



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Bogotá

e **editorial**
Pontificia Universidad
JAVERIANA

David Barrera Ferro
Elena Valentina Gutiérrez
Andrés Felipe Osorio Muriel
Editores académicos

APLICACIONES DE INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES EN SISTEMAS DE SALUD EN COLOMBIA



**Aplicaciones de investigación de
operaciones en sistemas de salud
en Colombia**

Aplicaciones de investigación de operaciones en sistemas de salud en Colombia

DAVID BARRERA FERRO
ELENA VALENTINA GUTIÉRREZ
ANDRÉS FELIPE OSORIO MURIEL

EDITORES ACADÉMICOS



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Bogotá



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Bogotá

Facultad de Ingeniería



editorial
Pontificia Universidad
JAVERIANA

Reservados todos los derechos

© Pontificia Universidad Javeriana

© David Barrera Ferro (Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá), Elena Valentina Gutiérrez (Universidad de Antioquia, Medellín), Andrés Felipe Osorio Muriel (Universidad Icesi, Cali), editores académicos

Corrección de estilo:

Ella Suárez

Diagramación:

Kilka Diseño Gráfico

Diseño de cubierta:

Kilka Diseño Gráfico

Primera edición: Bogotá, D. C.,
noviembre de 2020

ISBN (digital): 978-958-781-575-7

DOI: [https://doi.org/10.11144/](https://doi.org/10.11144/Javeriana.9789587815757)

Javeriana.9789587815757

Impreso y hecho en Colombia

Printed and made in Colombia

Editorial Pontificia Universidad Javeriana

Carrera 7.ª n.º 37-25, oficina 1301

Edificio Lutaima

Teléfono: 320 8320 ext. 4205

www.javeriana.edu.co/editorial

editorialpuj@javeriana.edu.co

Bogotá, D. C.



Pontificia Universidad Javeriana | Vigilada

Mineducación. Reconocimiento como

Universidad: Decreto 1297 del 30 de mayo de

1964. Reconocimiento de personería jurídica:

Resolución 73 del 12 de diciembre de 1933 del

Ministerio de Gobierno.

Pontificia Universidad Javeriana. Biblioteca Alfonso Borrero Cabal, S. J.
Catalogación en la publicación

Aplicaciones de investigación de operaciones en sistemas de salud en Colombia / editores académicos David Barrera Ferro, Elena Valentina Gutiérrez, Andrés Felipe Osorio Muriel. -- Primera edición. -- Bogotá : Editorial Pontificia Universidad Javeriana, 2020.

Incluye referencias bibliográficas.

ISBN:(digital) 978-958-781-575-7

1. Sistemas de salud - Colombia 2. Servicios de salud - Colombia 3. Investigación operativa en sistemas de salud 4. Atención primaria de la salud - Colombia 5. Programación (Matemáticas) 6. Procesos de optimización 7. Servicios médicos - Innovaciones tecnológicas 8. Servicios de salud - Innovaciones tecnológicas I. Barrera Ferro, David, editor académico II. Gutiérrez, Elena Valentina, editora académica III. Osorio Muriel, Andrés Felipe, editor académico IV. Pontificia Universidad Javeriana.

CDD 614 edición 21

inp

11/11/2020

Prohibida la reproducción total o parcial de este material sin la autorización por escrito de la Pontificia Universidad Javeriana. Las opiniones expresadas son responsabilidad exclusiva de los autores y las autoras y no comprometen a la Pontificia Universidad Javeriana.

Contenido

Prólogo. Aplicaciones de investigación de operaciones en sistemas de salud: nuevas tendencias

Juan G. Villegas

Capítulo 1. Investigación de operaciones en sistemas de salud: problemas de decisión y retos en Colombia

Elena Valentina Gutiérrez, David Barrera Ferro y Andrés Felipe Osorio Muriel

Capítulo 2. Localización de un centro médico especializado en la ciudad de Bogotá integrando el proceso analítico jerárquico y la programación matemática

Juan Esteban Paredes Bayona, Carlos Andrés Bolívar Polanía y William J. Guerrero

Capítulo 3. Evaluación de rutas de personal asistencial en el cuidado a la salud domiciliar mediante programación matemática y simulación multiagente

Julián Alberto Espejo-Díaz, Eduyn López-Santana y William J. Guerrero

Capítulo 4. Mejora de los tiempos de espera en la sala de urgencias de un hospital público, por medio de la simulación de eventos discretos

Álvaro Junior Caicedo-Rolón, Deisy Paola Leal Hernández, Liceth Paola Ortiz López y Leonardo Rivera Cadavid

Capítulo 5. Impacto de la inoportunidad de ayudas diagnósticas e interconsultas en la duración de la estancia hospitalaria

Tatiana María Ceballos Acevedo, Paula Andrea Velásquez Restrepo y Juan Sebastián Jaén-Posada

Capítulo 6. Árboles de modelos aditivos generalizados de localización, escala y forma para la predicción de tiempo de estancia hospitalaria

Juan Camilo España Lopera, Olga Cecilia Úsuga Manco y Juan Sebastián Jaén Posada

Capítulo 7. Marco de trabajo para la vigilancia epidemiológica en Santander, bajo el paradigma *big data*

Yuly Andrea Ramírez Sierra y Henry Lamos Díaz

Capítulo 8. Metodología para la identificación y seguimiento del riesgo en salud de una cohorte poblacional atendida bajo el modelo Sermás

Edwin Alonso Álvarez Tobón, Paula Andrea Velásquez Restrepo, Marta Cecilia Ramírez Orrego y Alma Karina Rodríguez Quintero

Colaboradores

Prólogo. Aplicaciones de investigación de operaciones en sistemas de salud: nuevas tendencias

Leer el contenido de este libro que tienen en sus manos realmente emociona y leer cada uno de sus capítulos en detalle enseña e inspira. El esfuerzo que han hecho sus editores (Andrés Osorio Muriel, David Barrera y Valentina Gutiérrez) y los más de veinte autores es muy importante. Hasta ahora, las aplicaciones más visibles de la investigación de operaciones en nuestro medio han estado concentradas en la utilización que tradicionalmente se ha hecho de esta para planear y controlar sistemas eléctricos, logísticos y productivos. De esta manera, es una pieza única este libro, dedicado a las aplicaciones de la investigación de operaciones en sistemas de salud, con énfasis en el ámbito colombiano. Para constatar su valor basta con (h)ojear la tabla de contenido. La selección de capítulos da buena cuenta de la diversidad de aplicaciones, herramientas, alcances y retos que se puede tener cuando se estudian los sistemas de salud con las herramientas de análisis que nos provee la investigación de operaciones.

