

Toma de decisiones en el sistema de salud: aportes interdisciplinarios desde la Economía de la Salud y la Ingeniería de Sistemas de Procesos*

María-Florencia Arnaudo**

Univesidad Nacional del Sur, Argentina

Fernando-Pablo Lago***

Univesidad Nacional del Sur, Argentina




José-Alberto Bandoni****

Univesidad Nacional del Sur, Argentina

<https://doi.org/10.15446/ede.v30n56.78681>

Resumen

Los administradores de los sistemas de salud constantemente deben tomar decisiones referidas a su diseño y planificación, su gestión, y la evaluación de sus operaciones, entre otras. En este contexto, es necesario contar con una visión integral de los problemas, lo cual se puede lograr a partir de la conjunción de los métodos e instrumentos de la Economía de la Salud con la Ingeniería de Sistemas. El objetivo de este trabajo es reflexionar sobre las posibilidades de lograr mejoras en los sistemas de salud a partir del desarrollo del trabajo interdisciplinario entre dichas ciencias. Para ello, se exponen los objetivos de la Economía de la Salud y la Ingeniería de Sistemas de Procesos como disciplinas científicas, y se revisan algunas aplicaciones de este enfoque, que permite el diseño de herramientas

-
- * **Artículo recibido:** 24 de marzo de 2019/ **Aceptado:** 02 de septiembre de 2019/ **Modificado:** 27 de septiembre de 2019. El artículo es resultado de la tesis de Doctorado en Economía realizada por María Florencia Arnaudo bajo la dirección de José Alberto Bandoni y Fernando Pablo Lago. Este trabajo fue realizado en el marco de tres proyectos de investigación: "Cobertura universal en salud" y "Planeamiento óptimo de sistemas industriales, agronómicos y de la salud" financiado por la Universidad Nacional del Sur, e "Inclusión social sostenible: innovaciones y políticas públicas en perspectiva regional", proyecto unidad ejecutora financiado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).
- ** Doctora en Economía por la Universidad Nacional del Sur (Bahía Blanca, Argentina). Asistente de docencia del Departamento de Economía en la Univesidad Nacional del Sur y becaria posdoctoral en IIESS, UNS-CONICET (Bahía Blanca, Argentina). Correo electrónico: marnaud@uns.edu.ar  <https://orcid.org/0000-0003-2533-6689>
- *** Doctor en Economía por la Universidad Nacional del Sur (Bahía Blanca, Argentina). Profesor asociado del Departamento de Economía en la Univesidad Nacional del Sur. Investigador en IIESS, UNS-CONICET (Bahía Blanca, Argentina). Correo electrónico: flago@uns.edu.ar  <https://orcid.org/0000-0002-0293-5075>
- **** Doctor en Ingeniería Química por la Universidad Nacional del Sur (Bahía Blanca, Argentina). Profesor titular del Departamento de Ingeniería Química en la Univesidad Nacional del Sur e Investigador superior en PLAPIQUI, UNS-CONICET (Bahía Blanca, Argentina). Correo electrónico: abandoni@plapiqui.edu.ar  <https://orcid.org/0000-0002-9475-3825>

Cómo citar/ How to cite this item:

Arnaudo, M. F., Lago, F. P. & Bandoni, J. A. (2020). Toma de decisiones en el sistema de salud: aportes interdisciplinarios desde la Economía de la Salud y la Ingeniería de Sistemas de Procesos. *Ensayos de Economía*, 30(56), 136-150. <https://doi.org/10.15446/ede.v30n56.78681>

para asistir en la toma de decisiones referidas a la asignación de los recursos en el sector salud. Se concluye que el modelamiento matemático, propio de la ingeniería puede ser utilizado para asesorar a los tomadores de decisiones, proporcionando información útil sobre las estrategias óptimas, teniendo en cuenta las restricciones de carácter político, presupuestarias, técnicas y de equidad propuestas por los economistas de la salud.

Palabras clave: toma de decisiones; sistemas de salud; Economía de la Salud; Ingeniería de Sistemas.

JEL: A12; I10; I19; C02.

Decision-Making in the Healthcare System: Interdisciplinary Contributions from Health Economics and Process Systems Engineering

Abstract

Health system administrators must constantly make decisions regarding its design and planning, its management, and the evaluation of its operations, among others. In this context, it is necessary to have a comprehensive vision of the problems faced by health systems, which can be achieved by combining the methods and tools provided by Health Economics and Systems Engineering. The aim of this work is to reflect on the possibilities of achieving improvements in health systems from the development of interdisciplinary work between these sciences. For this, the objectives of Health Economics and Process Systems Engineering as scientific disciplines are presented, and some applications of this approach, which allow the design of tools that collaborate in assisting decision-making for the allocation of resources in the health sector, are reviewed. It is concluded that engineering mathematical modeling can be used to advise decision makers, providing useful information on optimal strategies, taking into account the political, budgetary, technical and equity restrictions proposed by health economists.

Keywords: decision making; health systems; Health Economics; Systems Engineering.

JEL: A12; I10; I19; C02.

Introducción

Un sistema complejo puede definirse como una serie de componentes actuando conjuntamente para la consecución de un objetivo que individualmente no podría lograrse, generando a su vez nuevas propiedades que no pueden ser explicadas a partir de las características de cada componente aislado. Estos componentes pueden incluir recursos humanos, hardware, software, instalaciones, políticas gubernamentales, entre otros (International Council on Systems Engineering (INCOSE), 2016; Kossiakoff et al., 2011; Tobar, Olaviaga & Solano, 2011).

