

LA CONTRIBUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN OPERATIVA A LA MEJORA DE LA EFICIENCIA EN EL ÁMBITO SANITARIO

Daniel SERRA DE LA FIGUERA
Helena RAMALHINHO LOURENÇO

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la investigación operativa, según muchos autores, ha representado uno de los avances científicos más importantes desde mediados del siglo xx. Actualmente, es una herramienta utilizada en muchos campos de la administración, de la economía y de la ingeniería. Existen muchos libros de texto sobre el tema y miles de artículos científicos en revistas especializadas.

La investigación operativa tiene como base el método científico para investigar y ayudar a tomar decisiones sobre los problemas complejos de las organizaciones de hoy en día. Básicamente, la investigación operativa sigue los pasos siguientes: 1) la observación de un problema; 2) la construcción de un modelo matemático que contenga los elementos esenciales del problema; 3) la obtención, en general con la ayuda de un ordenador, de las mejores soluciones posibles con la ayuda de algoritmos exactos y heurísticos, y finalmente, 4) la calibración y la interpretación de la solución, y su comparación con otros métodos de toma de decisiones.

Un ejemplo simple, el problema de la asignación, nos puede servir para ilustrar la dificultad esencial de la investigación operativa. Un hospital tiene 70 trabajadores con cualificaciones di-

ferentes (médicos, enfermeros, ATS, personal de administración, etcétera) que hemos de asignar a 70 actividades también diferentes. Si pudiéramos determinar un valor que reflejase la asignación de un trabajador a una tarea determinada, tendríamos que escoger una entre $70!$ (factorial) formas posibles de permutación de las asignaciones que maximice el valor total. Como $70!$ es aproximadamente igual a 10^{100} , necesitaríamos un ordenador que ejecutase 1.000.000 de operaciones por segundo durante aproximadamente 10^{87} años (muchas veces la vida proyectada del universo) para examinar todas las permutaciones. Problemas de decisión como éste son muy comunes, y se tienen que desarrollar modelos de programación matemática, métodos matemáticos para obtener soluciones a los modelos y algoritmos de ordenador (procedimientos paso a paso) muy eficientes. Se dice que la investigación operativa constituye el 25 por 100 del tiempo total utilizado por los ordenadores para resolver problemas científicos.

La investigación operativa ha tenido un impacto impresionante en la mejora de la eficiencia de numerosas organizaciones en todo el mundo. Existen innumerables aplicaciones con éxito en todos los campos en los cuales la toma de decisiones es compleja y que pueden implicar para la organización grandes inversiones

o cambios organizativos que determinen su futuro. En este trabajo se pretende dar una idea de los diferentes ámbitos sanitarios en los cuales se ha utilizado con éxito la investigación operativa para mejorar las decisiones de gestión, y también mostrar algunas aplicaciones.

II. PLANIFICACIÓN Y DISEÑO DE SISTEMAS SANITARIOS

1. Planificación y estrategia

En la mayoría de los países occidentales, la planificación sanitaria se realiza a escala nacional o regional. En estos países (quizá con excepción de Estados Unidos), la interacción entre historia, cultura, economía, política y otros factores ha conducido a elaborar estrategias muy similares para proveer acceso universal y control de costes, incluyendo alguna forma de seguridad social, un sistema de pago único para todos los implicados y techos presupuestarios formales o informales. Debido a estas elecciones estratégicas, el proceso de planificación a escala nacional o regional determina ampliamente el tipo y los niveles de los servicios y tecnologías, y frecuentemente (quizás implícitamente) el nivel del personal sanitario y los niveles de servicios recibidos por la población.

La investigación operativa ha colaborado ampliamente en el diseño de estos sistemas. Por ejemplo, en el Reino Unido se desarrolló un sistema de ayuda a la decisión para planificar los recursos necesarios en servicios de tratamiento de SIDA. El modelo incorpora previsión de la demanda por categoría de pacientes, protocolos de atención y necesidades presupuestarias y

de recursos para los planificadores de centrales y locales pertenecientes al Servicio Nacional de Salud Británico (British National Health Service). También se puede de utilizar éste, con los modelos de programación matemática de planificación de atención equilibrada (1) incorporados en un ordenador personal, para determinar la necesidad de recursos y las asignaciones correspondientes para regiones y distritos sanitarios.

Otro tipo de aplicaciones se encuentra en el diseño de distritos sanitarios en función de la previsión de la demanda por categoría de pacientes y la oferta existente de los servicios sanitarios. El modelo matemático, en general, tiene como objetivo minimizar la distancia media de acceso a los servicios por parte de la población. En algunos casos, en los que se están reorganizando los distritos, algunos autores han utilizado un segundo criterio: minimizar la desviación entre los distritos existentes y los propuestos que mejoran la aceptación política. También se han aplicado modelos de programación lineal para regionalizar servicios específicos, como laboratorios, en donde se consideran los costes anuales de operación, el coste por acto, los niveles de utilización y la distancia viajada por los pacientes. En general, el objetivo consiste en la minimización de los costes totales de operación.

Otro ámbito muy importante dentro de la planificación sanitaria es el de la localización de los diferentes tipos de servicios sanitarios. La buena ubicación de ambulancias, de centros de urgencias, de centros de asistencia primaria, entre otros, es uno de los determinantes principales de la calidad del servicio. Se han desarrollado muchos modelos para poder obtener una serie de localizaciones óptimas en fun-

ción de los objetivos propuestos. En general, los modelos pueden clasificarse en tres apartados, siguiendo la tipología de sus objetivos.

El primer grupo corresponde a los modelos de cobertura. Básicamente, se trata de encontrar la localización óptima de un número fijo de servicios de forma que se maximice su cobertura dentro de un tiempo o una distancia estándar predeterminada. El segundo grupo corresponde a aquellos modelos que utilizan como objetivo la minimización de la distancia o tiempo de desplazamiento medio de los usuarios potenciales del servicio. Por último, el tercer tipo de modelos tiene como objetivo la minimización de los costes totales del servicio (costes de apertura, costes de operación y costes de desplazamiento). En general, estos modelos se basan en la programación lineal entera. En algunos casos, se combinan dos o más objetivos para poder examinar, por ejemplo, el intercambio entre el número determinado de servicios y el grado de cobertura. También se han desarrollado modelos que ubican servicios que tienen una naturaleza jerárquica, tales como centros básicos de asistencia primaria y centros con especialidades ambulatorias. Finalmente, algunos modelos combinan la ubicación óptima de servicios con el diseño de los distritos sanitarios correspondientes.