En este libro se reúnen aplicaciones de herramientas tan diversas como el análisis de decisión multicriterio, la programación matemática/optimización y la simulación. Esta última se utilizó (remarcablemente) en tres paradigmas principales: simulación con agentes, simulación de eventos discretos y dinámica de sistemas. Asimismo, mención especial tienen las aplicaciones de análisis de grandes volúmenes de datos (*big data*) y las herramientas de aprendizaje de máquina (*machine learning*), presentadas en dos de los capítulos. Estos últimos muestran cómo las nuevas tendencias de analítica (*business analytics*) e inteligencia artificial (*artificial intelligence*) confluyen y se suman a las herramientas más tradicionales de la investigación de operaciones.

Sin duda, ver los sistemas de salud desde la perspectiva de la investigación de operaciones impone nuevos retos que no son insalvables. Hay en los sistemas de salud desafíos y dilemas a los que quizás antes no nos veíamos enfrentados al trabajar en otras industrias o servicios. Desde dilemas éticos, causados por la naturaleza del servicio de salud como un derecho fundamental, bien sea porque en las decisiones que se modelan muchas veces están involucradas las vidas y el bienestar de los pacientes, o porque los objetivos de los sistemas de salud van más allá de la rentabilidad o la disminución de costos a los que estamos comúnmente acostumbrados (v. g., mejorar la cobertura o lograr equidad).

Por otro lado, entender los sistemas de salud y las decisiones que en ellos se toman (para el tratamiento de los pacientes, para la planeación de las operaciones de los servicios o para la definición de políticas públicas) exige apropiarse

de conocimientos que son ajenos a la formación tradicional en investigación de operaciones. Por fortuna, esto último exige la conformación de equipos multidisciplinarios, con personal asistencial (médicos, enfermeras, instrumentadores, terapeutas, etc.), con epidemiólogos, con funcionarios del Estado, con expertos en sistemas de información, calidad y acreditación en salud, entre otros. En estos equipos es también importante la investigación de operaciones, pues los complementa aportando una visión cuantitativa, analítica e ingenieril que algunas veces no tienen.

Hay todavía algunas barreras que salvar, tal como lo resaltan los editores en su primer capítulo. Quizás la más importante sea lograr que los resultados de estos estudios se utilicen rutinariamente en las entidades promotoras de salud (EPS), las instituciones prestadoras de salud (IPS) y los entes reguladores, de control y generadores de política pública del Estado. Sin embargo, ver entre los coautores de algunos de los capítulos de este libro a funcionarios que trabajan en IPS o EPS es un ejemplo de que esto se puede lograr y que los equipos interdisciplinarios pueden alcanzar resultados valiosos para estas entidades.

Espero que este sea el primer paso (editorial) de una comunidad colombiana dedicada a la investigación de operaciones en salud. El primer capítulo del libro, escrito por los editores, da una muy buena retrospectiva de la evolución y consolidación de este tipo de investigación, la cual se empieza a ver en múltiples manifestaciones. Por ejemplo, con la participación nutrida y sostenida en conferencias nacionales, en las cuales la investigación de operaciones aplicada a sistemas de salud es ya un tema recurrente. Igualmente, la creación del Grupo de Trabajo en Salud en el seno de la Asociación Colombiana de Investigación Operativa es otra de estas manifestaciones.

Para terminar, estoy seguro de que los capítulos de este libro serán una fuente de inspiración, para buscar nuevas aplicaciones o para reproducir y extender las que aquí se presentan. Este libro es una invitación a construir lazos que junten a los expertos en investigación de operaciones del país con los decisores en el ámbito del sistema de salud. Todo esto con el fin de contribuir al desarrollo del país en un asunto tan fundamental para la sociedad como la salud de la población.

JUAN G. VILLEGAS

*Profesor del Departamento de Ingeniería Industrial,
Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia*

Capítulo 1.

Investigación de operaciones en sistemas de salud: problemas de decisión y retos en Colombia

*Elena Valentina Gutiérrez,¹
David Barrera Ferro² y Andrés
Felipe Osorio Muriel³*

¹ Departamento de Ingeniería Industrial
Universidad de Antioquia
Medellín, Colombia
elena.gutierrez@udea.edu.co

² Departamento de Ingeniería Industrial
Pontificia Universidad Javeriana
Bogotá, Colombia
barrera-o@javeriana.edu.co

³ Departamento de Ingeniería Industrial
Universidad Icesi
Cali, Colombia
afosorio@icesi.edu.co

Resumen

Este capítulo brinda una perspectiva general del estado de las aplicaciones de investigación de operaciones desarrolladas por investigadores colombianos para apoyar decisiones en los sistemas de salud del país. El capítulo se presenta en el marco de un primer intento por proporcionar un espacio de difusión de las experiencias de investigación cuyo objetivo es mejorar la prestación de servicios de salud en el contexto colombiano. En particular, se revisan brevemente los libros disponibles en la literatura sobre el tema, se identifican las brechas de investigación existentes y luego estas últimas se contrastan con el registro de los trabajos presentados en dos conferencias colombianas.