Son varios los autores que a nivel conceptual han adoptado una visión sistémica del sector salud. Aun con diferencias metodológicas, todas estas visiones consideran que el sistema de salud está compuesto por un conjunto de elementos constitutivos relacionados entre sí generando interacciones, sinergias y subsistemas anidados (Golden & Martin, 2004; Reid et al., 2005; Savigny & Taghreed, 2009; Tobar, 2000; Wang, Khasawneh & Srihari, 2009). En particular la Organización Mundial de la Salud –OMS– define al sistema de la salud como el conjunto de organizaciones, personas y acciones para promover, restaurar o mantener la salud. De modo que el objetivo del sistema, es mejorar la salud de la población de manera equitativa y eficiente; es decir, haciendo un uso óptimo de los recursos (World Health Organization, 2007).

Actualmente, los sistemas de salud en todos los países están evolucionando y tienen que responder continuamente, entre otras cosas, a cambiantes perfiles demográficos y epidemiológicos de las poblaciones, a expectativas crecientes de una población más educada, a un sector privado prestador de servicios de cuidados de la salud en rápido crecimiento, a los adelantos tecnológicos cada vez más frecuentes y a presiones por parte de la población para lograr la cobertura universal de salud (García-Cabrera et al., 2015; Siddiqi et al., 2009; Valdez, Brennan & Ramly, 2010). Estas demandas y presiones compiten entre sí, planteando muchas veces disyuntivas de difícil resolución. Por ejemplo, la necesidad de incrementar la cobertura del sistema puede ir en contra de los objetivos de contención de costos. Por otra parte, los fondos destinados a las actividades de atención primaria pueden competir con los destinados a actividades curativas. Se plantean también otros desafíos, como asegurar el acceso a los centros de salud de las poblaciones rurales o marginales. Si bien estas disyuntivas han de resolverse mediante procesos políticos, requieren de un cuidadoso análisis de la información disponible y la aplicación de técnicas adecuadas para tomar decisiones con menores niveles de incertidumbre.

Los gestores de los sistemas de salud se enfrentan entonces a la necesidad de realizar un proceso de toma de decisiones referidas, entre otras, a su diseño, su planificación, la gestión, el control y la evaluación de las operaciones (Sainfort et al., 2005). Como se mencionó anteriormente, estas decisiones deben tener como objetivo principal maximizar el estado de salud de la población, promoviendo la equidad tanto en resultados como en el acceso a los servicios de salud, y consumiendo la menor cantidad de recursos tanto físicos como monetarios, es decir, procurando la eficiencia en el gasto.

La ingeniería de sistemas puede proveer herramientas útiles para una gran variedad de aplicaciones relevantes en los sistemas de salud. En este sentido, en el año 2005, en una importante iniciativa conjunta, las academias de ingeniería y de medicina de Estados Unidos elaboraron un documento donde se proveen una serie de recomendaciones para avanzar en la mejora de la efectividad de los sistemas de salud. La principal conclusión del trabajo fue la necesidad de aplicar enfoques y metodologías de Ingeniería de Sistemas para optimizar el proceso de toma de decisiones en los diferentes niveles del sistema de salud, haciendo uso de modelos matemáticos (Reid et al., 2005). Esto plantea tanto a los académicos como a los tomadores de decisión la necesidad de comenzar a realizar investigaciones interdisciplinarias que permitan implementar una visión holística e integral en la resolución de los distintos problemas (Carvajal-Escobar, 2010).

La investigación interdisciplinaria es cualquier estudio llevado a cabo por representantes de dos o más disciplinas científicas, y se fundamenta en un modelo conceptual que integra los marcos teóricos de tales disciplinas, utilizando metodologías que no se limitan a un solo ámbito, y requiere el uso de perspectivas y habilidades de los distintos campos del conocimiento que intervienen en las diferentes fases de la investigación (Aboelela et al., 2007; González-Carbonell et al., 2014)

El trabajo interdisciplinario permite la complementariedad de miradas respecto del mismo objeto de estudio, logrando un abordaje integral de la problemática a investigar. Una de las posibles alianzas entre ramas científicas que se puede lograr corresponde a la conjunción de los métodos e instrumentos científicos de la Economía de la Salud con la Ingeniería de Sistemas.

En este contexto, el objetivo del artículo es reflexionar sobre el potencial de lograr mejoras en los sistemas de salud a partir del desarrollo del trabajo interdisciplinario entre economistas de la salud e ingenieros en sistemas de procesos. Además, está motivado por la experiencia personal de los autores, quienes conforman desde el año 2011 el Grupo de Economía e Ingeniería de Sistemas de Salud –gEISS¹. Para lograr dicho objetivo, el trabajo se estructura como sigue: en primer lugar, se exponen los objetivos de la Economía de la Salud y la Ingeniería de Sistemas de Procesos como disciplinas científicas. En el primer caso se destacan los campos de acción de la disciplina relativos al diseño y gestión del sistema de salud. En el segundo, se estudia el rol de la modelización matemática como instrumento básico de análisis. Posteriormente se revisan algunas aplicaciones de este enfoque que permiten el diseño de herramientas que colaboren en la asistencia a la toma de decisiones para la asignación de los recursos en el sector salud. Luego se describen brevemente dos aplicaciones de transferencia tecnológica al sector salud realizadas por el grupo de investigación gEISS. Por último, se exponen las reflexiones finales.

