

**La investigación operativa en las Ciencias de la Salud: ¿reconocemos estas técnicas en la literatura actual?*****Operational research in the Health Sciences: Are these techniques appreciated in the current literature?***

**C. Azcárate, M. L. Eraso, A. Gáfaro**

---

**RESUMEN**

El objetivo de este trabajo es presentar aplicaciones de la investigación operativa en las Ciencias de la Salud, tanto en el campo de la organización y gestión de recursos sanitarios como en el campo de la prevención, detección y tratamiento de enfermedades. Nos centraremos en la aplicación, sin entrar en detalles técnicos de los modelos matemáticos ni de los métodos de resolución.

**Palabras clave.** Investigación Operativa. Simulación. Optimización. Ciencias de la Salud.

*An. Sist. Sanit. Navar. 2006; 29 (3): 387-397.*

---

Departamento de Estadística e Investigación Operativa. Universidad Pública de Navarra. Pamplona.

Aceptado para su publicación el 12 de julio de 2006.

**ABSTRACT**

The aim of this article is to present the uses of operational research in the health sciences, both in the field of the organisation and management of health resources and in the field of prevention, detection and treatment of diseases. we concentrate on application, without entering into the technical details of the mathematical models or the methods of resolution.

**Key words.** Operational research. Simulation. Optimisation. Health Sciences.

**Correspondencia:**

Cristina Azcárate Camio  
Dpto. de Estadística e Investigación Operativa  
Universidad Pública de Navarra  
Campus Arrosadía  
31006 Pamplona  
Tfno. 948 169214  
E-mail: cazcarate@unavarra.es

## INTRODUCCIÓN

El principal objetivo de todos los profesionales sanitarios es proporcionar una atención de calidad. Para ello, la investigación avanza en los conocimientos médicos, consigue mejores tratamientos de prevención y cura de enfermedades y mejora día a día la tecnología médica. El sistema sanitario tiene preocupaciones relacionadas con el aumento del coste del servicio, con la calidad del mismo, la insatisfacción de los pacientes, las largas listas de espera, la falta de personal médico, de espacio, de camas y de otros recursos.

La complejidad del sistema sanitario actual y su alto costo hacen deseable una eficaz y efectiva planificación y gestión de los recursos sanitarios económicos, materiales y humanos, que evite la infrautilización de la capacidad del sistema, la falta de coordinación y que garantice una atención de calidad.

Este artículo introduce una disciplina llamada Investigación Operativa (IO), que engloba una serie de modelos y métodos matemáticos que proporcionan apoyo científico para la toma de decisiones. El origen de la IO se sitúa a mediados del siglo XX, es, por tanto, una disciplina joven en continuo crecimiento y evolución, a nivel teórico y a nivel práctico. Esta disciplina científica está relacionada con la Estadística, sin duda más conocida que la IO entre los profesionales del mundo sanitario.

La literatura recoge un amplio abanico de modelos y metodologías de la IO que han sido implementados con éxito en el entorno industrial y empresarial, y que se aplican también, aunque con menor difusión, en el entorno sanitario. La IO propone, en general, métodos de solución para problemas reales que involucran la gestión de recursos generalmente escasos, con restricciones que deben cumplirse, y donde frecuentemente existen varios criterios para evaluar o medir la bondad de los posibles cursos de acción o soluciones al problema analizado.

La complejidad de muchos de los problemas actuales en el campo de las ciencias de la salud hace necesario que este tipo de estudios tenga un fuerte carácter

interdisciplinario, participando activamente en su desarrollo tanto de profesionales del mundo sanitario como de profesionales de los métodos cuantitativos.

Se considera que la primera publicación de un trabajo de IO aplicado a las ciencias de la salud data de 1952, y utiliza la teoría de colas para estudiar los mecanismos de citación en un hospital. Desde entonces, podemos encontrar en revistas científicas de perfil sanitario y de perfil matemático numerosas publicaciones encaminadas a la resolución de problemas de organización, planificación, localización y distribución de recursos sanitarios; problemas sobre predicción de la demanda; evaluación de la calidad y eficiencia de los servicios médicos; problemas relacionados con la detección y el tratamiento de enfermedades, entre otros.

Las herramientas de IO más conocidas y más utilizadas en la práctica son la simulación y la optimización.

La simulación es un amplio conjunto de métodos y técnicas matemáticas que tienen por objeto la imitación y reproducción del comportamiento de sistemas reales, habitualmente sobre un ordenador. La simulación se utiliza como sustituto de experimentos en el mundo real por diversas razones: por su elevado costo, porque pueden ser peligrosos, porque no es posible controlar ciertos parámetros, por la escala de tiempo, por razones éticas, etc. Para ello, es necesario la construcción de un modelo que constituya una buena representación de la estructura lógica del sistema y de los elementos que determinan su funcionamiento. La simulación permite incorporar en el modelo el grado de detalle deseado, posibilitando la experimentación con bajo costo y sin riesgos.