Palabras clave: sistemas de salud, investigación de operaciones, Colombia

Introducción

La relevancia y uso de la investigación de operaciones para apoyar las decisiones en sistemas de salud han llamado la atención de los investigadores en Colombia desde mediados de la década del 2000. Por un lado, las dinámicas socioeconómicas que se han derivado de la legislación del servicio desde la aplicación de reformas como la Ley 100 de 1993 los han motivado al desarrollo de métodos y aplicación de técnicas de la investigación de operaciones, dirigidas a mejorar

la prestación del servicio. Por otro, las iniciativas de la comunidad internacional por reconocer y promover el uso de la investigación de operaciones en el área de la salud han evidenciado las oportunidades de trabajo y le han permitido a la comunidad en el país identificar caminos de acción más claros para estudiar dichos sistemas, generando retos tanto prácticos como metodológicos.

Los gestores y tomadores de decisiones en instituciones de salud en Colombia enfrentan retos asociados al diseño, a la operación, al control y al mejoramiento de los procesos de prestación de servicios de manera más efectiva y eficiente. Adicionalmente, la presión sobre los sistemas de salud ha aumentado no solo por el incremento de la demanda, sino también por el incremento de los costos en salud (Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD], 2020). En Colombia, la cobertura del sistema de salud se ha incrementado del 23,5% en 1993 al 96,6% en el 2014, y dicho crecimiento se ha dado con mayor rapidez para las personas en el 20% más pobre de la población (OECD, 2015). La evidencia de la crisis del sistema de salud en el país, así como las múltiples estadísticas epidemiológicas de la población (Bernal y Gutiérrez, 2012), han mostrado la necesidad de abordar los problemas y retos que enfrentan los tomadores de decisiones en Colombia con técnicas y métodos de la investigación de operaciones.

En el mundo, el uso de la investigación de operaciones para apoyar decisiones en sistemas de salud data de 1981 (Fries, 1981). Los problemas y métodos estudiados abarcan un amplio espectro que incluye las decisiones en diferentes servicios de salud o en diferentes horizontes de planeación, mediante variados métodos de investigación de operaciones y distintas etapas del ciclo de prestación del servicio. Las decisiones van desde el diagnóstico y cuidado de los pacientes como eje central del sistema, pasando por las decisiones de asignación y planeación de recursos, hasta el diseño de redes de prestación de servicios y su respectiva cobertura. Esta diversidad de problemas y métodos ha generado un incremento en las publicaciones en el campo (Brailsford y Vissers, 2011; Turner et al., 2010), así como el fortalecimiento de comunidades y grupos de trabajo en Europa mediante el Operational Research Applied to Health Services (ORAHs, 2020) y en Estados Unidos con el capítulo de salud del Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS) (Denton et al., 2020), y la aparición de revistas especializadas en la aplicación de la investigación de operaciones en los sistemas de salud. Entre las revistas más reconocidas se encuentran *Health Care Management Science*, *Operations Research for Health Care*, *Health Systems e IISE Transactions on Healthcare Systems Engineering*. En Colombia, publicaciones seriadas como la revista *Ingeniería y Universidad* y la *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia* han editado números especiales que incluyen la aplicación de métodos de investigación de operaciones en sistemas de salud.

La literatura científica demuestra también la relevancia y uso de la investigación de operaciones para apoyar decisiones en sistemas de salud. Las revisiones

y taxonomías más recientes para el estudio del área dan cuenta de la diversidad en problemas y métodos. Hulshof et al. (2012) presentan una de las revisiones más citadas y amplias en la literatura, en la que se reportan más de 450 publicaciones en el campo. En este trabajo, los autores proponen una taxonomía para la clasificación de los problemas de planeación en salud que diferencia seis tipos de servicios, tres horizontes principales de planeación y seis métodos de investigación de operaciones. Brailsford y Vissers (2011) plantean una estructura de análisis en dos dimensiones para reportar el desarrollo de la comunidad europea en el campo. En la primera dimensión de la estructura se consideran nueve etapas del ciclo de vida en servicios de salud y en la segunda se definen tres niveles de clasificación de los procesos en diferentes niveles en salud. Brandeau et al. (2004) también presentan uno de los libros más citados en el estudio de la investigación de operaciones en salud. Los autores presentan 32 capítulos clasificados en tres áreas principales: gestión de operaciones en salud, política pública y análisis económico y aplicaciones clínicas.

En Colombia, al sistema de salud lo regula el Ministerio de Salud y de Protección Social, a través de un sistema de seguridad social financiado por las contribuciones de los empleados y empleadores en el régimen contributivo, y por el Estado, para el régimen subsidiado. Esta estructura, definida por la Ley 100 de 1993 y generada por las reformas a los sistemas de salud comunes en Latinoamérica, ha hecho que el sistema en Colombia adopte una filosofía de seguridad social basada en el aseguramiento de los empleados mediante instituciones privadas, en un esquema de competencia de mercado (Esteves, 2012). Ante este panorama, la estructura de prestación de servicios difiere en parte de las estructuras comunes de prestación de servicios, sobre todo en Europa, y parcialmente de la estructura en Estados Unidos. Sin embargo, y a pesar de dichas diferencias, los gestores y tomadores de decisiones en sistemas de salud en el país enfrentan retos similares a los encontrados con regularidad en la literatura: incrementos en los requerimientos de servicios de salud, con recursos limitados y cada vez más contraídos.