Economía de la Salud. Concepto y campo de aplicación

La Economía es la ciencia que estudia la conducta humana en cuanto a la asignación de recursos limitados y de usos alternativos, aptos para producir bienes que satisfacen necesidades ilimitadas y jerarquizadas (Robbins, 1932). Esta definición no se restringe a una actividad humana en particular, sino que es aplicable a todas aquellas en las cuales la escasez está presente y, por lo tanto, es necesario realizar elecciones (Mills & Gilson, 1988).

En este marco, la Economía de la Salud constituye un campo de investigación cuyo objeto de estudio es la asignación óptima de recursos para la atención y promoción de la salud, para lo cual evalúa la eficiencia de la organización de los servicios de salud y sugiere formas alternativas que permitan mejorar el estatus de salud de la población (Mushkin, 1958). Para ello, integra las teorías económicas, sociales, clínicas y epidemiológicas para abordar como objeto de estudio el análisis de la producción, financiamiento, distribución y consumo de los servicios de salud (Arredondo, 1999; Collazo-Herrera, et al., 2002). Según Williams (1987), si bien se puede pensar que la disciplina se encarga de analizar la provisión de cuidados médicos, en realidad es mucho más amplia ya que también se incluyen en su campo de estudio los distintos factores tanto positivos como negativos que pueden afectar la salud; por ejemplo, el consumo de sustancias tóxicas, el nivel de ingreso y de educación de la población, el acceso a servicios de agua potable, etcétera. De esta manera, esta disciplina se ocupa de cuestiones tales como *qué es y cuál es* el valor de la salud, para luego reconocer los determinantes del estado de salud individual y colectivo, considerando tanto los aspectos genéticos y ambientales como las condiciones socioeconómicas y los estilos de vida. Otro de los campos de aplicación de esta disciplina está compuesto por el *análisis del mercado* de servicios médicos-sanitarios, estudio

1 Para más información consultar en: <https://www.geiss.uns.edu.ar/>

que debe estar precedido por el análisis de, por un lado, los factores que determinan la *demand*a de servicios médico-sanitarios, y por otro, las cuestiones relacionadas con la *oferta* de servicios sanitarios (Williams, 1987).

Además, desde el enfoque de la economía normativa se estudia la *evaluación económica de la producción* de servicios de salud. Esta evaluación se realiza mediante diversas técnicas que permiten al tomador de decisiones comparar los costos y beneficios de distintos cursos de acción para seleccionar aquel que resulte eficiente. De esta manera, la evaluación económica constituye una herramienta para la toma de decisiones (Gálvez-González, 2003; Williams, 1987).

Dentro de las cuestiones inherentes a la económica de la salud, un campo de aplicación relevante para la gestión de los sistemas sanitarios es el análisis de los instrumentos de *política sanitaria* que puede implementar el Estado, como subsidios, impuestos, controles y regulaciones y su impacto sobre los determinantes de la salud y la prestación de servicios. Algunos problemas prácticos que se encuadran dentro de este campo corresponden a la optimización de la cobertura de las necesidades sanitarias, los efectos de los distintos sistemas de provisión sanitaria, la identificación de barreras de acceso a los servicios médicos, y demás (Gálvez-González, 2003; Williams, 1987).

Por otra parte, se estudia la *planeación, regulación y supervisión de programas y políticas de salud* también desde una óptica sistémica (Arredondo, 1999; Gálvez-González, 2003). El planeamiento se refiere a instrumentar un sistema de salud que pueda dar respuesta a los cambios en la demanda de atención originados por la evolución demográfica y el perfil epidemiológico. La regulación se relaciona con la elaboración de normas que garanticen la provisión de bienes y servicios sujetos a los estándares de calidad y seguridad del paciente (Arredondo, 1999; Williams, 1987).

Dado los objetivos y los campos de aplicación de la Economía de la Salud y considerando que la gestión y planeamiento del sistema de salud debe fundamentarse en un análisis riguroso y sistemático, la Ingeniería de Sistemas se presenta como una metodología útil para abordar estas problemáticas (Wang, Khasawneh & Srihari, 2009; Kopach-Konrad et al., 2007; Reid et al., 2005; Sainfort et al., 2005; Tunc, Alagoz & Burnside, 2014).

Ingeniería de Sistemas de Procesos. Concepto y campo de aplicación

La Ingeniería de Sistemas, o su rama más específica, la Ingeniería de Sistemas de Procesos, tiene como finalidad guiar el estudio de sistemas complejos orientando sus acciones hacia la búsqueda de un determinado resultado. Esta disciplina se centra en el estudio del sistema como un todo, analizando tanto su interior, a partir de sus componentes, como su exterior, contemplando la relación con otros sistemas y el medio en el que se inserta (Kossiakoff et al., 2011). Para lograr sus objetivos, la Ingeniería de Sistemas procura descomponer los fenómenos complejos en subsistemas más pequeños y fácilmente entendibles, para luego analizar las interacciones entre los subsistemas y con su entorno (McKinney & Savitsky, 2006; Reid et al., 2005).

La Ingeniería de Sistemas ha desarrollado diversas herramientas que permiten sistematizar el estudio del funcionamiento de los sistemas, logrando así una mejor gestión de los mismos. Estas herramientas suelen clasificarse en tres grupos: para el diseño, el análisis y el control (Reid et al., 2005; Wu et al., 2007).

Las herramientas para el *diseño de los sistemas* se utilizan principalmente para la creación de nuevos sistemas o procesos. Generalmente se traducen en prescripciones acerca de cómo debería llevarse a cabo la producción o la distribución geográfica del sistema. En este proceso se deben tener en cuenta las necesidades y objetivos de todos los agentes participantes, así como también las limitaciones impuestas por el contexto.