Muchos estudios se realizan a escala institucional para planificar la expansión o reducción de servicios y centros. En el campo sanitario, este problema se complica debido a la interdependencia entre servicios y entre instituciones creada por las características propias de la profesión médica, co-morbilidades de pacientes, niveles desconocidos de demanda latente y creación potencial de demanda. Para evitar

estos problemas, la mayoría de los estudios o se concentran en especialidades determinadas (obstetricia, pediatría y psiquiatría) o en grandes modelos generales de planificación. Un ejemplo del primer tipo de estudios consiste en estudiar cómo el hecho de cerrar un determinado tipo de servicio (por ejemplo, obstetricia) en algún centro puede afectar a la carga del sistema y a los resultados de una red hospitalaria. Para ello, se suelen modelizar tres factores: relación con otros servicios, redistribución de la carga de pacientes y medidas financieras.

La relación con los otros servicios determina si el hecho de cerrar el servicio en algunos lugares cambia el nivel general del servicio medido en términos de mano de obra, necesidades de camas, número de salas de parto, y medidas de resultados (que incluyen en nuestro ejemplo mortalidad neonatal, número de nacimientos, porcentaje de cesáreas). El modelo también estudia cómo el volumen de los pacientes se redistribuye entre las unidades restantes después de cerrar algunas y cómo afecta esto al nivel general de servicio en estos centros. El análisis financiero determina cómo los costes directos, específicos a un determinado servicio y marginales pueden ser utilizados para obtener el ahorro neto a la hora de cerrar algún servicio, y los costes adicionales al aumentar la carga en otros centros.

También es muy frecuente la aplicación de la investigación operativa para determinar la apertura de nuevos servicios. Por ejemplo, examinar el efecto de abrir una nueva unidad determinada en un hospital. La pregunta que, en general, se intenta responder es cómo redistribuir la capacidad existente del hospital para poder crear esta nueva unidad, en tér-

minos de camas, personal, etcétera. Para ello, es necesario conocer el flujo de llegadas al nuevo servicio y la duración del tratamiento. En estos casos, se utilizan modelos de gestión de colas y simulación, con el objetivo de encontrar el número óptimo de camas necesario para esta nueva unidad.

La simulación también se utiliza para examinar si un nuevo servicio puede mejorar la productividad, la calidad o los resultados económicos de un centro o de un sistema sanitario. Por ejemplo, varios modelos de simulación se han aplicado para estudiar los efectos de modificaciones en el tipo de atención sobre la productividad del sistema (por ejemplo, sustitución de médicos por asistentes o médicos por enfermeras en atención primaria). Estos modelos de simulación utilizan la programación lineal como herramienta básica, y se utilizan parámetros tales como las horas de funcionamiento, los recursos disponibles, los horarios de visita de los pacientes y su proceso de llegada, los tiempos y las necesidades de servicio, y la secuencia de las tareas para adecuarse a las necesidades de servicio de los pacientes. En general, este tipo de estudios se ha mostrado más eficiente que el tradicional uso de las funciones de producción para determinar la productividad, ya que incorporan en el análisis muchos más parámetros sobre el funcionamiento del sistema.

Un ejemplo de ello fue la aplicación de la simulación para estudiar los efectos sobre la productividad de la incorporación de residentes a la atención médica. Se demostró que con la incorporación de los médicos residentes se atendería un total de 393 pacientes por semana, y 208 sin ellos, y que la productividad neta aumentaría a lo largo del tiempo,

resultado que también sugería un estudio realizado con funciones de producción. Sin embargo, el modelo de simulación iba más lejos, ya que, debido a que el tiempo de supervisión médica y la congestión aumentarían durante los períodos iniciales con los residentes, habría un deterioro significativo en el tiempo de espera de los pacientes sin importantes aumentos en los resultados. Los autores concluyeron que aunque a largo plazo el uso de médicos residentes aumentaría la productividad del sistema, los costes a corto plazo pueden hacer prohibitiva su utilización, debido a las pérdidas en el número de pacientes y a los costes de supervisión.

2. Previsión de la demanda

La previsión de la demanda agregada y la previsión de censos diarios son un factor importante para mejorar la eficiencia en la utilización de los recursos disponibles para la atención sanitaria. La investigación en sanidad suele utilizar algoritmos bien conocidos en otros sectores económicos para realizar previsiones, más que realizar nuevas aportaciones metodológicas. Esto es debido a que muchos modelos de planificación como los descritos en el apartado anterior necesitan como *input* la previsión de la demanda. En efecto, la previsión de la demanda es un componente importante de la utilización de la capacidad y de la calidad del servicio en hospitales, centros de atención primaria y centros de urgencias, y casi se podría decir que en cualquier componente de lo que es la asistencia sanitaria.

La previsión de la demanda juega dos papeles: por un lado, en la determinación de necesidades agregadas para los servicios

(el lado de la demanda) y, por el otro, en la planificación censal (el lado de la oferta). El análisis de la demanda diaria determina las decisiones hospitalarias de amplio espectro, que incluyen decisiones sobre asignación de personal, servicios auxiliares, asignación de horarios de pacientes y servicios de apoyo (limpieza, comida, ropa de cama, etc.), y también decisiones que afectan a servicios sanitarios tanto de nueva creación como existentes. En este sentido, la previsión de la demanda en la atención sanitaria se parece mucho a la estructura de problemas de planificación agregada en entornos industriales y manufactureros.