Frente a dicho contexto, la comunidad de investigación de operaciones en Colombia ha abordado diferentes problemas de decisión, con diferentes metodologías. Dentro de las primeras actividades de reunión de la comunidad hay pocos registros iniciales de aplicaciones en el campo. En la primera versión que hubo de una sociedad de investigación de operaciones en el país se realizó un primer congreso en la Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín), en septiembre del 2001. A pesar de que en dicha oportunidad de los veintidós trabajos presentados ninguno correspondía a aplicaciones en salud, en septiembre del 2008, esa misma comunidad organizó el que hasta ahora ha sido el único Congreso Latino-Iberoamericano de Investigación Operativa (Claio) realizado en Colombia. En el Claio 2008 hubo siete sesiones dedicadas a sistemas de salud y más de veinticinco trabajos presentados en el congreso estudiaron aplicaciones de investigación de

operaciones a diferentes problemas en sistemas de salud. Puede decirse que, a partir del 2008, la comunidad colombiana de investigación de operaciones empezó a dedicarle más esfuerzo a las aplicaciones en el campo de estudio.

Desde el 2008, la comunidad en Colombia ha trabajado en un conjunto amplio de problemas de investigación de operaciones en sistemas de salud. En noviembre del 2018 se realizó en la Pontificia Universidad Javeriana (sede Bogotá) el primer encuentro del Health Care Engineering Days. En dicho encuentro se presentó un recuento breve de los trabajos adelantados en la comunidad (Gutiérrez et al., 2018) y se contó con la participación de investigadores de dieciséis instituciones, quienes compartieron sus experiencias en el campo. Con este encuentro se identificó que existe una masa crítica creciente en el país y se evidenció la necesidad de generar un espacio de difusión y discusión para que la comunidad comparta sus experiencias y se abran espacios de colaboración. De igual forma, con el encuentro se sentaron las bases para formalizar las actividades de la comunidad y presentar la propuesta de un Grupo de Trabajo en Salud ante la Asociación Colombiana de Investigación Operativa (Asocio).

De este modo, el objetivo principal de este libro, titulado *Aplicaciones de investigación de operaciones en sistemas de salud en Colombia (ApIOSS-Col)* es divulgar las experiencias de investigación que han desarrollado aplicaciones de técnicas de la investigación de operaciones para apoyar decisiones y mejorar la prestación de servicios de salud en el contexto colombiano. De igual forma, este libro pretende generar un espacio de difusión para identificar experiencias exitosas y posibles oportunidades de colaboración entre la comunidad de investigación de operaciones del país y el sector de la salud. El resto de este capítulo se encuentra organizado de la siguiente forma. En la siguiente sección se hace una revisión de libros de investigación de operaciones dedicados al estudio de problemas en sistemas de salud. Luego, se analizan los problemas y métodos estudiados por la comunidad y dados a conocer en las ponencias de los congresos de la Asocio y del Congreso Internacional de Industria y Organizaciones. En la cuarta sección se presenta la estructura del libro, brindando una breve reseña de cada uno de los capítulos incluidos. Finalmente, se concluye el capítulo.

Literatura de investigación de operaciones en salud

En esta sección se revisan diferentes libros que abordan aplicaciones de investigación de operaciones en sistemas de salud. Este tipo de publicaciones tuvo sus inicios hacia 1980; sin embargo, se ha evidenciado un crecimiento en la cantidad de libros publicados sobre el tema. Algunos de los últimos años abordan temas específicos en salud, como el flujo de pacientes y las emergencias; otros involucran otras disciplinas, como la gerencia de operaciones y la analítica de datos, y

otros siguen mostrando aplicaciones variadas específicamente de investigación de operaciones en sistemas de salud.

Los primeros libros los publicaron Boldy (1981) y Fries (1981). El primero es una revisión de aplicaciones, algunas de las cuales presentan casos detallados; mientras que en otros se mencionan las técnicas sin aplicaciones específicas. Estas se dividen en estratégicas y tácticas, dependiendo del horizonte de tiempo analizado. Es importante resaltar que el libro está orientado a una audiencia en el área de investigación de operaciones; sin embargo, el autor también busca motivar a administradores y tomadores de decisiones del sector de la salud. El segundo caso, el de Fries (1981), recoge aplicaciones de investigación de operaciones en sistemas de salud. El libro analiza 314 artículos publicados sobre el tema. Cada artículo es descrito brevemente y se agrupan en grandes temas que incluyen: pronósticos, localización de instalaciones, ocupación de hospitales, bancos de sangre, inventario de suministros hospitalarios, entre otros. Para seleccionar los artículos, el autor tuvo en cuenta aplicaciones puras de investigación de operaciones, y no se consideraron técnicas como análisis de costo-efectividad y análisis económicos.

En Duckett (1987) se relacionan diferentes temas, como la gestión de inventarios, la teoría de colas, la simulación y asignación, entre otros. Cada tema tiene un tutorial y se describen ejemplos de posibles aplicaciones. En algunos casos, el autor las menciona, pero el libro está enfocado en describir y explicar las técnicas, en lugar de mostrarlas de manera profunda. Es importante resaltar que, dada la fecha de publicación del libro, pueden estar obsoletas muchas de las técnicas mencionadas.

Después de estos libros, hay un salto en el tiempo y en el 2004 aparece el libro de Brandeau et al. (2004), que se convierte en uno de los más referenciados en esta área. Se estructura en tres partes: gerencia de operaciones en salud, análisis económico y políticas públicas y aplicaciones clínicas. El libro reseña no solo las aplicaciones más relevantes en ese momento, sino también los futuros retos en esta área de conocimiento. Además, son diversas, desde planeación de capacidad, modelos de detección en diabetes y retinopatía hasta modelos de optimización de radioterapias.

