeñado, de modo de producir un cambio sustancial en el nivel de uso de la I.O. en la toma de decisiones a nivel nacional; éstos son las siguientes:

- a) **modificación sustancial de los contenidos de I.O. en los currícula de ingeniería industrial:** creemos que los cursos de esta área (habitualmente 3) deben reducir el espectro de técnicas y algoritmos que se analizan, y dejar más espacio para enfatizar la capacidad de análisis que proveen los modelos (visualizar los modelos como herramientas de comprensión de los fenómenos de toma de decisiones, y no sólo como un medio para obtener la solución óptima de un problema puntual). En cuanto al desarrollo de la capacidad de modelamiento en el alumno, ya hemos comentado la opinión de algunos autores en cuanto a que es necesario que modelar se transforme en una profesión con estándares objetivos; por ello los cursos deben avanzar gradualmente hacia el establecimiento de estos estándares. Esta es una idea relativamente nueva a nivel internacional, y por ello hay que estar atentos a la generación de nuevas propuestas y resultados en este ámbito.

En relación a las técnicas, creemos que los cursos de pre-grado deben concentrarse en Programación Lineal y sus extensiones (flujo en redes y programación entera) y en Simulación de Sistemas Discretos. Adicionalmente, estos cursos deben abordar el proceso de identificación de problemas y de desarrollo de aplicaciones. Es importante que un alumno, al finalizar esta secuencia de cursos, sienta que cuenta con las herramientas para desarrollar un aplicación exitosa de principio a fin. Es frecuente oír el comentario de alumnos egresados, en cuanto a haberse sentido expuestos a una bonita teoría y a un conjunto de conceptos generales, pero que lo dejaron muy lejos de sentirse preparado para desarrollar sus propias aplicaciones. Todos los cursos deberían utilizar al máximo los paquetes computacionales disponi-

- bles, de modo que se resuelvan modelos de tamaño razonable y se puedan desarrollar discusiones de análisis de resultados.
- b) **desarrollo de un esfuerzo sistemático de educación del medio empresarial:** para ello creemos que es necesario mostrar a los gerentes, en un lenguaje de fácil comprensión, el potencial de la I.O. Ello podría requerir por ejemplo, traducir algunos artículos de Interfaces a nivel entendible para estos profesionales. También sería necesario transmitir un mensaje de alarma, en cuanto a que las empresas que no aprendan a usar estas herramientas dejarán de ser competitivas en el mediano plazo. Finalmente, creemos que es posible sistematizar esfuerzos tendientes a entrenar profesionales en la detección de oportunidades de aplicación de I.O. en su empresa.
 - c) **elaboración de un procedimiento estructurado de desarrollo eficaz de aplicaciones de I.O.** (este procedimiento se detalla en la siguiente sección).
 - d) **desarrollo de experiencias controladas (de laboratorio) de aplicación de este procedimiento;** estas experiencias permitirían probar y perfeccionar el procedimiento de desarrollo de aplicaciones.
 - e) **difusión de los resultados de estas experiencias al medio empresarial**

5. Procedimiento estructurado para el desarrollo de aplicaciones de IO

El propósito de este procedimiento es definir un proceso controlado de desarrollo, en que se definan anticipadamente todas las tareas que deben llevarse a cabo; estas tareas deben estructurarse en una lógica de control de proyectos, la que debe permitir un control de avance del desarrollo con la misma óptica de un proyecto de ingeniería tradicional. Esta óptica es utilizada frecuentemente en proyectos de ingeniería civil y en proyectos de desarrollo de software. Este proceso controlado recoge también la experiencia del autor en el desarrollo de aplicaciones, como también la experiencia de otros autores, en cuanto a ciertos aspectos centrales del desarrollo de un modelo de optimización que no deben dejarse de lado.

Los aspectos más relevantes de este procedimiento son:

- a) **identificación del problema:** esta fase debe ejecutarse como un proceso exploratorio, aún cuando el usuario haya entregado una definición precisa del problema que desea abordar (i.e. no hay que tomar esa definición como si fuera la última palabra en cuanto a cuál es realmente el problema que aqueja a la empresa). Es necesario definir una contraparte con frontera difusa, en que el consultor tenga la libertad para definir personas que entran y que salen de este equipo. Además debe definir un procedimiento de trabajo que le permita moverse libremente en los distintos niveles jerárquicos den-

tro de la organización. En esta etapa se debe identificar el dueño del problema y los usuarios de la solución que se proponga (que pueden no ser las mismas personas). Es necesario gastar tiempo en esta fase y evitar la tentación de correr rápidamente hacia la construcción de un modelo; las neuronas deben gastarse en esta etapa en entender bien el problema, en definir sus fronteras, y no en cuál es el modelo que debería utilizarse.

- b) conceptualización del desarrollo como un proyecto de ingeniería:** este es un aspecto central de nuestra proposición e implica definir en la forma más exhaustiva que sea posible todas las tareas asociadas al desarrollo de la aplicación; los tiempos asociados a estas tareas; fechas y resultados intermedios; puntos de control del avance del proyecto; procedimientos de documentación. Por otra parte, una de las tareas más frecuentes y repetitivas de proyectos de este tipo son las reuniones de trabajo con equipos de profesionales de la empresa; éstas deben ser parte del calendario general del proyecto; además cada reunión debe tener definida con antelación su propósito, contenidos y requerimientos de información. Toda esta información debe vaciarse en una carta Gantt del proyecto, la que debe administrarse con alguno de los paquetes computacionales disponibles para esos efectos.