Existen varias técnicas de previsión de la demanda. En primer lugar, hay las aproximaciones cualitativas tales como el análisis histórico, que utiliza el estudio de entornos similares o la historia de la propia organización para determinar la demanda futura. Esta técnica, barata y fácil de utilizar, ignora cambios ambientales y no permite analizar nuevas decisiones en un entorno diferente al conocido. Otra aproximación cualitativa es la técnica Delphi, con la cual se obtienen predicciones por un grupo de expertos a través de diversas reuniones y debates. El proceso de discusión se repite hasta llegar a un consenso. Esta técnica está sujeta a sesgos ideológicos que dificultan su utilización en entornos en los cuales las predicciones pueden no ajustarse a la visión estándar de las operaciones del sistema. Las otras áreas de previsión de la demanda utilizan una aproximación cuantitativa. En general, se basan en técnicas de regresión tales como medias móviles, mínimos cuadrados ordinarios y modelos autorregresivos tipo ARIMA (*auto-regressive integrated moving average*) de series temporales.

RECUADRO 1

Planificación y asignación de recursos en un sistema de salud mental

El organismo responsable del sistema de salud mental de un país, región o ciudad tiene, entre otras, la responsabilidad de planificar un programa de apoyo e integración de enfermos mentales de esa región, y de gestionar los recursos y servicios de tratamiento para este grupo de enfermos. Este ha sido el tema principal del trabajo desarrollado por H. Stephen Leff, Maqbool Dada y Stephen C. Graves (1986) cuyo resumen se ofrece a continuación. En este estudio se presenta un modelo general para la representación del problema de planificación y asignación de recursos de un sistema de salud mental, basado en técnicas cuantitativas tales como la relativa a cadenas de Markov y a la programación lineal y lineal entera. Este modelo es utilizado como una herramienta de ayuda a la decisión para los responsables del sistema de salud mental, permitiendo hacer un uso más efectivo de los recursos, simular escenarios futuros y dar respuesta a preguntas del tipo «¿que pasaría si...?». Su implementación se ha realizado a través de los sistemas de apoyo comunitario (*Community Support Systems*), responsables del Sistema de Salud Mental en Estados Unidos.

Las principales respuestas del modelo se dirigen a la planificación y asignación de recursos a lo largo del tiempo y a la asignación de servicios a categorías de enfermos, respetando la cantidad de recursos disponible y que cada enfermo reciba un tratamiento adecuado a su categoría. Además, el modelo permite hacer un seguimiento y evaluación del programa.

La construcción del modelo multi-período tiene tres fases:

1. Definir las categorías de enfermos. Se pretende obtener una clasifi-

ción de los enfermos en función de sus necesidades y de su respuesta a determinado tratamiento.

2. Definir un conjunto de servicios. Obtener una lista de servicios de acuerdo con las necesidades de los enfermos y con la disponibilidad de los recursos, basada en la experiencia y conocimientos médicos.

3. Planificar y asignar los recursos. El objetivo es asignar los conjuntos de servicios a las distintas categorías de enfermos a lo largo del tiempo, usando solamente los recursos disponibles en cada período y minimizando (o maximizando) un determinado objetivo.

La metodología usada en la primera fase se basa en técnicas estadísticas para la recogida de datos y la determinación del historial del enfermo. Las categorías de los enfermos se definen con base en la experiencia y conocimientos médicos. A lo largo del tiempo, los enfermos pueden salir del sistema, nuevos enfermos pueden entrar, y también los enfermos pueden cambiar de categoría como respuesta positiva o negativa a un tratamiento. Las cadenas de Markov son una técnica estadística muy estudiada que permite la representación de estos cambios por medio de las probabilidades de transición. La segunda fase se hará con base en la experiencia y conocimientos médicos.

En la tercera fase, relativa a la planificación y asignación de recursos, la metodología usada se basa en técnicas de programación lineal y programación lineal entera. La técnica cuantitativa de programación lineal es una de las más usadas para la asignación óptima de recursos en una organización. El problema se formula como un modelo multi-período de programación lineal, definiendo la función objetivo de minimización (o maximización); por ejemplo, minimizar el número de enfermos en determinadas categorías al final del horizonte temporal, construyendo las restricciones relativas a la disponibilidad de los recursos y garantías de que todos los enfermos tengan tratamiento. El paso siguiente es la resolución del problema mediante un programa informático para la obtención de la solución óptima. También se pueden simular diferentes escenarios cambiando las restricciones y/o la función objetivo en el modelo multi-período.

do de programación lineal, definiendo la función objetivo de minimización (o maximización); por ejemplo, minimizar el número de enfermos en determinadas categorías al final del horizonte temporal, construyendo las restricciones relativas a la disponibilidad de los recursos y garantías de que todos los enfermos tengan tratamiento. El paso siguiente es la resolución del problema mediante un programa informático para la obtención de la solución óptima. También se pueden simular diferentes escenarios cambiando las restricciones y/o la función objetivo en el modelo multi-período.

En el estudio comentado, los autores citan que muchos responsables de sistemas de salud han usado este modelo con éxito en la toma de decisiones estratégicas y en la definición de políticas relacionadas con la planificación y asignación de recursos en un sistema de salud. Por ejemplo, con este tipo de modelos se pueden obtener distintos escenarios variando el presupuesto y estudiar el impacto de estos cambios, sabiendo que para cada presupuesto se hace el mejor uso de los recursos disponibles, o analizar las consecuencias de abrir nuevos servicios. Con esta herramienta de ayuda a la decisión, las decisiones se basan en la mejor asignación posible de los recursos disponibles, usando técnicas cuantitativas y simulación de escenarios, y no simples decisiones subjetivas.

BIBLIOGRAFÍA

LEFF, H. Stephen; DADA, Maqbool, y GRAVES, Stephen C. (1986), «An LP planning model for a mental health community support system», *Management Science*, 32, n.º 2, páginas 139-155.

La diferencia básica entre estas técnicas, tanto cualitativas como cuantitativas, reside en el grado en el cual el juicio subjetivo influye en el modelo. Por ejemplo, la técnica Delphi intenta formalizar juicios explícitos de

expertos. Otras técnicas, como los modelos econométricos, contienen juicios implícitos (como la especificación del propio modelo). El impacto de estos juicios, sean implícitos o explícitos, sobre los resultados de la previsión

pueden ser importantes. Por ello, al escoger el modelo de previsión, se tendrían que considerar estos juicios, y los resultados se deberían comparar con los de otras aproximaciones. Del mismo modo, sería necesario reali-

zar análisis de sensibilidad para evaluar la robustez del modelo.