En la última década se ha evidenciado un crecimiento importante en el número de textos publicados sobre el tema. En el 2011, la Organización Mundial de la Salud dio a conocer el libro escrito en inglés titulado *Prioridades en investigación de operaciones para mejorar el cuidado y control de la tuberculosis* (World Health Organization, 2011). En este se presentan los resultados de un proceso en el que se reunió a un grupo de expertos en investigación de operaciones con el fin de identificar oportunidades en la lucha contra la tuberculosis. Así se identificaron cinco áreas en las que se requieren estrategias óptimas para actividades de control de tuberculosis: 1) acceso, 2) detección y diagnóstico, 3) colaboración sostenible con proveedores de servicios de salud en tuberculosis, 4) prevención de tuberculosis en personas con VIH y tratamiento conjunto VIH y tuberculosis

más acceso y entrega de tratamientos y 5) creación de capacidad en investigación de operaciones.

El libro editado por Tanfani y Testi (2012) contiene trece capítulos que enmarcan diferentes técnicas —como análisis envolvente de datos, simulación, optimización y análisis multicriterio— empleadas en una gran variedad de problemas. Una de las principales características del libro es que, junto con la aplicación, se explican de modo claro los conceptos metodológicos y teóricos de las técnicas usadas, al igual que los impactos y los beneficios. También cubre diferentes tipos de aplicaciones, incluyendo administración de fuerza laboral, programación de quirófanos, rutas hospitalarias y problemas de asignación.

Un año después aparecieron los textos de Hall (2013) y Zaric (2013). En el primer caso, el libro está enfocado en el uso de técnicas para mejorar el flujo de pacientes en los sistemas de salud. El objetivo del libro es presentarle a la audiencia un conjunto de técnicas y estrategias que el personal médico y los tomadores de decisiones pueden emplear para reducir las demoras en los sistemas de salud. De esta manera, se centra en áreas como la congestión de los sistemas, los programas de citas y las herramientas de modelado. Uno de los aspectos relevantes de este libro es que contiene una sección dedicada a la implementación de las soluciones obtenidas. Por otra parte, en los dieciocho capítulos del libro de Zaric (2013) se encuentran diferentes aplicaciones de investigación de operaciones en el diseño de políticas en sistemas de salud, por ejemplo, optimización, cadenas de Markov, simulación, entre otras, que se utilizan para apoyar el diseño de políticas en diferentes países (*e. g.* Estados Unidos y Canadá). En sus diferentes secciones se incluyen una revisión general de aplicaciones de investigación de operaciones en políticas de salud, aplicaciones enfocadas en problemas específicos (como operaciones, VIH y farmacéuticas) y lineamientos sobre la construcción de modelos de políticas en salud.

En los dos volúmenes de su libro, Mustafee (2016a, 2016b) recoge diferentes contribuciones, en especial respecto al tema de planeación de emergencias; esto incluye técnicas de preparación, planeación y respuesta de accidentes y emergencias en salud pública. El primer volumen aborda el problema desde un enfoque operativo; mientras que en el segundo volumen el enfoque es completamente estratégico. Los libros se estructuran considerando tres perspectivas: las técnicas de investigación de operaciones, el área de aplicación y el contexto de la aplicación.

El libro de Kahraman y Topcu (2018) contiene aplicaciones en diferentes países como Turquía, Estados Unidos, Canadá, entre otros. Una de las secciones incluye una taxonomía para clasificar las aplicaciones de investigación de operaciones en salud. La estructura recorre algunos elementos del flujo de los pacientes, esto incluye preparación, diagnóstico y tratamiento. De igual forma, esto se

complementa con secciones donde se analizan los sistemas, las operaciones y los causantes de las demoras en los procesos de atención.

Otros libros como los de Denton (2013), Dai y Tayur (2018) y Yang y Lee (2016) incluyen temas de aplicaciones en investigación de operaciones en salud; sin embargo, se enfocan en disciplinas relacionadas. En el caso de Denton (2013), se dirige hacia la gerencia de operaciones en salud; mientras que Dai y Tayur (2018) y Yang y Lee (2016) se centran en la analítica de datos. Finalmente, Brailsford y Harper (2007) presentan una colección de contribuciones del Grupo de Trabajo en Salud de la Asociación Europea de Investigación de Operaciones (ORAHs, 2020).

En materia de libros de texto, orientados a estudiantes de pregrado o personal dedicado a la aplicación de investigación de operaciones en sistemas de salud, vale la pena citar el de Ozcan (2009), el cual, en quince capítulos, recorre los principales problemas de la gestión de operaciones, como pronósticos, localización de instalaciones, distribución de planta, toma de decisiones, gerencia de proyectos e inventarios, entre otros. Cada capítulo se desarrolla de forma clara a través de múltiples ejemplos y al final se dejan ejercicios propuestos para los estudiantes. Por su parte, Clarkson et al. (2009) presentan una guía básica que permite elegir entre las diversas técnicas y herramientas de la investigación de operaciones la más apropiada según el contexto. Este libro resulta particularmente útil para los tomadores de decisiones en el ámbito de los sistemas de salud, los cuales en muchos casos tienen un conocimiento limitado de la diversidad de enfoques que la investigación de operaciones ofrece.

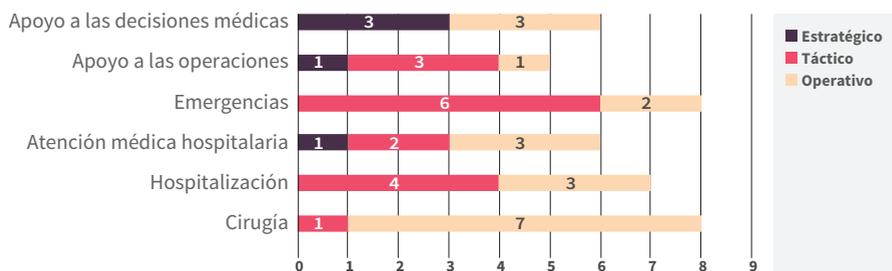
Como se evidencia, existen múltiples aplicaciones; sin embargo, es importante resaltar que no se encontraron libros enfocados en países en desarrollo. En ese orden de ideas, este libro contribuye a entender y mejorar los sistemas de salud teniendo en cuenta las particularidades del sistema de salud colombiano.