Por otra parte, las herramientas para el *análisis de los sistemas* permiten comprender cómo los sistemas complejos operan, determinando si cumplen con sus objetivos y metas y, en caso de que sea necesario, sugieren cómo mejorar su rendimiento.

Por último, las herramientas para el *control de los sistemas* se utilizan para asegurar que el sistema esté funcionando dentro de los límites prescritos, de manera que se reduzcan al mínimo posible los errores y optimizar el uso de los recursos. Es necesaria una clara comprensión de las expectativas de desempeño y de los parámetros de funcionamiento del sistema en su conjunto para que el proceso de control sea eficaz.

Desde una perspectiva metodológica, generalmente la Ingeniería de Sistemas recurre al desarrollo de modelos matemáticos, cuyas características pueden variar según el problema específico analizado. Una representación matemática adecuada que refleje las características relevantes del sistema, las distintas alternativas de decisión y sus consecuencias permite al tomador de decisión investigar una enorme cantidad de opciones en un período de tiempo breve y evaluar sus consecuencias, para elegir la alternativa preferida en forma más rápida y a un bajo costo (Ryan, 2005; Sainfort et al., 2005).

El modelamiento de un problema de la realidad requiere el seguimiento de un proceso compuesto por cinco fases o etapas (Taha, 2004; Winston, 2005).

1. *Definición del problema*: implica definir el alcance del problema bajo estudio requiriendo una descripción detallada del objetivo a alcanzar, de las alternativas de decisión y de las restricciones o limitaciones que puedan existir. También se debe prestar atención a la relación del sistema y el contexto en el que se inserta.
2. *Construcción del modelo*: se diseñan las relaciones y expresiones matemáticas que definen el objetivo y restricciones del modelo.
3. *Solución del modelo*: se resuelve el problema matemático arribando a una solución que indique la mejor alternativa de funcionamiento posible, especificando los requerimientos

de recursos tanto de capital como humanos, así como la programación —o *scheduling*— de las tareas del proceso (Kopach-Konrad et al., 2007). Además de la solución del modelo, siempre que sea posible, puede resultar útil proporcionar información adicional sobre el comportamiento de la solución ante cambios en los parámetros del sistema. Este proceso se denomina Análisis de Sensibilidad.

4. *Validación del modelo*: se considera que un modelo es válido cuando a pesar de la incertidumbre que rodea al sistema, brinda una predicción confiable sobre su desempeño. La validez del modelo suele probarse a partir de la comparación de su funcionamiento con información real generada en el pasado por el propio sistema. En caso de que el sistema bajo estudio aún no se encuentre operativo, la falta de información sobre su comportamiento se puede suplir recurriendo a un modelo de simulación.
5. *Conclusión del modelo*: se realizan las recomendaciones para la acción a los tomadores de decisiones para lograr la solución óptima.

En este proceso de modelamiento se puede apreciar la potencial interdisciplinariedad entre las ciencias estudiadas. En las etapas de definición del problema y análisis de sensibilidad del modelo a partir de la identificación de los escenarios relevantes predomina el rol de los economistas, ya que son los que estudian el sistema de salud en su conjunto prestando atención a los objetivos de equidad y eficiencia propios de la disciplina. Mientras que en la etapa de construcción y solución del modelo el rol principal corresponde a los ingenieros en sistemas ya que son los encargados de traducir las características del problema y el sistema en las ecuaciones matemáticas que permiten arribar a la solución. Por último, en la etapa final del proceso es importante la interacción de los profesionales de las dos ciencias ya que se traduce todo el trabajo realizado en cursos de acción prácticos para lograr mejoras en el sistema bajo estudio.

La Ingeniería de Sistemas en el sistema de salud

La Ingeniería de Sistemas puede proveer herramientas útiles para una gran variedad de aplicaciones relevantes en los sistemas de salud. En este sentido, Rais & Viana (2011) realizaron una revisión exhaustiva de la literatura reciente acerca de las aplicaciones del modelamiento matemático en el sector salud, destacando sus potenciales usos en las siguientes áreas.

1. *Optimización terapéutica*: los modelos de optimización terapéutica tienen como finalidad personalizar el tratamiento de un paciente a partir de la consideración de los aspectos sociales y clínicos de una persona, tales como su edad, la movilidad física, las comorbilidades y nivel socioeconómico (Kopach-Konrad et al., 2007). En efecto, existe literatura relativa a la asignación óptima de órganos para trasplantes, la prevención y el control de enfermedades infecciosas y la respuesta de emergencia óptima ante una pandemia (Montain, Blanco & Bandoni, 2014; 2015; Porras et al., 2017). A su vez, Kopach-Konrad et al. (2007)

señalan que este tipo de modelos se están utilizando en el tratamiento del HIV y los ataques de epilepsia, protocolos de vacunación y la determinación de la radiación óptima en el tratamiento del cáncer.

2. *Gestión y logística del cuidado de la salud*: los problemas de gestión más ampliamente estudiados se refieren a la programación de turnos de pacientes tanto a consultas con profesionales médicos como a estudios de diagnóstico y al *scheduling* de los turnos de trabajo de profesionales médicos y de la infraestructura –quirófanos, consultorios, equipos de diagnóstico, entre otros–. Mientras que las cuestiones de logística se relacionan principalmente en el manejo de stocks de insumos médicos (Kees, Bandoni & Moreno, 2017; Kees, Moreno & Bandoni, 2019; Uthayakumar & Priyan, 2013; Volland et al., 2017).
3. *Planeamiento del sistema de salud*: los modelos de planificación han tenido como objetivo la estimación de la demanda futura de servicios sanitarios para determinar la oferta necesaria, la optimización y el control de los costos del sistema de salud, y la determinación de la localización de centros de salud y de los servicios de emergencia con el objetivo de cubrir una determinada población o grupo de personas o minimizar los costos de instalación y de funcionamiento (Bélanger, Ruix & Soriano, 2019; Beliën et al., 2013; Bruni et al., 2006; Rahman & Smith, 2000; ReVelle & Eiselt, 2005; Swalehe & Aktas, 2016; Zhang, Berman & Verter, 2009).