3. Planificación de la capacidad

La planificación de la capacidad está relacionada con las decisiones que afectan a los niveles apropiados de centros, equipos y personal para atender una determinada demanda. En la atención sanitaria, la planificación de la capacidad en general se centra en decisiones tales como el número de camas, la capacidad de los quirófanos, la asignación de la capacidad a diferentes servicios, el equipamiento en general, el de servicios auxiliares, así como los factores que afectan a la utilización de la capacidad tales como los flujos de pacientes, los niveles de personal médico y auxiliar, y las combinaciones de personal con diferentes calificaciones. Al examinar estos factores, los proveedores buscan cómo aumentar la productividad de los recursos existentes y la mejora de la calidad del servicio. En general, el objetivo es la maximización de la utilización de recursos de equipos de capital o la minimización de las ineficiencias y atrasos en la prestación de servicios sanitarios.

Muchos estudios permiten el proceso de planificación de la capacidad en un sistema de colas y utilizan la simulación para obtener resultados. Por ejemplo, para determinar la asignación de camas dentro de un hospital en general, se suele realizar un modelo de simulación que incorpora las categorías de los pacientes en función de su diagnóstico, sexo, tipo de ingreso, tiempo de la demanda, tipo de habitaciones y tipo de médico (principal o residente). Los resultados del modelo ofrecen datos sobre por-

centaje de ocupación, censo medio diario y número anual de pacientes-año. Otros datos secundarios indican las peticiones de ingreso, reservas, rechazos debido a no encontrar un día de ingreso adecuado, listas de espera y transferencias. El simulador también puede permitir la evaluación de diferentes reglas de asignación de pacientes.

Otras técnicas utilizadas en el diseño de la capacidad son los procesos de Markov y Semi-Markov, sobre todo en sistemas en los cuales el tipo de atención del paciente cambia en función de su estado de salud. En este tipo de técnicas, se calculan las probabilidades transicionales de pasar de un estado a otro para obtener el nivel esperado de utilización y la consecuente capacidad del sistema. Si se conoce la tasa de llegada en equilibrio, el tiempo medio dentro de cada unidad de atención y la probabilidad de que una unidad determinada esté a plena capacidad, entonces se pueden obtener las tasas de utilización y de servicio del sistema.

4. Evaluación de la eficiencia

La investigación operativa se utiliza con frecuencia para evaluar la eficiencia productiva de un determinado sistema. En general, se define una función frontera de un conjunto de producción formado por todas las combinaciones posibles de factores de producción y de producto final, y se intenta determinar para cada organización dentro del sistema su posición en términos de eficiencia respecto a la frontera o, más específicamente, su distancia respecto a ella. Las distancias más comunes son o en términos de los factores de producción —es decir, la cantidad de factores utilizada con respec-

to a la que sería suficiente, dado un nivel de producto, si la actividad fuese eficiente— o en términos de producto, que es la cantidad máxima de producto que se alcanzaría si la unidad fuera eficiente, dado el nivel de factor consumido.

Cuando la frontera se determina sin una función de producción específica, pero con unas propiedades formales que satisfacen los puntos del conjunto de producción (como, por ejemplo, la libre disponibilidad de *inputs* y *outputs*), se utiliza una aproximación no-paramétrica, que en general usa la programación lineal como herramienta para determinar la frontera. Por otro lado, a veces se especifica una forma funcional con parámetros constantes, estimándose estos parámetros de manera que las observaciones queden sobre o por debajo de la función. Con respecto a esta función, se mide la eficiencia, que será distinta según la forma funcional especificada a priori. Ésta es una aproximación paramétrica. El avance de la investigación en este campo en los últimos años ha sido enorme, y existen un sinnúmero de aplicaciones para determinar la eficiencia de un determinado servicio en concreto, o de los centros hospitalarios en general pertenecientes a una red sanitaria.

III. GESTIÓN DE OPERACIONES

1. Sistemas de información sobre la gestión

Hoy en día, el nivel de complejidad de las operaciones dentro de cualquier organización tiende a ser muy elevado. La gestión sanitaria no se escapa de esta complejidad, sino que la aumenta. El volumen de información ne-

cesario es muy grande, y abarca tanto la necesidad de controlar la gestión económica como la de generar información médica que pueda ser utilizada para mejorar la calidad del servicio. Actualmente, se han desarrollado muchos modelos de información sobre la gestión en el campo sanitario. En general, estos sistemas se combinan con algunas herramientas de ayuda a la decisión para mejorar el grado de reacción de las decisiones, la calidad de la atención y la productividad.

Las mejoras en la atención pueden obtenerse debido a la reducción en el tiempo de espera de la ejecución de las acciones a realizar determinadas por el médico y la eficaz disponibilidad de los resultados obtenidos, la eliminación de servicios innecesarios, la reducción de errores y un aumento en la satisfacción de los pacientes. Se consiguen aumentos en la productividad gracias a la disponibilidad de datos para la decisión sobre asignación de personal, horarios y utilización de equipos, y por la eliminación de acciones y sistemas redundantes.

2. Programación de pacientes externos e internos

El control de la demanda de servicios a través de la correcta programación de los pacientes puede ser un método muy eficaz para ajustar la demanda a los servicios disponibles. Se puede decir que la programación de pacientes en clínicas para servicios externos e internos es una de las aplicaciones más antiguas de la investigación operativa para mejorar la atención sanitaria. Desde los años cincuenta, la investigación operativa ha estudiado extensamente este problema.

En el caso de pacientes externos, la metodología más utilizada es la de gestión de colas junto con simulación. La mayoría de los modelos utilizan como parámetros principales el tiempo medio de consulta, el coeficiente de variación de ésta, la desviación estándar de la puntualidad de los pacientes y el número total de citas para obtener resultados sobre el tiempo medio de espera, el tiempo durante el cual un servicio está desocupado y las horas extras del personal médico. El objetivo consiste en encontrar una organización del sistema (número de médicos y personal auxiliar, organización de la cola, tiempo de asistencia) que minimice el tiempo de espera de los pacientes mientras se mantienen los servidores ocupados. Actualmente, se utilizan tres tipos de modelos de programación de pacientes externos: programación por bloques, programación modificada por bloques, y programación individual.