Comunidad de investigación de operaciones en salud en Colombia

Con el objetivo de dar un contexto a los trabajos incluidos en el libro, en esta sección se analizan los problemas y los métodos estudiados en algunas aplicaciones locales. Se incluyeron las ponencias presentadas en el Congreso Colombiano de Investigación de Operaciones (versiones 2015, 2017 y 2019) y en el Congreso Internacional Industria y Organizaciones (versiones 2016, 2017 y 2018). En total, se encontraron 42 trabajos. Un total de veintinueve ponencias abordan problemas de planeación y se agruparon usando las categorías definidas por Hulshof et al. (2012). Además, seis trabajos corresponden a modelos de apoyo a decisiones médicas y cinco más analizan problemas de apoyo a las operaciones. Finalmente, en dos ponencias, los autores presentan revisiones de la literatura (Duque Uribe y Sa-

rache Castro, 2017; Ruiz Orjuela y Adarme Jaimes, 2019). La figura 1 resume la distribución de cuarenta trabajos en dichas categorías, considerando el horizonte de planeación de la decisión apoyada. A pesar de no ser una revisión sistemática de la literatura, dos conclusiones son de interés: primero, existe un mayor balance entre las decisiones tácticas y operativas que el encontrado en estudios hechos en otros contextos (Brailsford y Vissers, 2011); segundo, se evidencia un crecimiento del interés de la comunidad local en el tema, comparado con lo encontrado por Velasco et al. (2012).

Figura 1. Clasificación de trabajos con base en la taxonomía propuesta por Hulshof et al. (2012)



Fuente: elaboración propia.

En servicios de cirugía, seis ponencias (86%) resuelven la versión determinística del problema de programación de procedimientos electivos (Arévalo et al., 2017; Aristizábal Cataño et al., 2016; Díaz et al., 2015; Estupiñán et al., 2015; Noguera et al., 2017; Saavedra et al., 2015). En estos trabajos, los autores asumen que se conoce la lista de procedimientos que deben ejecutarse durante el horizonte de planeación y su respectiva duración; no obstante, a pesar de reportar colaboración con hospitales e incorporar las particularidades del contexto, los resúmenes no brindan información que permita concluir sobre los niveles de implementación de los resultados. Respecto a los métodos, cuatro trabajos proponen reglas de despacho (Aristizábal Cataño et al., 2016; Díaz et al., 2015; Estupiñán et al., 2015; Saavedra et al., 2015) y dos usan estrategias de búsqueda local para mejorar la calidad de las soluciones iniciales (Arévalo et al., 2017; Noguera et al., 2017). Para este problema, no fue posible encontrar trabajos que estudien las decisiones estratégicas o tácticas ni que consideren la incertidumbre relacionada con los parámetros. Finalmente, Avella-Centeno et al. (2016) estudian el problema de la programación de enfermeras en un servicio quirúrgico de alta complejidad. Los autores proponen el uso de una técnica híbrida de simulación-optimización que modela la variabilidad asociada a la duración de los procedimientos quirúrgicos y el impacto que esta tiene en la carga de trabajo.

En los servicios de emergencia, las decisiones de localización y relocalización de ambulancias concentran la mayor parte de la atención en las aplicaciones locales (43%). Rodríguez et al. (2015) analizan los registros históricos de dos años de funcionamiento de un servicio de emergencias en Medellín y dan a conocer un modelo de simulación de eventos discretos para evaluar diferentes políticas de relocalización de ambulancias. Castañeda et al. (2015) proponen integrar un modelo de optimización multiobjetivo y un modelo de simulación de eventos discretos para tomar decisiones de localización. Con esta metodología es posible cuantificar los sacrificios entre diferentes funciones-objetivo e incorporar la incertidumbre de la demanda y los tiempos de servicio. Finalmente, Rico Carrillo et al. (2018) proponen un modelo de programación lineal para encontrar la ubicación óptima de ambulancias marítimas medicalizadas en la ciudad de Cartagena. En esta categoría, otras decisiones menos estudiadas incluyen el uso de grandes cantidades de información para caracterizar usuarios (Felizzola et al., 2017) o procesos (Aguirre y Rodríguez, 2017), la gestión de inventarios (Carvajal et al., 2015) y la selección del hospital destino (Rojas et al., 2016).

En los servicios de atención médica domiciliaria se encontró también que la decisión más estudiada es el ruteo del personal encargado de la prestación de los servicios. Cuatro aplicaciones (57%) resuelven la versión determinística de dicho problema (Espejo et al., 2019; López-Santana et al., 2016; Manrique y Gutiérrez, 2019; Vásquez Echavarría y Gutiérrez, 2018). A pesar de que la mayoría de los trabajos propone el uso de métodos exactos, Vásquez Echavarría y Gutiérrez (2018) desarrollaron una herramienta computacional para facilitar la toma de decisiones y discutieron sobre las implicaciones de las decisiones tácticas en el problema operativo. Además, existen trabajos que buscan caracterizar la forma en que se toman decisiones de asignación de recursos. Cortés y Gutiérrez (2016) proponen un modelo de medición de madurez de capacidades logísticas que después se usó en el Valle de Aburrá (Cortés et al., 2017a). Finalmente, Cortés et al. (2017b) proponen un modelo de programación entera mixta para el problema de la zonificación, considerando el balance de cargas de trabajo, la contigüidad y las medidas de distancia.