La mayoría de estas aplicaciones fueron desarrolladas desde la ingeniería; de hecho, existe desde hace 50 años el término “Ingeniería de la Salud” o “Ingeniería de la Atención Médica” para referirse a una especialidad multidisciplinaria. Esta especialidad está conformada por ingenieros de casi todas sus disciplinas –biomédica, química, civil, informática, eléctrica, ambiental, industrial, información, materiales, mecánica, software, sistemas–, así como profesionales de la salud –médicos, dentistas, enfermeras, farmacéuticos, entre otros– que se dedican a respaldar, mejorar y/o mejorar cualquier aspecto de la atención médica a través de enfoques de ingeniería (Chyu et al., 2015).

Sin embargo, cabe aclarar que, en las aplicaciones mencionadas tradicionalmente, se ha prestado especial atención al criterio de eficiencia; es decir, lograr el mejor resultado posible minimizando el uso de los recursos. Las motivaciones de equidad, propias del análisis de la Economía de la Salud, resultan mucho más escasas. Es por esto que, se considera que el trabajo interdisciplinario con la economía de la salud puede enriquecer los aportes previos, especialmente en los estudios relativos al planeamiento del sistema de salud, facilitando el estudio de medidas de política sanitaria que consideren explícitamente el impacto que pueden generar en la población más vulnerable.

Aplicaciones interdisciplinarias de la Economía de la Salud y de la Ingeniería de Sistemas al sistema de salud. Estudios de casos

En el marco del gEISS se han realizado en los últimos años una diversidad de aplicaciones que van desde la localización óptima de unidades de servicios de atención primaria, la optimización de turnos en un servicio hospitalario, la planificación óptima de la operación de un sistema de mamógrafos, el diagnóstico de situación y la planificación operativa de servicios de cirugía, la optimización de una red de laboratorios de análisis clínicos, la evaluación técnico-económica de incorporación de nuevos servicios a un hospital público, etcétera.

A modo de ejemplo, se describen a continuación dos de estos casos, que implicaron convenios y/o transferencias de tecnología concretas al sector salud.

Scheduling de turnos en una unidad de cuidados mínimos u Hospital de día

Se desarrolló una aplicación que permite realizar el *scheduling* de turnos tanto de consultas médicas como de estudios de diagnóstico y se instaló en un Hospital Interzonal de mediana y alta complejidad de la localidad de Bahía Blanca que recibe diariamente pacientes de las localidades de la zona geográfica de influencia. Dicho *scheduling* de turnos permite maximizar el uso de los recursos disponibles en la unidad de Cuidados Mínimos y brindar la mejor atención posible a los pacientes ingresándolos lo más rápido posible. Esto se logra maximizando la admisión de pacientes y minimizando su tiempo de espera.

Para ello se creó una interfaz amigable para el personal administrativo y médico de la unidad que permite ante el requerimiento de un turno, se ingrese la información relativa al tipo de turno y el modelo matemático indique el día y la hora del turno. Incluso, si el paciente debe realizarse más de un estudio el modelo está preparado para agrupar todos los turnos en un mismo día. Esto es de especial importancia para aquellos pacientes de la zona de influencia de la ciudad ya que les permite acceder a los servicios médicos minimizando los costos de traslado al evitar tener que concurrir al establecimiento en más de una oportunidad para lograr realizarse todos los exámenes de diagnósticos solicitados.

Diseño del sistema de atención primaria de la localidad de Bahía Blanca²

En conjunto con el municipio de la localidad de Bahía Blanca se está trabajando en el rediseño de la red de atención primaria de la salud. Considerando la localización actual de algunos de los

2 Para mayor detalle consultar Arnaudo (2018).

centros de salud que actualmente se encuentran operativos, se determinará dónde deben instalarse nuevos centros de atención. Para ello, se aplicaron modelos matemáticos que tiene por objetivo determinar la localización óptima de centros de oferta (Daskin, 2008; Daskin & Maass, 2015; Vallim Fo & Mota, 2012; Verter & Lapiere, 2002). Estos modelos aseguran que el funcionamiento del sistema sea eficiente, en el sentido de la que distancias de un potencial usuario para acceder a un centro de salud sea mínima. En este caso, la interdisciplinariedad entra en juego al incluir en los modelos matemáticos de localización óptima un índice de nivel socioeconómico. Este índice permite estimar la demanda de atención de los centros de salud, ya que la necesidad de cuidados médicos aumenta cuando disminuye el nivel socioeconómico de las personas. De esta manera, el modelo resuelve la distribución óptima de la red asistencial teniendo en cuenta, además de la distancia entre la oferta y la demanda, cuál es la población que realmente necesita acceder a estos servicios con mayor facilidad. Es importante destacar que es necesario recurrir a estos métodos indirectos de estimación de la demanda puesto que utilizar datos de la demanda histórica de los centros de salud puede perpetuar la inequidad en el acceso actual.