La simulación es por tanto una potente herramienta de análisis de sistemas que permite analizar y entender cómo funciona un sistema, evaluar el impacto de posibles alternativas y comparar diferentes configuraciones de funcionamiento, respondiendo a preguntas del tipo “¿qué pasaría si...?”. Así, en el contexto sanitario, la simulación se utiliza para describir y reproducir el funcionamiento de un servicio sanitario, con el fin de evaluar su funcionamiento, de

identificar ineficiencias y de analizar los resultados asociados al funcionamiento del sistema bajo diferentes posibles escenarios y diferentes procedimientos operativos. Actualmente existe en el mercado un gran número de programas informáticos (simuladores de alto nivel) que facilitan la programación de un modelo de simulación con entornos gráficos en dos y tres dimensiones, que reproducen en realidad virtual el funcionamiento del sistema que se está simulando. Alguno de ellos, como *MedModel*, está específicamente diseñado para la simulación en el entorno sanitario.

En la literatura pueden encontrarse algunas revisiones bibliográficas de aplicaciones de los modelos de simulación en la gestión y organización de recursos sanitarios<sup>1</sup>.

Las técnicas de optimización proporcionan una batería de algoritmos matemáticos exactos y de tipo heurístico, que permiten encontrar, entre los diferentes escenarios factibles, la configuración del sistema que optimice una determinada medida de funcionamiento. Estas técnicas permiten también resolver situaciones reales en las que existen varios criterios que miden la bondad del funcionamiento del sistema bajo estudio, estando, a menudo, en contradicción. Así, por ejemplo, en un sistema sanitario pueden estar en conflicto criterios de tipo económico y criterios relacionados con la calidad de atención al paciente.

Este trabajo se ha estructurado en dos partes. La primera analiza algunas de las principales aplicaciones de la IO en ciencias de la salud, tanto en el campo de la organización y gestión de recursos sanitarios como en el campo de la prevención, detección y tratamiento de enfermedades. Esta sección no pretende presentar una enumeración exhaustiva de las diferentes situaciones reales en las que se aplican técnicas de IO en el contexto sanitario, sino dar a conocer a los profesionales de las Ciencias de la Salud la utilidad y el uso aplicado actual de algunas de estas herramientas matemáticas. Nos centraremos en la aplicación, sin entrar en detalles técnicos de los modelos matemáticos ni de los métodos de resolución que se emplean en cada caso.

La segunda parte de este trabajo recoge algunas de las actividades y asociaciones o grupos de investigación que trabajan en IO y en la aplicación de estas técnicas a las Ciencias de la Salud.

## APLICACIONES DE LA IO EN CIENCIAS DE LA SALUD

Numerosas revistas científicas del área médico-sanitario han publicado artículos en los que se utilizan herramientas de IO. La mayoría de ellas están indexadas en bases de publicaciones como MEDLINE. Algunas de estas revistas son *Medical Decision Making*, *Journal of the Society of Health Systems*, *Journal of Public Health Medicine*, *Journal of Health Care Marketing*, *Journal of Medical Systems*, *Journal of Management in Medicine*, *Health Care Management Science*, *Health Services Research*, *Anesthesia and Analgesia*, *Pharmacoconomics*, *Academic Emergency Medicine*, *Current Surgery*, *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Fisics*, entre otras. Bien es cierto que el nivel y la calidad técnica en el uso de estas herramientas difiere mucho de unos trabajos a otros. Algunas de las aplicaciones que comentamos a continuación están sacadas de estas revistas, pero la selección de referencias que hacemos corresponde a publicaciones que dan especial relevancia al uso correcto y novedoso de estas herramientas matemáticas aplicadas en el contexto sanitario.

Esta sección presenta algunas de las aplicaciones de la IO en ciencias de la salud, agrupándolas en problemas de planificación, distribución y gestión de recursos sanitarios; dimensionamiento de servicios médicos; servicios sanitarios en países en vías de desarrollo; problemas relacionados con la cadena de suministro de productos médicos; estudio de la eficiencia sanitaria; estudios para la prevención y tratamiento de enfermedades y otras aplicaciones clínicas.

### Planificación, distribución y gestión de recursos sanitarios

El número de camas y la alta tasa de ocupación es un problema actual en muchos hospitales. ¿Cuál es el número adecuado de camas en un departamento

de un centro hospitalario? ¿Cuántas camas debe haber disponibles para atender la llegada de nuevos pacientes?, o lo que es lo mismo, ¿cuál es la tasa de ocupación óptima? ¿Cómo actuar ante posibles repuntes en la demanda debido a enfermedades con carácter estacional?...