En los servicios hospitalarios, dos temas concentran el 71% de los trabajos. Por un lado, tres ponencias estudian la gestión de inventarios usando simulación (Amaya Bermúdez et al., 2018; Martínez Sánchez et al., 2018; Moscoso Moreno y Cañón Muñoz, 2016). Por otro, dos ponencias estudian la planeación de turnos de enfermería. Moscoso Moreno y Cañón Muñoz (2016) proponen el uso de simulación de eventos discretos para evaluar diferentes alternativas de distribución de dosis unitarias. Adicionalmente, Martínez Sánchez et al. (2018) y Amaya Bermúdez et al. (2018) usan la dinámica de sistemas para analizar la capacidad instalada y la distribución de medicamentos oncológicos. Giedelman et al. (2015) presentan un modelo matemático para planear turnos de enfermería y

Velásquez et al. (2017) desarrollaron un aplicativo basado en un modelo de redes. Por último, se encontraron trabajos en rediseño de procesos (Buitrago et al., 2015) y análisis de la estancia hospitalaria (Ceballos et al., 2015).

Una categoría de interés, que no fue incluida en la clasificación propuesta por Hulshof et al. (2012), corresponde a los trabajos dedicados a estudiar los procesos de apoyo a las operaciones. En esta se encuentran la gestión de inventarios, la mejora de procesos, el ruteo de vehículos y la localización de instalaciones. Piraban y Labadie (2017) proponen un modelo de programación estocástica para diseñar políticas de inventario y de productos hemocomponentes, para un entorno hospitalario. En la misma línea, Poveda et al. (2017) diseñaron una metodología de simulación-optimización para el diseño de políticas coordinadas entre un banco de sangre y una red de hospitales públicos. Por otro lado, Marín et al. (2017) propusieron mejoras al proceso de facturación de una clínica y evaluaron el impacto de la propuesta usando una simulación de eventos discretos. Así mismo, Bueno et al. (2017) estudiaron el proceso de recolección de residuos sólidos en una red de veintiocho hospitales usando heurísticas constructivas. Finalmente, Mayorga et al. (2017) resolvieron el problema de la localización de centros de distribución para una empresa farmacéutica.

Por último, en una última categoría se agruparon los modelos que brindan soporte a las decisiones médicas. Se encontró que el 83% de los estudios son desarrollos teóricos, en etapa de validación. En consecuencia, los autores no reportan colaboración con una entidad del sector salud. Por un lado, tres ponencias estudiaron decisiones de tratamiento (Carranza et al., 2015; Coy et al., 2015; Jiménez Lozano y Jiménez Muñoz, 2017). Coy et al. (2015) presentaron una extensión de un proceso de decisión markoviano para apoyar la toma de decisiones en el tratamiento de cáncer de seno. Carranza et al. (2015) propusieron una herramienta para seleccionar el mejor tipo de examen diagnóstico en cáncer de cuello uterino, y Jiménez Lozano y Jiménez Muñoz (2017) analizaron el potencial de las aplicaciones de programación lineal en la planeación de tratamientos oncológicos. Por otro lado, tres estudios apoyaron decisiones de política pública (Angulo et al., 2017; Arboleda et al., 2015; Camacho, 2019). Arboleda et al. (2015) plantearon un proceso de decisión markoviano parcialmente observable para evaluar políticas del examen diagnóstico del cáncer de cuello uterino, Angulo et al. (2017) analizaron la costoefectividad de los tratamientos de la misma enfermedad y Camacho (2019) caracterizó la operación de redes rurales de atención en salud materno-perinatal.

Estructura del libro *ApIOSS-Col*

La literatura sobre el tema ha evidenciado el uso de métodos de la investigación de operaciones para abordar problemas de decisión en el área de la salud. Sin embargo, existe la necesidad de identificar las experiencias de investigación que han

desarrollado aplicaciones de técnicas en este campo para apoyar decisiones y para mejorar la prestación de servicios en el contexto colombiano. De este modo, los objetivos del libro son responder a dicha necesidad e identificar las oportunidades de investigación en el contexto.

Con base en la clasificación propuesta por Brandeau et al. (2004), el libro cubre dos principales áreas de estudio: 1) gestión de operaciones en salud y 2) política pública y análisis económico. La mayoría de los capítulos están orientados a la primera área. Así, cada uno presenta el problema de investigación, los métodos utilizados y los resultados obtenidos. Esta estructura se enmarca en una aplicación en el contexto colombiano, de modo que distintos actores del sistema, como investigadores y tomadores de decisiones, puedan acceder a este material.

El libro cubre temas diversos en la primera área de estudio, como la localización y el diseño de redes de centros de atención en salud, la planeación de servicios de atención médica domiciliaria, la mejora de tiempos de atención en salas de urgencias, el impacto de las ayudas diagnósticas y la estancia hospitalaria. En la segunda área de estudio se presenta un marco para la vigilancia epidemiológica y una metodología para la gestión de riesgo en salud. A pesar de la diversidad en las aplicaciones, cada uno de los capítulos evidencia cómo el uso de la investigación de operaciones puede contribuir al mejoramiento de la prestación de servicios de salud en Colombia.

Gestión de operaciones en salud

La primera sección del libro incluye capítulos que describen la aplicación de modelos de investigación de operaciones en la gestión de operaciones en salud.

En el capítulo 2, Juan Esteban Paredes Bayona, Carlos Andrés Bolívar Polanía y William J. Guerrero describen una propuesta metodológica para la localización de un centro médico especializado en la ciudad de Bogotá, a través de la integración del proceso analítico-jerárquico y la programación matemática. El trabajo está inspirado en el problema de cobertura de conjuntos, y los autores integran además herramientas de administración e ingeniería. Con base en su aplicación en el contexto de la ciudad de Bogotá, los resultados permiten estimar el impacto de los métodos propuestos, en términos de cobertura en los servicios médicos de la ciudad.