Cabe mencionar que el estudio comenzó con una revisión bibliográfica exhaustiva de la literatura relativa a este tipo de decisiones, encontrando que la mayoría de los estudios fueron realizados por profesionales de las ciencias exactas sin tener en cuenta las necesidades de cuidados médicos de la población en la cual se inserta la red asistencial. En una proporción minoritaria se encuentran trabajos que establecen la distribución óptima de este tipo de centros de oferta impulsados por geógrafos y resueltos mediante la utilización de softwares de georeferencia –SIG–.

Conclusiones

La aplicación del enfoque de Ingeniería de Sistemas al análisis y resolución de problemas de asignación de recursos del sector salud se presenta como una alternativa capaz de generar ganancias sustantivas en términos de eficiencia y equidad. En particular, el modelamiento matemático –que se encuentra en el centro de este enfoque– puede ser utilizado para asesorar a los tomadores de decisiones de los sistemas de salud, proporcionando información útil sobre las estrategias óptimas, teniendo en cuenta las limitaciones políticas, presupuestarias, técnicas y otras pertinentes que se enfrentan en el proceso de toma de decisiones. Sin embargo, una especificación no adecuada del modelo a la realidad que intenta representar, así como una interpretación errónea de las prioridades de los tomadores de decisión pueden conducir a conclusiones equivocadas. Asimismo, es necesario recordar que en dicho modelamiento se debe tener en cuenta no solo los objetivos de eficiencia perseguidos por la ingeniería, sino las motivaciones de equidad propias del enfoque de la Economía de la Salud.

Para finalizar, queremos mencionar que, para ser útiles, los modelos deben demostrar su capacidad de producir resultados y predicciones respecto del sistema modelado de modo que sean lo suficientemente confiables para ser implementados en operaciones reales. Al mismo tiempo, los datos provistos y utilizados por los modelos deben tener alta maleabilidad o conveniencia

para el análisis, de lo contrario no producirán conclusiones útiles dentro del tiempo disponible para la toma de decisiones. El reto del investigador es equilibrar estas consideraciones para desarrollar y difundir herramientas que realmente puedan informar el diseño y operación del sistema de salud (Sainfort et al., 2005). En este punto es donde las ventajas de la interdisciplinariedad se hacen presentes, tal como se mencionó, hasta el momento la mayoría de las aplicaciones desarrolladas surgieron desde el campo de la ingeniería. Estas pueden ser mejoradas al incorporar cuestiones relativas a la equidad.

Referencias

- [1] Aboelela, S. W., Larson, E., Bakken, S., Carrasquillo, O., Formicola, A., Glied, S. A., Haas, J. & Gebbie, K. (2007). Defining Interdisciplinary Research: Conclusions from a Critical Review of the Literature. *Health Services Research*, 42(1 Pt 1), 329-346. <https://doi.org/10.1111/j.1475-6773.2006.00621.x>
- [2] Arnaudo, M. F. (2018). *Planeamiento óptimo en el sector salud: aportes de la Economía y la Ingeniería de Sistemas* (tesis de doctorado). Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina. Recuperado de <http://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/123456789/4110/1/Planeamiento%20C3%93ptimo%20en%20el%20Sector%20Salud.%20aportes%20de%20la%20Econom%3%ADa%20y%20la%20Ingenier%3%ADa%20de%20Sistemas.pdf>
- [3] Arredondo, A. (1999). ¿Qué es y qué está haciendo la Economía de la Salud? *Revista de la Facultad de Ciencias Económicas*, 4(13), 143-158. Recuperado de <http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/economia/13/a11.pdf>
- [4] Bélanger, V., Ruiz, A. & Soriano, P. (2019). Recent Optimization Models and Trends in Location, Relocation, and Dispatching of Emergency Medical Vehicles. *European Journal of Operational Research*, 272(1), 1-23. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.02.055>
- [5] Beliën, J., De Boeck, L., Colpaert, J., Devesse, S. & Van den Bossche, F. (2013). Optimizing the Facility Location Design of Organ Transplant Centers. *Decision Support Systems* 54(4), 1568-1579. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2012.05.059>
- [6] Bruni, M. E., Conforti, D., Sicilia, N. & Trotta, S. (2006). A New Organ Transplantation Location-Allocation Policy: A Case Study of Italy. *Health Care Management Science*, 9, 125-142. <https://doi.org/10.1007/s10729-006-7661-z>
- [7] Carvajal-Escobar, Y. (2010). Interdisciplinariedad: desafío para la educación superior y la investigación. *Revista Luna Azul*, 31, 156-169. Recuperado de http://190.15.17.25/lunazul/downloads/Lunazul31_12.pdf
- [8] Chyu, M. C., Austin, T., Calisir, F., Chanjaplammoosil, S., Davis, M. J., Favela, J., ... & Zhang, Y. T. (2015). Healthcare Engineering Defined: A White Paper. *Journal of Healthcare Engineering*, 6(4), 635-648. <https://doi.org/10.1260/2040-2295.6.4.635>
- [9] Collazo-Herrera, M., Cárdenas-Rodríguez, J., Gonzalez-López, R., Miyar-Abreu, R., Gálvez-González, A. & Cosme-Casulo, J. (2002). La economía de la salud: ¿debe ser de interés para el