Éstas son algunas de las preguntas que intentan responder numerosos trabajos aplicados en centros hospitalarios generales<sup>2</sup>, trabajos en diferentes servicios hospitalarios (medicina interna, centros geriátricos, unidades ginecológicas, etc.) y de manera especial en unidades de cuidados intensivos. Así, por ejemplo, algunos trabajos se centran en el problema de la planificación de un hospital con un número fijo de camas<sup>3</sup>. El objetivo del estudio es encontrar el balance óptimo entre el número de camas para cuidados intensivos y el de camas en los restantes cuidados. El modelo tiene en cuenta la variación de la demanda y las variaciones en los tiempos de estancia de los pacientes en ambos servicios, junto con las necesidades especiales que requiere una unidad de cuidados intensivos, tanto en aparatos médicos como en personal cualificado.

Las listas de espera son la principal causa de insatisfacción entre los usuarios de los servicios sanitarios, siendo el aspecto sanitario peor valorado por los españoles. Muchos trabajos sobre organización de servicios sanitarios centran su estudio en las listas de espera.

Así, por ejemplo, un problema que preocupa a los gestores de los servicios sanitarios es la percepción de muchos pacientes de una espera excesiva para ciertas intervenciones quirúrgicas o para la consulta con algún especialista. Algunos estudios abordan este problema mediante la construcción de un modelo de simulación como soporte de apoyo para la gestión de las listas de espera de cirugía en hospitales públicos<sup>4</sup>. Los pacientes están clasificados por el tipo de intervención y por la urgencia de la misma. El modelo de simulación sirve de apoyo en las decisiones tácticas del día a día para la gestión de la lista y para la asignación de pacientes a los hospitales; permite identificar ineficiencias o cuellos de botellas en el sistema y permite

evaluar la efectividad de políticas alternativas y de posibles redistribuciones de los recursos disponibles. Estos modelos de simulación suelen programarse en simuladores de alto nivel, que disponen de animaciones gráficas que facilitan la participación y el intercambio de ideas entre los expertos sanitarios y quienes construyen el modelo de simulación.

Un tratamiento especial tienen las listas de enfermos en espera de un trasplante. Desafortunadamente muchos pacientes mueren en Europa durante la espera de un trasplante de hígado, corazón, riñón u otros órganos vitales, por lo que es deseable una gestión eficiente de la disponibilidad de órganos para trasplantados. Un modelo de simulación permite evaluar el coste y la efectividad de varias políticas alternativas de gestión de la lista de pacientes que esperan un trasplante de hígado<sup>5</sup>. El modelo compara nueve criterios para el emparejamiento de donante-receptor en el programa de trasplantes, teniendo en cuenta factores como el estado de salud del receptor, la gravedad de su estado y el tiempo estimado de supervivencia sin trasplante, el grupo sanguíneo, la edad y el tiempo en lista. En esta misma línea se han publicado otros trabajos interesantes<sup>6</sup>.

Otro elemento de desasosiego para la inmensa mayoría de los pacientes es el largo tiempo en las salas de espera hasta que son atendidos por el personal sanitario, incluso cuando se acude a la consulta previa cita. Algunos trabajos investigan la efectividad de diferentes formas de citación<sup>7</sup>. Otros centran su estudio en encontrar el equilibrio óptimo entre la capacidad del servicio (y con ello su coste), y el tiempo de espera de los pacientes. La mayoría de ellos son estudios en servicios de un hospital (radiología, endoscopias, urgencias, servicios quirúrgicos, cuidados intensivos, terapia de radiación en oncología, etc.); otros estudian los tiempos de espera de los pacientes en los centros de atención primaria y en otro tipo de consultas como dentistas y oculistas; otras investigaciones encuentran las ubicaciones óptimas de ambulancias y de otras unidades de emergencia, con el objeto de minimizar el tiempo de respuesta a una llamada de urgencia.

La mayoría de los estudios sobre tiempo de espera de pacientes utilizan como herramientas de análisis modelos de teoría de colas y modelos de simulación<sup>8,9</sup>.

## Dimensionamiento de los servicios médicos

La simulación y la optimización son las técnicas más aplicadas para encontrar la mejor configuración de un centro sanitario, determinando el número adecuado de recursos materiales y humanos, así como la distribución óptima de los mismos. Este tipo de problemas surge tanto a la hora de planificar un nuevo servicio, como a la hora de reorganizar o mejorar el funcionamiento de uno ya existente<sup>10-12</sup>. Así, por ejemplo, se utiliza la simulación para evaluar y comparar el funcionamiento de un centro ambulatorio bajo diferentes escenarios y diferentes procedimientos operativos, en términos del número de médicos y enfermeras, del número de ventanillas de admisión y del número de salas para cada uno de los diferentes niveles de atención médica. Los objetivos del estudio suelen ser: minimizar el costo del servicio, maximizar la calidad del mismo y la satisfacción de los pacientes, y maximizar la satisfacción del personal sanitario. El conflicto entre costo y satisfacción hace necesario el uso de técnicas multicriterio en la evaluación de la eficiencia del funcionamiento del centro.