En la programación por bloques, un número determinado de pacientes es citado dentro de un mismo intervalo horario (por ejemplo, de 9:00 a 13:00) y es atendido con sistema FIFO (2). Este sistema suele generar un largo tiempo de espera, alta congestión y tiempo libre mínimo para el personal. La programación modificada por bloques reduce los intervalos horarios. Tiene algunas características muy parecidas al sistema de bloques, pero reduce el tiempo de espera de los pacientes. Por otra parte, el sistema individualizado de asignación de horarios, en general, consigue menores tiempos de espera que los otros dos sistemas, sobre todo si las citas previstas no son significativamente menores que el tiempo de servicio. Sin embargo, para este sistema se necesita mucha información sobre las necesidades y las

enfermedades de los pacientes, y a veces es necesario realizar clasificaciones por parte del encargado de la agenda, y sucesos imprevistos pueden causar serios problemas en ésta.

En el caso de la gestión de citas para pacientes internos, los modelos suelen ser más complejos. El problema tiene tres dimensiones: primero, programar diariamente los ingresos selectivos junto con los provenientes de urgencias dentro de cada unidad del hospital; segundo, asignar los pacientes internos a las unidades apropiadas de tratamiento y diagnóstico durante su estancia en el hospital, y tercero, programar las altas hospitalarias y las transferencias a otros centros. Es obvio que estas tres actividades están ligadas entre sí y dependen mucho de las características de los pacientes y del hospital. En general, la metodología utilizada se basa en las cadenas de Markov: programación matemática, sistemas expertos, heurísticas y simulación.

Existen otros métodos más tradicionales asociados con la rutina de la organización. Debido a la información precaria sobre la previsión de la demanda y sobre el funcionamiento interno, y a la complejidad antes descrita, la mayoría de hospitales utilizan métodos informales o *ad hoc*, que conducen a una mala planificación del tamaño de los servicios, la asignación de personal y la utilización de la capacidad, provocando serias ineficiencias en forma de horas punta y horas valle de utilización. Las horas valle suelen crear problemas de exceso de contratación. Las horas punta provocan congestión y, debido a las características intrínsecas del personal de un hospital, no es fácil corregir esta congestión con contratación temporal. Todos estos factores abocan a una reducción de la calidad del

RECUADRO 2

Programación de servicios de salud a domicilio

En la actualidad, existen diversas organizaciones que ofrecen servicios de salud en el domicilio de los pacientes, tales como servicios de enfermería. El principal objetivo de estas organizaciones es hacer un uso eficiente de sus recursos para mejorar la calidad del servicio e incrementar la productividad, pero, al mismo tiempo, reduciendo costes. El principal recurso de estos servicios de salud es el personal de enfermería que se desplaza al domicilio de los pacientes. De este modo, uno de sus principales problemas es hacer la programación semanal y diaria de las visitas de cada enfermera disponible al domicilio de los pacientes y determinar el orden de las visitas, minimizando costes y garantizando una determinada calidad de servicio.

Begur, Miller y Weaver (1997) presentan un sistema de ayuda a la decisión para la programación semanal y diaria de las visitas de personal de enfermería a pacientes en su propio domicilio. El proyecto ha sido realizado por la Universidad de Alabama (EEUU) y por la Visiting Nurses Association, que está usando el sistema. En Estados Unidos existen más de 10.000 organizaciones que ofrecen servicios de enfermería o salud en general a domicilio, y su tendencia es la de crecer en el futuro próximo.

El sistema de ayuda a la decisión tiene los siguientes componentes: una base de datos, un sistema de información geográfico, un sistema de programación semanal y diaria de visitas, y un sistema de interfase visual.

El sistema de base de datos incorpora todos los datos relativos al personal, los enfermos, las visitas realizadas y a realizar, y un análisis de productividad.

En algunos casos, también se ha incorporado una conexión al sistema informático de contabilidad de la organización. La información obtenida en este sistema sirve de base para el sistema de programación y de interfase visual.

Una de características que más facilitan el uso de todo el sistema es la incorporación de un Sistema de Información Geográfica (SIG). El software escogido es el MAPINFO. Este sistema permite visualizar la programación del personal, en global o en particular, para cada categoría de profesionales, mediante mapas digitalizados de la región. Además, la modificación de los planes se torna muy sencilla y fácil de hacer.

El problema de la programación semanal y diaria de las visitas se resuelve mediante técnicas cuantitativas de optimización combinatoria, conocidas como heurísticas. Estas técnicas permiten obtener el orden de visitas y el horario para cada enfermero, minimizando los costes de viaje, o sea de trabajo no productivo, y garantizando que se respeta el horario de trabajo de los enfermeros, y los requisitos especiales de cada paciente, en términos de tiempo y servicio de enfermería adecuado. La heurística implementada se basa en una adaptación al problema específico de la conocida heurística de Clark y Wright para problemas de ruteo de vehículos.

Finalmente, el sistema de interfase visual permite al usuario ver la programación diaria en un mapa, y también otro tipo de información como, por ejemplo, el orden de las visitas a realizar en determinado día para cada enfermera/o, el horario de las visitas y su carga horaria total. También permite al usuario modificar la programación de una forma muy

fácil y sencilla, y hacer análisis de distintos escenarios.

El sistema de ayuda a la decisión para la programación de las visitas ha sido adoptado por la Visiting Nurses Association y otras instituciones, y ha sustituido a la programación manual, que era la herramienta más usada hasta ese momento. Para utilizar este sistema, se necesita un PC, lo que permite hacer la programación en muy poco tiempo, de una forma consistente y fiable, y ahorrando tiempo de personal cualificado en la preparación de los planes. Las soluciones iniciales obtenidas por el sistema reducen de forma significativa los tiempos de viaje. El sistema de información geográfica y el interfase gráfico han permitido una fácil aceptación y aprendizaje del uso del sistema. Además, permite al usuario hacer análisis de diferentes escenarios, cambiando la solución inicialmente propuesta por el sistema. Otra prestación del sistema es la obtención de la documentación de cada enfermero, indicando para cada uno el orden de las visitas, el horario y mapas con la ubicación de los domicilios a visitar, ahorrando de este modo la pérdida de tiempo en la búsqueda de los domicilios de los pacientes. Los autores calculan que para un escenario con siete enfermeros y 40 visitas por día, se ahorran con este sistema cerca de 20.000 dólares al año en costes de viajes, de personal y de preparación de la documentación.