- campo sanitario? *Revista Panamericana de Salud Pública/Pan American Journal of Public Health*, 12(5), 359-365. Recuperado de <https://www.scielo.org/pdf/rpsp/v12n5/14098.pdf>
- [10] Daskin, M. S. (2008). What You Should Know about Location Modeling. *Naval Research Logistics*, 55(4), 283-294. <https://doi.org/10.1002/nav.20284>
- [11] Daskin, M. & Maass, K. L. (2015). The P-Median Problem. En G. Laporte, S. Nickel & F. Saldanha da Gama (Eds.), *Location Science* (pp. 21-45). Ginebra: Springer International Publishing.
- [12] Gálvez-González, A. M. (2003). Economía de la salud en el contexto de la salud pública cubana. *Revista Cubana de Salud Pública*, 29(4). Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662003000400011
- [13] García-Cabrera, H. E., Díaz-Urteaga, P., Ávila-Chávez, D. & Cuzco-Ruiz, M. Z. (2015). La Reforma del Sector Salud y los recursos humanos en salud. *Anales de la Facultad de Medicina*, 76, 7-26. <https://dx.doi.org/10.15381/anales.v76i1.10966>
- [14] Golden, B. R. & Martin, R. L. (2004). Aligning the Stars: Using Systems Thinking to (Re)Design Canadian Healthcare. *Healthcare Quarterly*, 7(4), 34-42. <https://doi.org/10.12927/hcq..16803>
- [15] González-Carbonell, R. A., Nápoles-Padrón, E., Calderín-Pérez, B., Cisneros-Hidalgo, Y. & Landín-Sorí, M. (2014). Carácter interdisciplinario de la modelación computacional en la solución de problemas de salud. *Humanidades Médicas*, 14(3), 646-658. Recuperado de <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=54585>
- [16] International Council on Systems Engineering (INCOSE). (2016). *About Systems Engineering*. Recuperado de <https://www.incose.org/about-systems-engineering>
- [17] Kees, M. C., Moreno, M. S. & Bandoni, J. A. (2017). Optimización multiperíodo de una cadena de suministro hospitalaria. *Revista Tecnología y Ciencia*, 30, 94-104. Recuperado de <http://rtyc.utn.edu.ar/index.php/rtyc/article/view/142>
- [18] Kees, M. C., Bandoni, J. A. & Moreno, M. S. (2019). An Optimization Model for Managing the Drug Logistics Process in a Public Hospital Supply Chain Integrating Physical and Economic Flows. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 58(9), 3767-3781. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.8b03968>
- [19] Kopach-Konrad, R., Lawley, M., Criswell, M., Hasan, I., Chakraborty, S., Pekny, J. & Doebbeling, B. N. (2007). Applying Systems Engineering Principles in Improving Health Care Delivery. *Journal of General Internal Medicine*, 22, 431-437. <https://doi.org/10.1007/s11606-007-0292-3>
- [20] Kossiakoff, A., Sweet, W. N., Seymour, S. & Biemer, S. M. (2015). *Systems Engineering Principles and Practice*. Hoboken: John Wiley & Sons. Recuperado de <https://industrialeblog.files.wordpress.com/2016/07/systems-engineering-principles-and-practice-2nd-edition.pdf>
- [21] McKinney, D. & Savitsky, A. (2006). *Basic Optimization Models for Water and Energy*. Recuperado de <http://goo.gl/mxPvrt>
- [22] Mills, A. & Gilson, L. (1988). *Health Economics for Developing Countries: A Survival Kit*. HEFP Working Paper N° 01/88. Recuperado de https://assets.publishing.service.gov.uk/media/57a08c12e5274a31e000f98/WP01_88.pdf

- [23] Montain, M. E., Blanco, A. M. & Bandoni, J. A. (2014). Integrated Dynamic Physiological Model for Drug Infusion Simulation Studies. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 53(44), 17267-17281. <https://doi.org/10.1021/ie5008823>
- [24] Montain, M. E., Blanco, A. M. & Bandoni, J. A. (2015). Optimal Drug Infusion Profiles Using a Particle Swarm Optimization Algorithm. *Computers & Chemical Engineering*, 82(2), 13-24. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2015.05.026>
- [25] Mushkin, S. J. (1958). Toward a Definition of Health Economics. *Public Health Reports*, 73(9), 785-793. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1951624/#>
- [26] Porras, M. A., Durand, G., Castro M. C., Scuffi, J. & Bandoni, J. A. (Septiembre de 2017). *Modelo SIR como herramienta de ayuda en la toma de decisiones para la prevención de infecciones respiratorias agudas (IRA) en la localidad de Bahía Blanca*. Paper presentado en el IX Congreso Argentino de Ingeniería Química, Bahía Blanca, Argentina. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/323969140_Modelo_SIR_como_herramienta_de_ayuda_en_la_toma_de_decisiones_para_la_prevenccion_de_infecciones_respiratorias_agudas_IRA_en_la_localidad_de_Bahia_Blanca
- [27] Rahman, S. & Smith, D. K. (2000). Use of Location-Allocation Models in Health Service Development Planning in Developing Nations. *European Journal of Operational Research*, 123(3), 437-452. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00289-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00289-1)
- [28] Rais, A. & Viana, A. (2011). Operations Research in Healthcare: A Survey. *International Transactions in Operational Research*, 18(1), 1-31. <https://doi.org/10.1111/j.1475-3995.2010.00767.x>
- [29] Reid, P., Dale-Compton, W., Grossman, J. H. & Fanjiang, G. (Eds.). (2005). *Building a Better Delivery System: A New Engineering/Health Care Partnership*. Washington D.C.: National Academies Press.
- [30] ReVelle, C. S. & Eiselt, A. H. (2005). Location Analysis: A Synthesis and Survey. *European Journal of Operational Research*, 165(1) 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2003.11.032>
- [31] Robbins, L. (1932). *Essay on the Nature and Significance of Economic Science*. Londres: Macmillan and Co. Recuperado de https://cdn.mises.org/Essay%20on%20the%20Nature%20and%20Significance%20of%20Economic%20Science_2.pdf
- [32] Ryan, J. (2005). Systems Engineering: Opportunities for Health Care. En P. Reid, W. Dale-Compton, J. H. Grossman & G. Fanjiang (Eds.), *Building a Better Delivery System: A New Engineering/Health Care Partnership* (pp 141-143). Washington D.C.: National Academies Press.
- [33] Sainfort, F., Blake, J., Gupta, D. & Rardin, R. L. (2005). *Operations Research for Health Care Delivery Systems*. WTEC Panel Report. Recuperado de <http://www.wtec.org/or/hosts/PDF/OR-Report.pdf>
- [34] Savigny, D. & Taghreed, A. (Eds.). (2009). Aplicación del pensamiento sistémico al fortalecimiento de los servicios de salud. Recuperado de https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44222/9789243563893_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [35] Siddiqi, S., Masud, T. I., Nishtar, S., Peters, D. H., Sabri, B., Bile, K. M. & Jama, M. A. (2009). Framework for Assessing Governance of the Health System in Developing Countries: Gateway to Good Governance. *Health Policy*, 90(1), 13-25. <https://doi.org/10.1016/j.healthpol.2008.08.005>
- [36] Swalehe, M. & Aktas, S. G. (2016). Dynamic Ambulance Deployment to Reduce Ambulance Response Times Using Geographic Information Systems: A Case Study of Odunpazari District of