Un problema similar<sup>13</sup> se aborda con la ayuda de herramientas de simulación, optimización no lineal entera y redes neuronales, para determinar la mejor configuración de funcionamiento de un centro de donación de sangre. El estudio estimó, para distintos niveles de presupuesto, el costo de operación, el tiempo total medio de permanencia de los donantes en el sistema y el número óptimo de profesionales sanitarios en el centro.

Las enfermedades coronarias son una de las principales causas de muerte en los países desarrollados. Muchas muertes se deben a paros cardiacos que se producen fuera de centros hospitalarios y que no reciben a tiempo atención médica. Los servicios de rescate y ambulancias de la cruz roja austriaca realizaron un estudio piloto

sobre la aplicación de desfibriladores externos semi-automáticos por los servicios de emergencias. El éxito de este plan piloto condujo a la realización de un estudio de coste/efectividad<sup>14</sup> para decidir, con un presupuesto restringido, cuántas unidades de desfibriladores externos hay que asignar a cada una de las zonas geográficas. La metodología empleada en este estudio se basa en modelos de decisión en combinación con programación entera.

Los recursos humanos representan la mayor parte del presupuesto económico de muchos centros sanitarios, por lo que una adecuada planificación es deseable en aras de equilibrar la calidad del cuidado al paciente y la satisfacción de los profesionales sanitarios. La planificación operativa de la plantilla requiere la determinación de los horarios y turnos del personal sanitario.

Así, por ejemplo, un hospital necesita disponer de personal cualificado 24 horas al día y siete días a la semana. La planificación de los turnos de la plantilla para diferentes períodos de tiempo (planificación semanal, mensual, anual) está sujeta a diferentes restricciones (normativas legales, tipos de contratos, preferencias personales, cualificación profesional), así como a los distintos requerimientos específicos de cada hospital.

Dentro de este apartado podemos encontrar gran variedad de trabajos en relación con el centro de servicio en el que se estudia la planificación y asignación de tareas de la plantilla: centros de atención primaria, centros de urgencias, consultas externas, servicios de medicina interna, cardiovascular, grandes centros hospitalarios que incluyen múltiples servicios, servicios de asistencia a domicilio, etc.

La forma habitual de modelizar los problemas de planificación de plantillas es mediante un modelo de programación lineal entera que, cuando el tamaño del problema es grande, es un problema difícil de resolver por métodos exactos, aplicándose en estos casos métodos aproximados (heurísticos o metaheurísticos).

Numerosos trabajos emplean herramientas de optimización para mejorar la distribución de horarios y turnos de la

plantilla de un centro de urgencias en un hospital<sup>15</sup>. Se consideran un gran número de reglas, frecuentemente conflictivas, relacionadas con el número de turnos consecutivos permitidos, el número de horas laborables por semana, fines de semanas, turnos de noche, vacaciones, preferencias personales, antigüedad, reglas ergonómicas, etc.

El aumento de la esperanza de vida supone un incremento en las necesidades de cuidados médicos y asistenciales entre la población de mayor edad. La demanda de este tipo de servicios se estima que crecerá en los próximos años. Por ello, se requiere una buena planificación por parte de los servicios sociales y de los servicios médicos, de residencias especializadas o de asistencia individualizada en la vivienda de cada persona. Así, por ejemplo, algunos estudios se centran en la planificación a nivel operativo de la plantilla que presta atención a domicilio a personas mayores y a personas con necesidades especiales<sup>16</sup>. La plantilla está integrada por personal de limpieza, personal para ayudar en los cuidados higiénicos personales, enfermeras, médicos y asistentes sociales. Una vez establecidas las necesidades de cada una de las personas que serán atendidas en casa (qué tipo de ayuda necesita y cuántas horas semanales requiere cada tipo de ayuda), se establece el calendario y las rutas de visitas (regulares y especiales) de los trabajadores en plantilla a los distintos usuarios de este servicio a domicilio.

Los modelos de optimización se emplean también para planificar la asistencia a domicilio de pacientes enfermos de SIDA<sup>17</sup>. Este trabajo tiene en cuenta la incertidumbre en cuanto al número de pacientes que solicitarán el servicio y el nivel de cuidado requerido por cada paciente. Estos cuidados incluyen tanto la asistencia médica proporcionada por médicos y enfermeras, como la asistencia social y acompañamiento proporcionado por asistentes sociales.

Dentro de la planificación de horarios y turnos del personal médico, cabe señalar que la inmensa mayoría de trabajos centran su análisis en el personal de enfermería<sup>18</sup>. Así, por ejemplo, algunos estudios

construyen un modelo de simulación para analizar y evaluar las necesidades de personal de enfermería en unidades de cuidados intensivos<sup>19</sup>.

### **Servicios sanitarios en países en vías de desarrollo**

Los países en desarrollo tienen una gran escasez de recursos sanitarios y sufren graves enfermedades. Su esperanza de vida es muy baja en comparación con la de los países industrializados, y la mortalidad infantil suele presentar tasas muy altas. Por ello, la localización de dispensarios, centros de salud y hospitales, la distribución de recursos en estos centros, junto con la adecuada planificación de programas preventivos constituye una tarea fundamental para mejorar la salud de la población de estos países.