BIBLIOGRAFÍA

- BEGUR, S. V.; MILLER, D. M., y WEAVER, J. R. (1997), «A integral spacial DSS for scheduling and routing home-health-care nurses», *Interfaces*, 27: 4, págs. 35-48.

3. Gestión y planificación de recursos humanos

La gestión de los recursos humanos juega un papel primordial en el día a día de los sistemas de atención sanitaria. Esto es debi-

servicio y a un aumento de costes. Estos problemas pueden ocurrir en todos los niveles de la institución. Por otro lado, la utilización de métodos cuantitativos analíticos puede mejorar muchos de estos problemas, y conseguir

una utilización más efectiva y eficiente de los recursos disponibles.

do, entre otros factores, a que el coste de personal suele representar la partida más grande dentro de los costes de operación del sistema. De ahí que, cada vez más, los gestores se centren más en buscar una mejor administración, al enfrentarse a presupuestos más restrictivos. Como en otras organizaciones, la habilidad de asociar los recursos humanos a la fluctuación de la demanda afecta directamente a la eficiencia en las operaciones y a la calidad del servicio. El desarrollo de nuevos métodos para gestionar el personal médico y de enfermería puede contribuir en gran parte a la reducción de los costes en la atención sanitaria.

Si bien, en principio, la gestión de recursos humanos en el ámbito sanitario puede parecer un problema similar al de cualquier organización (uno necesita las personas adecuadas en el sitio adecuado y en su momento adecuado), esto no siempre es así, debido a varios factores que complican seriamente el problema.

En primer lugar, existe una interrelación entre los diversos colectivos altamente especializados y cualificados que tienen que estar disponibles en un momento determinado para pacientes diferentes. Estos colectivos incluyen personal de enfermería, de rehabilitación, médicos, técnicos y otros. El personal tiene que estar disponible 24 horas al día, considerando las fluctuaciones de la demanda. También este tipo de personal tiene sus preferencias horarias y condiciones de trabajo. Muchos de ellos también funcionan como profesionales independientes, lo que dificulta su flexibilidad horaria. En segundo lugar, en general es muy difícil medir la calidad del trabajo, lo que provoca problemas cuando se pretende encon-

trar la combinación correcta de los profesionales necesarios para una atención adecuada. En tercer lugar, en la mayoría de las carreras profesionales existe una estructura organizativa plana, con pocas posibilidades de mejora. Como consecuencia de ello, la gestión de recursos humanos tiene que estar enfrentándose continuamente a mantener la satisfacción del personal durante años, e incluso décadas, para evitar costes de absentismo laboral y rotación de personal, y reducir el descontento.

La mayoría de los estudios basados en la investigación operativa se han concentrado en la gestión del personal de enfermería. Otras aplicaciones se encuentran en la gestión del personal de laboratorio, el departamento de urgencias, de terapia respiratoria, y en el ámbito de los sistemas de sanidad gestionada, o HMO (3). Una vez más, las técnicas más utilizadas incluyen la programación matemática, la gestión de colas y la simulación. Por ejemplo, una manera de gestionar la enfermería es organizarla en una jerarquía de tres niveles de decisión que operen en períodos de tiempo diferentes y con precisión también diferente. Estos son: asignaciones correctivas, diseño de turnos y planificación del personal. Las asignaciones correctivas se realizan diariamente, el diseño de turnos de los enfermeros se diseña para un período de entre cuatro y ocho semanas, la planificación de personal se suele hacer a un año vista.

En un determinado día, y dentro de un turno, la capacidad de personal entre las unidades puede ajustarse a fluctuaciones de la demanda y a absentismo no previsto. Estas asignaciones correctivas dependen de las preferencias individuales de los empleados, de su disponibilidad y

de su capacitación. El diseño de turnos consiste en asociar la disponibilidad de personal a la carga de trabajo esperada en las diferentes unidades. Para cada empleado, se determinan los días de trabajo y de descanso, y la rotación en un período determinado. En este caso, las preferencias individuales y las necesidades tienen que ser consideradas para evitar la insatisfacción. Estos dos niveles de decisión son tácticos, ya que conciernen a la utilización de un personal ya contratado por la organización con sus conocimientos y especialidades. El tercer nivel corresponde al de las «grandes decisiones», en el que se determinan las necesidades a medio y largo plazo de personal por categorías y especialidades.

La mayoría de los modelos estudian los dos primeros niveles. En muchos casos, se utilizan modelos económétricos de previsión para predecir el diseño de turnos y las necesidades de horas de personal por unidad. Otros modelos se basan en la gestión de colas y en la combinación de ésta con programación lineal entera mixta, esto es, modelos lineales de optimización en los cuales algunas de las variables sólo pueden tomar valores enteros.

IV. GESTIÓN MÉDICA

1. Cribaje de enfermedades

La introducción y mejora de tests para detectar enfermedades ha implicado un serio avance en el diagnóstico médico y en la detección de patologías. Estos tests se puede aplicar individual o colectivamente a un sector de la población. Estos dos tipos de cribaje requieren una modelización diferente porque implican objetivos diferentes para los de-

cisores, y las restricciones, parámetros y variables del modelo pueden cambiar considerablemente. Por ejemplo, en los cribajes poblacionales, el objetivo puede ser la minimización de la prevalencia de una enfermedad contagiosa en una población sujeta a las restricciones de recursos. Para un individuo, el objetivo puede ser la prolongación de la vida (o de su calidad), y las restricciones pueden estar asociadas a la capacidad o disponibilidad de pago y los parámetros de las características individuales de los pacientes. En cada caso, los decisores son también diferentes: a escala colectiva, puede ser el director de un servicio de salud o gestor de salud pública de una región, y a escala individual, el propio paciente o su médico.