- Eskisehir Province, Turkey. *Procedia Environmental Sciences*, 36, 199-206. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.09.033>
- [37] Taha, H. A. (2004). *Investigación de operaciones*. Atlacomulco: Pearson Educación de México. Recuperado de <https://vagosuatfis.files.wordpress.com/2012/07/thaja-investigacion-de-operaciones-by-k9.pdf>
- [38] Tobar, F. (2000). Herramientas para el análisis del sector salud. *Medicina y sociedad*, 23(2), 83-108.
- [39] Tobar, F., Olaviaga, S. & Solano, R. (2011). Retos postergados y nuevos desafíos del sistema de salud argentino. CIPPEC. Documento de Políticas Públicas/Análisis N° 99. Recuperado de <https://goo.gl/SUSLuW>
- [40] Tunc, S., Alagoz, O. & Burnside, E. (2014). Opportunities for Operations Research in Medical Decision Making. *IEEE Intelligent Systems*, 29(3), 59-62. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4296668/>
- [41] Uthayakumar, R. & Priyan, S. (2013). Pharmaceutical Supply Chain and Inventory Management Strategies: Optimization for a Pharmaceutical Company and a Hospital. *Operations Research for Health Care*, 2(3), 52-64. <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2013.08.001>
- [42] Valdez, R. S., Brennan, P. F. & Ramly, E. (2010). *Industrial and Systems Engineering and Health Care: Critical Areas of Research*. Agency for Healthcare Research and Quality, Working paper N°10-0079. Recuperado de <https://digital.ahrq.gov/sites/default/files/docs/citation/IndustrialAndSystemsEngineeringAndHealthCare.pdf>
- [43] Vallim Fo, A. & Mota, I. S. (2012). Optimization Models in the Location of Healthcare Facilities: A Real Case in Brazil. *Journal of Applied Operational Research*, 4(1), 37-50. Recuperado de <https://orlabanalytics.ca/jaor/archive/v4/n1/jaorv4n1p37.pdf>
- [44] Verter, V. & Lapierre, S. D. (2002). Location of Preventive Health Care Facilities. *Annals of Operations Research*, 110, 123-132. <https://doi.org/10.1023/A:1020767501233>
- [45] Volland, J., Fügenger, A., Schoenfelder, J. & Brunner, J. O. (2017). Material Logistics in Hospitals: A Literature Review. *Omega*, 69, 82-101. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2016.08.004>
- [46] Wang, S., Khasawneh, M. & Srihari, K. (Junio de 2009). *Development of a Health Systems Curriculum in Industrial and Systems Engineering*. Paper presentado en el 2009 Annual Conference & Exposition, Austin, Estados Unidos. Recuperado de <https://peer.asee.org/5203>
- [47] Williams, A. (1987). Health Economics: The Cheerful Face of the Dismal Science? En A. Williams (Ed.), *Health and Economics Proceedings of Section F (Economics) of the British Association for the Advancement of Science*, Bristol, 1986 (pp. 1-11). Londres: Macmillan Press.
- [48] Winston, W. L. (2005). *Investigación de operaciones: aplicaciones y algoritmos*. Ciudad de México: Thomson Learning.
- [49] World Health Organization. (2007). Everybody's Business – Strengthening Health Systems to Improve Health Outcomes: WHO's Framework for Action. Recuperado de <https://apps.who.int/iris/handle/10665/43918>
- [50] Wu, B., Klein, C., Hosokawa, M., Cox, K. & Zhang, B. (Junio de 2007). *Conceptual Framework of Healthcare Systems Engineering and Pilot Curriculum Development*. Paper presentado en el 2007 Annual Conference & Exposition, Honolulu, Hawái. Recuperado de <https://peer.asee.org/1532>

- [51] Zhang, Y., Berman, O. & Verter, V. (2009). Incorporating Congestion in Preventive Healthcare Facility Network Design. *European Journal of Operational Research*, 198(3), 922-935. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.10.037>