Los modelos de IO se utilizan en este contexto desde hace más de cuarenta años, para resolver problemas relacionados con la asignación de recursos para la prevención de enfermedades, como la tuberculosis o la malaria<sup>20,21</sup>.

La evaluación de diferentes estrategias para el control y tratamiento de enfermedades sigue siendo un problema de actualidad, con una dificultad añadida cuando las estrategias de prevención pretenden implantarse en zonas con escasa infraestructura médica y social. Muchos trabajos se centran en la prevención y tratamiento del SIDA en países africanos, donde se estima que vive el 70% de la población afectada por esta enfermedad. Por ejemplo, modelos de simulación han sido empleados para evaluar diferentes estrategias de prevención de transmisión del SIDA entre madres e hijos, en el parto o por medio de la lactancia materna<sup>22</sup>.

La escasez de centros sanitarios, junto con las dificultades de accesibilidad que sufre gran parte de la población, por razones geográficas y el escaso desarrollo de las infraestructuras de comunicación, dan una relevancia especial a los problemas de localización de servicios sanitarios en los países en vías de desarrollo. Las técnicas de IO<sup>23,24</sup> son utilizadas con éxito en el proceso de decisión de qué tipo de servicio sanitario construir (dispensarios, centro

de atención primaria, pequeñas clínicas, grandes hospitales, etc.), y dónde ubicarlos. Los estudios de localización se completan con otros estudios de asignación, reparto y distribución de los recursos sanitarios para actividades preventivas y para medicina curativa.

### **Problemas relacionados con la cadena de suministro de productos médicos a los centros sanitarios**

Una buena planificación de los problemas relacionados con la distribución de los diferentes productos y aparatos empleados en la asistencia médica, así como una buena gestión de los productos en inventario, puede reducir considerablemente el costo del servicio y tener un importante impacto en la calidad del mismo. Estos problemas de tipo logístico están siendo tratados con especial relevancia en la industria en estos últimos años y, actualmente, se empiezan a considerar también en el mundo sanitario.

Cabe señalar la variedad de productos suministrados en el contexto sanitario (jeringuillas, guantes de látex, instrumental quirúrgico, medicinas, etc.); las diferentes características de su distribución y almacenamiento (algunos de ellos son muy caros, otros con caducidades cortas, otros con requerimientos especiales para su almacenamiento, etc.); así como los problemas derivados del uso de aparatos especiales (scanner, ecógrafos, rayos, etc), que requieren operaciones de mantenimiento, reparación y sustitución.

Programas informáticos basados en modelos de optimización sirven de ayuda en la toma de decisiones relacionadas con la distribución de productos farmacéuticos a centros hospitalarios<sup>25</sup>.

### **Eficiencia sanitaria**

En las últimas décadas se han publicado numerosos artículos relacionados con la evaluación de la eficiencia de las organizaciones sanitarias. Este tipo de investigación se centra en el uso adecuado de los recursos y en identificar fuentes potenciales de ahorro o de mejora de la calidad asistencial. La medida de la eficiencia en

organizaciones sanitarias relaciona recursos consumidos con servicios producidos.

La investigación en esta área debe ser revisada cautelosamente y los resultados de los estudios interpretados y usados con mucho cuidado. La dificultad estriba en cómo medir los servicios producidos y en la calidad de los datos disponibles.

Uno de los métodos más usados para medir la eficiencia en organizaciones sanitarias es el análisis envolvente de datos (*Data Envelopment Analysis*, DEA) que se basa en modelos de programación lineal. Numerosos estudios sobre eficiencia aplican DEA para<sup>26</sup>: evaluar programas de salud rural, medir centros de atención primaria, estudiar centros de salud mental, evaluar la eficiencia de médicos de atención primaria o de un hospital, medir la eficiencia de tratamientos médicos, evaluar las unidades de cuidados perinatales, valorar a los pacientes con traumatismo craneal en unidades de cuidados intensivos, analizar la eficiencia de aparatos portátiles de diálisis, estudiar la eficiencia de servicios de urgencias, etc.

En España se han publicado numerosos estudios<sup>27</sup> usando DEA, para medir la eficiencia de centros de atención primaria, de médicos de medicina general, de mutuas de prestaciones sanitarias ambulatorias, así como el efecto sobre la eficiencia sanitaria de la especialización, de la creación de equipos de trabajo, de la descentralización sanitaria.