Los programas de cribaje masivos se han utilizado en muchas áreas médicas, tales como el SIDA, hepatitis A, B, no-A, no-B, tuberculosis, sífilis y otras enfermedades infecciosas. En algunos países existen protocolos de cribaje tanto para enfermedades contagiosas como no contagiosas, para realizar programas nacionales de salud. Por ejemplo, en el Reino Unido existe un protocolo de cribaje poblacional para la detección de cáncer de cuello de útero, destinado a reducir la prevalencia de la enfermedad y a salvar vidas.

Uno de los problemas de estos cribajes masivos es su coste total. Por un lado, tenemos unos costes directos asociados, tales como el personal y el material necesarios para administrar el cribaje. Por otro lado, tenemos unos costes indirectos que pueden ser muy elevados, tales como la inconveniencia y la incomodidad posible del propio test, el coste de falsos positivos, que implica la realización de cribajes secundarios y un *stress* emocional,

nal, e incluso el riesgo de daño físico sobre la persona (por ejemplo, el efecto acumulado de exposición a rayos X o daño por una cirugía innecesaria). Por lo tanto, al diseñar un cribaje, hay que tener en cuenta, entre otras cosas: 1) el intercambio entre el coste del test, que aumenta tanto con la frecuencia de su aplicación como con la precisión del test utilizado; 2) el instrumento de aplicación y las tecnologías existentes; 3) la frecuencia de aplicación; 4) el tamaño de la muestra; 5) los problemas logísticos asociados a la implementación del cribaje, y 6) la prevalencia de la condición a cribar.

Los estudios epidemiológicos son una de las áreas de investigación más desarrolladas dentro del diseño de cribajes. Estos estudios se preocupan de desarrollar modelos descriptivos de los procesos de la enfermedad, su progresión y los factores causales. En el caso de enfermedades contagiosas, se han desarrollado modelos estadísticos y matemáticos (de ecuaciones diferenciales) para describir el crecimiento, la madurez y el declive de varias enfermedades específicas. Otro campo de investigación asociado al cribaje es el estudio del mantenimiento; es decir, la modelización de la toma de decisiones sobre la inspección y conservación de unidades o sistemas sujetos a deterioro u obsolescencia. En este caso, se aplican modelos que incluyen la programación matemática y la simulación.

Los modelos de cribaje individual incorporan, frecuentemente, información sobre la progresión de la enfermedad, e intentan minimizar la diferencia entre el tiempo esperado de detección de la enfermedad y su aparición, o maximizar la diferencia entre el tiempo de detección a través del cribaje y el tiempo de auto-detección o de aparición de síntomas evidentes de la enfermedad. Estos modelos tienen una estructura temporal para el individuo, porque éste, a lo largo de su vida, está sujeto a probabilidades condicionales diferentes de que aparezca la enfermedad. Por lo tanto, la programación temporal de los cribajes se determina secuencialmente con la utilización de resultados anteriores, o simultáneamente para toda la vida; por ejemplo, cada x años.

Muchos estudios han sido elaborados para obtener un uso eficiente de los cribajes a escala individual. Se ha demostrado que, en general, utilizando la etiología y el progreso de una enfermedad y su relación con la efectividad de éste, la fiabilidad del cribaje y el tiempo de detección pueden ser modelizados más como una función del estado de la enfermedad que como su incidencia por defecto. Por ejemplo, en el caso de detección de cáncer de mama, se han desarrollado modelos matemáticos para explicar su evolución, y después se utilizan los resultados para diseñar el cribaje óptimo. La tasa de la progresión de la enfermedad fue explícitamente incluida como un factor que afecta a la probabilidad de detección de la enfermedad. Otros modelos de detección de cáncer de mama incluyen dos atributos que comportan información sobre la efectividad del cribaje: la mamografía y la edad del individuo. Modelizando estos factores como variables aleatorias, se pueden derivar resultados analíticos para la sensibilidad (tasa positiva verdadera) y la especificidad (tasa negativa verdadera) de los procedimientos de test, utilizando repetidamente una aproximación basada en la estadística bayesiana. Este tipo de trabajos se ha extendido a otros tipos de cáncer, tales como los de colon y de cérvix, y

también a enfermedades no-cancerígenas ni contagiosas, como puede ser la detección de glaucoma.

2. Decisión clínica

La contribución de la investigación operativa a la prevención de enfermedades y a la gestión de pacientes constituye una extensa y creciente área de investigación sobre servicios sanitarios. Esta área se configura como un híbrido que reúne las matemáticas, el análisis estructural de la investigación operativa y las metodologías de obtención de soluciones (optimización, heurísticas, simulación), junto con un conocimiento profundo de los aspectos biológicos, económicos y sociales de la atención sanitaria.

El *análisis de decisiones* se ha convertido en un instrumento ampliamente utilizado a la hora de analizar decisiones médicas y la eficiencia de la práctica clínica. Uno de los primeros principios al estudiar una decisión en donde existe riesgo e incertidumbre es la determinación de los atributos, la estructura y los resultados de la decisión, junto con sus probabilidades concomitantes. En general, se usan árboles de decisión para mostrar las probabilidades, resultados y nodos de decisión para problemas complejos, tales como tratamientos de irradiación de tiroides durante la infancia o tratamientos de enfermedades en arterias coronarias. El aspecto principal a determinar en este tipo de árboles es la identificación de nodos críticos o de aquellas variables que son importantes a la hora de tomar la decisión, o que el tomador de decisiones quiere modificar. En segundo lugar, se sitúa el análisis de sensibilidad de los parámetros del modelo, con especial atención a las probabilidades fi-

jadas ex ante, para examinar cambios en los resultados y la robustez del modelo.