Esta formulación del desarrollo como un proyecto de ingeniería debe considerar además todos los aspectos que se definen a continuación.

- c) identificación de la solución actual:** para una adecuada comprensión del problema que se debe abordar, es necesario comprender el método que utiliza la empresa para resolver el problema en la actualidad; se deben hacer todos los esfuerzos para llevar este método a un lenguaje estructurado, ya que ello ayuda a llevar la discusión a un marco de referencia cuantitativo.
- d) definición de una métrica que permita medir la calidad de la solución actual;** esta métrica debería identificar indicadores de costo, productividad, calidad de servicio, etc. los cuales deberían consensuarse con la empresa como los indicadores que mejor representan las distintas dimensiones de las ventajas y desventajas de la solución actual.
- e) desarrollo de una intuición de cómo podría mejorarse la situación actual:** la identificación de la solución actual, así como de la métrica anteriormente mencionada, permiten provocar en forma natural una discusión, con los profesionales de la compañía, acerca de cómo podría mejorarse la calidad de dicha solución. Esta discusión debería naturalmente aterrizar en la convicción de la necesidad de utilizar un modelo formal de optimización. De este modo la etapa de modelamiento aparece como un esfuerzo conjunto del consultor con la empresa, en la que, idealmente, es la empresa la que modela, y el consultor juega un papel de facilitador.
- f) documentación del escenario en que está operando el problema e identificación de la dinámica de cambio de este escenario**
- g) documentación de los datos del problema**

- h) formulación del modelo como un proceso evolutivo**, en que tal como se indica en el punto e) anterior, la empresa participa activamente. Además, para desarrollar este proceso de modelamiento evolutivo, el proyecto debe considerar anticipadamente una capacidad adecuada de presentación y análisis de los resultados intermedios que se obtengan de las sucesivas corridas del modelo. Ello permitirá discutir en forma eficiente, con los profesionales de la empresa, los resultados que se vayan obteniendo y generar mejoras al modelo.
- i) desarrollo de una metodología apropiada para presentar los resultados del modelo**: presentar los resultados de un modelo de optimización a profesionales no expertos no es una tarea fácil; por ello, hay que desarrollar esfuerzos de agregación de los resultados y de definición de formatos de modo que éstos se presenten en un formato que sea lo más natural posible para los usuarios. Ello implicará en algunos casos desarrollar un modelo formal de la solución del modelo; es decir, construir un esquema cuantitativo que permita presentar las consecuencias de una solución en el lenguaje que sea más apropiado y natural para sus usuarios.

Muchas de las tareas anteriormente enunciadas no son delegables en profesionales sin experiencia en el desarrollo de aplicaciones de I.O. En el caso de profesores universitarios que lideran este tipo de desarrollos, es necesario convencerse que debemos pasar mucho tiempo en la empresa, haciéndonos cargo de muchas de las actividades del proyecto. Una consecuencia de esto es que los proyectos toman en general más tiempo de lo que se piensa y que su costo de desarrollo es también mayor que lo esperado.

6. Conclusiones y perspectivas.

En este artículo hemos presentado nuestra visión acerca de la relevancia de la I.O. para una gestión efectiva de las empresas en Chile y de las dificultades que es necesario superar para que estas herramientas se apliquen apropiadamente. Nos asiste la convicción de que las empresas que no aprendan a usar estas herramientas en forma rutinaria dejarán de ser competitivas en el mediano plazo. El autor de este artículo está desarrollando en la actualidad algunas de las fases de las propuestas de cambio que se han comentado; en particular, el procedimiento estructurado de desarrollo de aplicaciones ya ha sido probado con éxito en una versión preliminar, a través de aplicaciones de I.O. elaboradas en el contexto de un proyecto Fondef. En esa experiencia, hemos podido desarrollar proyectos completos (que incluye las interfases amigables de ingreso y salida de datos) en un plazo inferior a 3 meses. Adicionalmente, se están desarrollando esfuerzos sistemáticos de difusión de estas ideas al medio empresarial, a través de seminarios de sensibilización.

Referencias bibliográficas

1. “Operations Research: the next decade. Committee on the next decade in Operations Research (Condor)”. **Operations Research**. Vol.36, N°4, 1988.
2. Miser, H.J., “Presidents’ Symposium: Science and professionalism in Operations Research”. **Operations Research**. Vol.35, N°2, 1987.
3. Coates, J.F., “Preparing for the future: the opportunities and limitations for Informs in the Pacific Rim”. **Operations Research**, Vol.43, N°6, 1995.
4. Rosenhead, J., “What’s the problem: an introduction to problem structuring methods”. **Interfaces**, Vol.26, N°6, 1996.
5. Miser, H.J., “ Craft in Operations Research”. **Operations Research**, Vol.40, N° 4, 1992.
6. Gass, S.I., “Managing the modeling process: a personal reflection”. **European Journal of Operational Research**. Vol.31, 1987.
7. Corbett, C.J., L.N.Van Wassenhove, “The natural drift: what happened to Operations Research?”. **Operations Research**, Vol. 41, N°4, 1993.
8. Geoffrion, A.M., “Forces, trends and opportunities in Management Science and Operations Research”. **Operations Research**, Vol.40, N°3, 1992.