### **Estudios para la prevención y tratamiento de enfermedades y otras aplicaciones clínicas**

Numerosos trabajos se centran en el estudio del coste y de la efectividad de diferentes tratamientos y terapias preventivas, permitiendo la comparación de diferentes políticas de actuación. Así, algunos artículos tratan: enfermedades como la retinopatía en enfermos diabéticos; la detección y erradicación de la bacteria *Helicobacter pylori*; la detección y curación de mujeres infectadas por *Chlamydia trachomatis*; programas de prevención de SIDA; tratamientos para la osteoporosis en mujeres tras la menopausia<sup>28</sup>; prevención de enfermedades cardiovasculares<sup>29</sup>, etc.

Algunos estudios investigan el problema de inmunización infantil, desde el punto de vista biomédico, programático y económico<sup>30</sup>.

Una gran variedad de aplicaciones clínicas usan diferentes modelos de IO en la lucha contra el cáncer: intentando mejorar la precisión y la objetividad de la diagnóstico y pronóstico de cáncer de mama por medio de programación lineal<sup>31</sup>; para diseñar planes de radioterapia externa<sup>32</sup>; en la planificación de tratamientos en terapia de radiación interna y en el diseño de un sistema soporte de ayuda a la toma de decisiones clínicas<sup>33</sup>.

Por último, señalar la utilización de técnicas de optimización, algoritmos metaheurísticos y redes neuronales para la construcción de sistemas computacionales que ayudan en la interpretación de imágenes de resonancia magnética y de otros tipos de imágenes para diagnóstico<sup>34</sup>.

## ASOCIACIONES Y ACTIVIDADES CIENTÍFICAS

Existen varias asociaciones internacionales de investigadores teóricos y aplicados de la IO, de entre las que cabe señalar las siguientes.

IFORS (*International Federation of Operational Research Societies*) ([www.ifors.org](http://www.ifors.org)), que agrupa las sociedades nacionales de 45 países de Europa, América y Asia, y su misión es promover la IO tanto en el campo académico como en el campo profesional.

Desde el año 1957 organiza una conferencia trienal, esponsoriza diferentes publicaciones, entre las que cabe destacar “*International Abstracts in Operations Research (IAOR)*”, que publica cada mes y medio unos 500 resúmenes recopilados de unas 180 revistas científicas del campo de la IO, publicadas en 43 países. Proporciona además información muy variada: recursos educativos, lista de trabajos, conferencias, novedades de software, cursos, etc.

EURO (*The Association of European Operational Research Societies*), ([www.euro-online.org](http://www.euro-online.org)), cuyo principal objetivo es la promoción en Europa de la IO. Entre otras muchas actividades (conferencias, publicaciones, novedades y otro tipo de informa-

ción), EURO proporciona apoyo organizativo a varios grupos de trabajo especializados en diferentes tópicos dentro de la IO. Uno de estos grupos está centrado en las aplicaciones de la IO a los servicios sanitarios: “*ORAHS, OR applied to health services*” ([www.orahsweb.soton.ac.uk](http://www.orahsweb.soton.ac.uk)). Este grupo se define como una red de personas involucradas en la aplicación del análisis cuantitativo en la planificación, gestión y mantenimiento de los servicios sanitarios. Este grupo de trabajo tiene su origen en 1975, y desde entonces celebra una reunión anual en la que se discuten, entre otros, estudios sobre decisiones a nivel estratégico, táctico y operativo en la planificación de servicios sanitarios, en la localización de centros sanitarios y de otros recursos, y en la planificación de plantillas de personal sanitario; estudios para la evaluación del funcionamiento y la calidad de los servicios; y estudios sobre el uso de los sistemas de información como soporte técnico de decisión.

INFORMS (*Institute for Operations Research and Management Sciences*), la sociedad norteamericana de Investigación Operativa ([www.informs.org](http://www.informs.org)). Este instituto se organiza en diferentes secciones, una de ellas dedicada a las aplicaciones en el campo de las Ciencias de la Salud ([www.informs.org/Subdiv/sections.html](http://www.informs.org/Subdiv/sections.html)). Esta sección tiene el propósito de identificar problemas actuales y posibles futuros problemas en este campo y contribuir a su resolución. Asimismo, pretende participar en el desarrollo tecnológico para la investigación básica y aplicada en ciencias de la salud.

Esponsoriza la revista científica “*Journal of Health Care Management Science*”. Esta publicación interdisciplinar pretende ser foro para investigadores y trabajadores de los servicios sanitarios, y ayudar en la difusión e intercambio de conocimiento entre estas disciplinas.

La SEIO ([www.seio.es](http://www.seio.es)) es la Sociedad de Estadística e Investigación Operativa española. Esta sociedad organiza una reunión científica cada 18 meses donde se presentan trabajos de IO de tipo teórico y de tipo aplicado. La SEIO no tiene una sección específica de aplicaciones en salud,

por lo que se presentan trabajos individuales, colaboraciones aisladas entre médicos y matemáticos, que no alcanzan la difusión que contribuciones como estas tienen en otros países.

Cabe señalar que esta creciente colaboración empieza a estructurarse en reuniones específicas, como la primera jornada sobre "Matemáticas y Ciencias de la Salud", organizada por la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, que tuvo lugar en diciembre del 2005, en la Universidad Complutense de Madrid.