Otras aplicaciones de decisión clínica se encuentran en lo que se denomina *mejora del resultado*, es decir, intentar mejorar la precisión de los diagnósticos en condiciones agudas y/o crónicas, y mejorar los resultados de las estrategias de cribaje. Un ejemplo de este tipo de aplicaciones consiste en intentar modelizar el tratamiento farmacológico de la hipertensión. En primer lugar, se desarrolla una representación estocástica del tratamiento de hipertensión que predice el resultado de regímenes de tratamiento hipertensivo observados en situaciones clínicas. Esto se realizó en la práctica utilizando *inputs* de expertos para determinar los diferentes protocolos de tratamiento y los resultados asociados. Se incluyeron en el estudio la efectividad del régimen de tratamiento, efectos colaterales, costes, síntomas de hipertensión, y se utilizaron como resultado las diferencias entre la presión sanguínea presentada por el paciente y la normal (14/9). Con estos parámetros se pudieron determinar las probabilidades de que un paciente tuviera la presión sanguínea controlada en una visita determinada. A continuación, se obtuvieron, a través de expertos en el tema, las probabilidades de que un paciente no vuelva a la consulta cuando su presión no está controlada, y de que los pacientes se pierdan. Estos parámetros se incluyen en un algoritmo que determina el tratamiento óptimo con la información obtenida. Dichos resultados fueron validados comparándolos a estudios sobre resultados de tratamientos alternativos.

El análisis coste-beneficio (ACB) y el análisis coste-efectividad (ACE) se encuadran en una

tercera área, en la cual la investigación operativa ha contribuido sustancialmente al avance de la gestión médica. En primer lugar, la investigación operativa puede ser útil para identificar los costes sanitarios netos, que incluyen costes directos de atención médica, más los costes debido a efectos colaterales negativos del tratamiento, menos el coste de la morbilidad, ya que estos últimos representan los ahorros de los que se beneficia el sector sanitario debido a la prevención de la enfermedad. En segundo lugar, su contribución radica en ayudar a determinar la efectividad sanitaria neta, es decir, el aumento de años de vida debido al tratamiento, más el aumento de años ganados gracias a la eliminación de la morbilidad. Después se restan los años de vida perdidos debido a efectos colaterales. Estos años, en general, se ajustan por calidad de vida, o QALY (4). De aquí se obtiene la *ratio* coste-efectividad (costes dividido por los efectos netos).

El análisis coste-beneficio, por otro lado, pone un valor monetario a los efectos netos y después examina si los beneficios son superiores a los costes. Sin embargo, este sistema suele ser controvertido porque obliga a evaluar la vida humana en algunos casos. Existen varias técnicas para obtener este valor, que incluyen la disponibilidad a pagar o la valoración de capital humano. Por su parte, el ACE determina la eficiencia relativa de un tratamiento determinado y, comparando con tratamientos de enfermedades o condiciones similares, se pueden identificar una frontera eficiente y un tratamiento «óptimo». Sin embargo, esta comparación resulta difícil en muchos casos, porque cada tratamiento puede tener estructuras diferentes tanto de proceso como de resultado. Por lo tanto, la

mayoría de decisiones se destina más a la mejora de la eficiencia que a la obtención de optimidad.

Un ejemplo de aplicación de técnicas de investigación operativa dentro del ACB es la decisión de inversión en tecnología. Por ejemplo, se puede simular una función de utilización de equipamiento y, a través del análisis de Monte Carlo, junto con la información de los costes de inversión, se puede determinar bajo qué patrones de utilización la inversión es rentable.

V. CONCLUSIONES

Como se ha visto en este trabajo, la investigación operativa se utiliza en muchos de los ámbitos relacionados con la atención sanitaria. Cada vez más, se utilizan estas técnicas para ayudar al decisor a tomar decisiones complejas en un mundo en donde los presupuestos son cada vez más restrictivos y los recursos más escasos. Por otro lado, gracias al avance en el mundo de la informática, tanto en cuanto a equipos (*hardware*) como en cuanto a programas (*software*) específicos, su aplicación resulta cada vez más sencilla y su abanico cada vez más amplio. Por un lado, problemas que no

podían resolverse hace una década hoy son triviales en términos de tiempo de ordenador; por otro lado, cada vez más se desarrollan sistemas «expertos» que simplifican y, por lo tanto, facilitan mucho la programación de los modelos. También existen muchas revistas especializadas y manuales de investigación operativa para todos los niveles.

NOTAS

(1) *Balance of care (BOC) models.*

(2) *First in, first out*, el primero que llega es el primero en ser atendido.

(3) *Health maintenance organizations*, organizaciones para el mantenimiento de la salud.

(4) *Quality-adjusted life years*, años de vida ajustados por calidad.

Resumen

La investigación operativa tiene una presencia importante en la gestión y planificación de sistemas sanitarios. Si bien muchos problemas con los cuales se enfrentan los gestores y responsables en organizaciones sanitarias no son analíticamente diferentes de problemas en otras industrias, muchos otros son bastante peculiares debido a algunas de las características intrínsecas de los sistemas de atención sanitaria. Algunas de estas características son la posibilidad de muerte o calidad baja de vida, la dificultad de medir adecuadamente el valor y la calidad de los resultados obtenidos, la toma conjunta de decisiones por diversos colectivos de índole muy diferente (personal médico, de enfermería, gestores), los mecanismos de pago por parte de terceros de los diagnósticos y los tratamientos, y el concepto del acceso a la atención sanitaria como un derecho universal. Este artículo no pretende examinar exhaustivamente la literatura sobre investigación operativa en el campo sanitario, sino dar una idea de los diferentes ámbitos sanitarios en los cuales se ha utilizado con éxito la investigación operativa para mejorar las decisiones de gestión y mostrar algunas aplicaciones que se han producido en ellos.

Palabras clave: gestión sanitaria, investigación operativa.

Abstract

Operational research plays a major role in health system management and planning. Although many of the problems faced by health organization administrators and directors are not analytically different from problems in other industries, many others are rather special due to some of the intrinsic features of healthcare systems. These features include the possibility of death or low quality of life, the difficulty of measuring suitably the value and quality of the results obtained, joint decision making by various groups of a very different nature (medical staff, nursing staff, administrators), the mechanisms of payment for diagnoses and treatment by third parties, and the concept of access to healthcare as a universal right. This article does not aim to carry out an exhaustive examination of the literature on operational research in the health field but to give an idea of the different health spheres in which operational research has been used to improve management decisions and to show some applications that have taken place in them.

Key words: health care management, operations research.

JEL classification: C61, C63.