## CONCLUSIONES

La IO proporciona un conjunto de herramientas útiles para el análisis de problemas de gestión de recursos sanitarios, permitiendo explorar los efectos de distintas políticas y proporcionando medios para la toma de decisiones médicas.

La IO estudia un problema aplicando el método científico. Para ello, se basa en la construcción de modelos matemáticos que sean representaciones del sistema bajo estudio y su forma de operar; sobre estos modelos se aplican herramientas matemáticas para obtener soluciones; tras la validación del modelo y de su solución ésta podrá aplicarse como solución del problema real; y, finalmente, deberán establecerse controles que detecten cualquier cambio significativo de las condiciones en las que se basa el modelo, para que la solución pueda ser revisada.

La complejidad de muchos de los problemas actuales en el campo de las Ciencias de la Salud hace necesario que este tipo de estudios tenga un fuerte carácter interdisciplinario, participando activamente en su desarrollo tanto profesionales del mundo sanitario como profesionales de los métodos cuantitativos. Prueba de ello es que la mayoría de las publicaciones científicas que desarrollan las aplicaciones comentadas en este artículo están firmadas por varios autores pertenecientes a ambas disciplinas.

Los investigadores de la IO pretenden continuar proponiendo y aplicando metodologías y herramientas para participar en la resolución de los nuevos retos a los que se enfrenta la medicina y los servicios sani-

tarios en el siglo XXI. Problemas derivados de enfermedades como el SIDA, que afectan de forma alarmante a regiones como África, con pobres infraestructuras médicas y sociales; problemas relacionados con la velocidad de transmisión de enfermedades, impulsada por el uso actual de las grandes redes de transporte; la alta prevalencia de enfermedades crónicas en los países desarrollados, que crece debido a los hábitos de vida y al envejecimiento de la población; la prevención de nuevas enfermedades; los grandes avances tecnológicos y el creciente uso de las nuevas tecnologías; el incremento de la demanda de los servicios sanitarios y el aumento del costo de los mismos; los posibles cambios en la organización y coordinación entre los distintos servicios sanitarios, etc., son motivo de preocupación para los profesionales de las Ciencias de la Salud. La IO, junto con otras herramientas afines de tipo matemático y computacional, avanzan con el objetivo de proponer respuestas a estos problemas<sup>35</sup>. El reto de la investigación en IO está en el desarrollo de metodologías interactivas que sirvan de ayuda a los gestores y profesionales de las ciencias de la salud para la toma de decisiones estratégicas, tácticas y operativas en todos los ámbitos del sistema sanitario del futuro.

Por último, podemos señalar que la IO proporciona un instrumento científico para la toma de decisiones de los responsables. Sin embargo, la IO no incluye el propio proceso de adoptar soluciones, quedando esta tarea en manos de la persona responsable, que deberá elegir una solución atendiendo a las recomendaciones proporcionadas por los modelos matemáticos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. JUN JB, JACOBSON S, SWISHER J. Application of discrete-event simulation in health care clinics: a survey. *J Oper Res Soc* 1999; 50: 109-123.
2. HARPER P, SHAHANI AK. Modelling for the planning and management of bed capacities in hospitals. *J Oper Res Soc* 2002; 53: 19-24.
3. UTLEY M, GALLIVAN S, DAVIS K, DANIEL P, REEVES P, WORRALL J. Estimating bed requirements

- for an intermediate care facility. *Eur J Oper Res* 2003; 150: 92-100.
4. EVERETT JE. A decision support simulation model for the management of an elective surgery waiting system. *Health Care Manag Sci* 2002; 5: 89-95.
  5. RATCLIFFE J, YOUNG T, BUXTON M, ELDABI T, PAUL R, BURROUGHS A et al. A simulation modelling approach to evaluating alternative policies for the management of the waiting list for liver transplantation. *Health Care Manag Sci* 2001; 4: 117-124.
  6. SHECHTER SM, BRYCE CL, ALAGOZ O, KREKE JE, STAHL JE, SCHAEFER AJ et al. A clinically based discrete-event simulation of end-stage liver disease and the organ allocation process. *Med Decis Making* 2005; 25: 199-209.
  7. ROHLEDER T, KLASSEN K. Rolling horizon appointment scheduling: a simulation study. *Health Care Manag Sci* 2002; 5: 201-209.
  8. AHARONSON-DANIEL L, PAUL R, HEDLEY A. Management of queues in out-patient departments: the use of computer simulation. *J Manag Med* 1996; 10: 50-58.
  9. ASHTON R, HAGUE L, BRANDRETH M, WORTHINGTON D, CROPPER S. A simulation-based study of a NHS Walk-in Centre. *J Oper Res Soc* 2005; 56: 153-161.
  10. SWISHER J, JACOBSON S. Evaluating the design of a family practice healthcare clinic using discrete-event simulation. *Health Care Manag Sci* 2002; 5: 75-88.
  11. SWISHER JR, JACOBSON SH, JUN J, BALCI O. Modeling and analyzing a physician clinic environment using discrete event (visual) simulation. *Comput Oper Res* 2001; 28: 105-125.
  12. STAHL JE, RATTNER D, WIKLUND R, LESTER J, BEINFELD M, GAZELLE S. Reorganizing the system of care surrounding laparoscopic surgery: A cost-effectiveness analysis using discrete-event simulation. *Med Decis Making* 2004; 24: 461-471.
  13. DE ANGELIS V, FELICI G, IMPELLUSO P. Integrating simulation and optimisation in health care centre management. *Eur J Oper Res* 2003; 50: 101-114.
  14. RAUNER M, BAJMOCZY N. How many AEDs in which region? An economic decision model for the Austrian Red Cross. *Eur J Oper Res* 2003; 150: 3-18.
  15. BEAULIEU H, FERLAND JA, GENDRON B, MICHELON P. A mathematical programming approach for scheduling physicians in the emergency room. *Health Care Manag Sci* 2000; 3: 193-200.
  16. EVEBORN P, FLISBERG P, RONQVIST M. Laps Care, an operational system for staff planning of home care. *Eur J Oper Res* 2006; 171: 962-976.
  17. DE ANGELIS V. Planning home assistance for AIDS patients in the city of Rome, Italy. *Interfaces* 1998; 28: 75-83.
  18. CHEANG B, LI H, LIM A, RODRIGUES B. Nurse rostering problems, a bibliographic survey. *Eur J Oper Res* 2003; 151: 447-460.
  19. GRIFFITHS JD, PRICE-LLOYD N, DMITRIES M, WILLIAMS JE. Modelling the requirements for supplementary nurses in an intensive care unit. *J Oper Res Soc* 2005; 56: 126-133.
  20. PARKER A. Programme selection/resource allocation model for control of malaria and related parasitic diseases. *Comput Oper Res* 1975; 10: 375-389.
  21. REVELLE C, FELDMAN F, LYNN WR. An optimization model of tuberculosis epidemiology. *Manag Sci* 1969; 16: 190-211.
  22. RAUNER MS, BRAILSFORD SC, FLESSA S. Use of discrete-event simulation to evaluate strategies for the prevention of mother-to-child transmission of HIV in developing countries. *J Oper Res Soc* 2005; 56: 222-233.
  23. RAHMAN S, SMITH D. Use of location-allocation models in health service development planning in developing nations. *Eur J Oper Res* 2000; 123: 437-452.
  24. FLESSA S. Priorities and allocation of health care resources in developing countries: a case study from the Mtwa region, Tanzania. *Eur J Oper Res* 2003; 150: 67-80.
  25. SWAMINATHAN J, ASHE M, DUKE K, MASLIN L, WILDE L. Distributing Scarce drugs for the Medpin Program. *Interfaces* 2004; 34: 353-358.
  26. HOLLINGSWORTH B. Non-parametric and parametric applications measuring efficiency in health care. *Health Care Manag Sci* 2003; 6: 203-218.
  27. PUIG-JUNYOR J. Eficiencia en atención primaria de salud: una revisión crítica de las medidas fronteras. *Rev Esp Salud Pública* 2000; 74: 1-16.
  28. STEVENSON MD, BRAZIER JE, CALVERT NW, LLOYD-JONES M, OAKLEY JE, KANIS JA. Description of an individual patient methodology for calculating the cost-effectiveness of treatments for osteoporosis in women. *J Oper Res Soc* 2005; 56: 214-221.
  29. BABAD H, SANDERSON C, NAIDOO B, WHITE I, WANG D. The development of a simulation model of primary prevention strategies for

- coronary heart disease. *Health Care Manag Sci* 2002; 5, 269-274.
30. JACOBSON S, SEWELL EC, KARNANI T. Engineering the economic value of two paediatric combination vaccines. *Health Care Manag Sci* 2005; 8: 29-40.
31. MANGASARIAN OL, STREET WN, WOLBERG WH. Breast cancer diagnosis and prognosis via linear programming, *Oper Res* 1995; 43: 570-577.
32. HOLDER A. Designing radiotherapy plans with elastic constraints and interior point methods. *Health Care Manag Sci* 2003; 6: 5-16.
33. LEE EK, AIDER M. Optimization and decision support in brachytherapy treatment planning. En: Brandeau MA, Sainfort F, Pierskalla WP, editores. *Operations Research and Health Care*. Kluwer 2004: 721-740.
34. YEH JY, WU C, LIN H, CHAI J. Myocardial border detection by branch and bound dynamic programming in magnetic resonate images. *Comput Methods Programs Biomed* 2005; 79: 19-29.
35. DAVIES R, BENSLEY D. Special Issue: Meeting Health challenges with OR. *J Oper Res Soc* 2005; 56, 123-125.