En el capítulo 3, Julián Alberto Espejo-Díaz, Eduyn López-Santana y William J. Guerrero presentan un modelo matemático que determina las rutas óptimas del personal asistencial en el cuidado domiciliario de la salud. Para ello, los autores proponen un método que combina la programación matemática y la simulación basada en agentes, el cual busca minimizar los tiempos de transporte del personal médico y de espera de los pacientes. Este método se aplicó en un caso de estudio real de un proveedor del servicio de cuidado a la salud domiciliaria en la

ciudad de Bogotá, y los resultados muestran un *trade-off* entre los niveles de servicio y los costos operativos al optimizar las rutas con mayor o menor frecuencia.

En el capítulo 4, Álvaro Junior Caicedo-Rolón, Deisy Paola Leal Hernández, Liceth Paola Ortiz López y Leonardo Rivera Cadavid describen la mejora de tiempos de espera en la sala de urgencias de un hospital público fronterizo, por medio de la simulación de eventos discretos. Con base en el análisis del proceso, los autores evalúan el impacto de posibles mejoras como la eliminación de un proceso de preadmisiones y la agregación de un médico para consulta general. El modelo evidencia que dichas mejoras permiten, entre otras, determinar el indicador de pacientes que salen del sistema sin ser vistos por un médico, reducir el tiempo promedio de espera de una consulta médica, reducir la ocupación del personal auxiliar de enfermería y aumentar el egreso de pacientes.

En el capítulo 5, Tatiana María Ceballos Acevedo, Paula Andrea Velásquez Restrepo y Juan Sebastián Jaén-Posada estudian el impacto de la inoportunidad de ayudas diagnósticas e interconsultas en la duración de la estancia hospitalaria. Para ello, los autores presentan una metodología que mide el impacto en días de estancia, que tienen los retrasos en la entrega de dichas ayudas en la eficacia y la eficiencia de la ronda médica de un grupo relacionado de diagnóstico específico. Los autores desarrollaron un modelo de dinámica de sistemas, el cual permite identificar cuáles políticas de sincronización entre los tiempos de servicio de ayudas diagnósticas, interconsultas y ronda médica podrían reducir la estancia hospitalaria de pacientes del grupo relacionado estudiado. Dicha mejora implica, además, disminuir el promedio de la estancia hospitalaria de tal grupo.

En el capítulo 6, Juan Camilo España Lopera, Olga Cecilia Úsuga Manco y Juan Sebastián Jaén-Posada desarrollan una metodología de árboles de modelos aditivos generalizados de localización, escala y forma, en conjunto con la técnica de árboles de clasificación y regresión, para predecir tiempos de estancia hospitalaria. Los autores aplicaron la metodología en tres casos de estudio de hospitales que se diferencian en su país de origen, en el número de observaciones y en la cantidad y naturaleza de las variables explicativas. Los resultados muestran que el nivel de ajuste de los modelos varía según las características de los casos de estudio, pero se evidencia también que el desempeño del modelo generado con la técnica de árboles de decisión supera los resultados que se obtienen en otros modelos, en particular en los escenarios logrados con regresión lineal.

Política pública y análisis económico

La segunda sección del libro incluye dos capítulos sobre el uso de modelos de investigación de operaciones para el análisis de política pública y el análisis económico de sistemas de salud en Colombia.

En el capítulo 7, Yuly Andrea Ramírez Sierra y Henry Lamos Díaz construyen un marco de trabajo para la vigilancia epidemiológica en Santander, bajo

el paradigma de la *big data*. Para ello, y según las etapas del proceso de descubrimiento de conocimiento en bases de datos, los autores adoptaron técnicas de minería de datos y de aprendizaje automático, con el fin de apoyar la toma de decisiones en salud pública. La metodología propuesta se aplicó al estudio de caso del dengue, y se evidenciaron las ventajas de integrar la analítica descriptiva y la predictiva.

En el capítulo 8, Edwin Alonso Álvarez Tobón, Paula Andrea Velásquez Restrepo, Marta Cecilia Ramírez Orrego y Alma Karina Rodríguez Quintero reseñan una metodología para la identificación y el seguimiento del riesgo en salud de una cohorte poblacional atendida bajo el modelo de pago global prospectivo. La metodología permitió identificar, clasificar, definir y estratificar grupos, según el riesgo, mediante modelos descriptivos y predictivos. Los autores emplearon la metodología a una cohorte poblacional y los resultados muestran la identificación de pacientes que se podrían beneficiar de intervenciones preventivas para reducir eventos no deseados. De igual forma, los resultados muestran que es posible tener una mejor planificación y gestión de los recursos.

Conclusiones

Este capítulo introductorio ofrece una perspectiva general del estado de las aplicaciones de investigación de operaciones desarrolladas por investigadores colombianos para apoyar decisiones en sistemas de salud del país. Para ello, exploró tres fuentes de información: 1) una revisión de libros en el tema, 2) una revisión de trabajos desarrollados en Colombia a través de memorias de conferencias y 3) una descripción de cada capítulo de este libro. De acuerdo con el análisis de cada sección, se presentan dos conclusiones principales, en términos del enfoque de libros existentes y el número y enfoque de aplicaciones divulgadas por la comunidad. Se identificaron también para cada punto los retos que enfrenta la comunidad y la necesidad de generar redes de colaboración.

Primero, la mayoría de los libros encontrados en la literatura científica documentan experiencias en países con un alto grado de desarrollo económico e industrial, que mantienen sólidos sistemas de salud pública. Este hecho hace que las problemáticas, los recursos físicos y tecnológicos e, incluso, la cultura de pacientes y personal de salud tengan características distintas cuando se comparan con países en vías de desarrollo. Por esto, es necesario centralizar los esfuerzos para promover las aplicaciones de investigación de operaciones en el sistema de salud colombiano. En el mundo existen comunidades y grupos de trabajo de investigación de operaciones en salud que, a través del fortalecimiento de su masa crítica de investigadores, publicaciones, conferencias y asociaciones, han evidenciado madurez y oportunidades de colaboración en sistemas de salud. En Colombia, es necesario continuar el esfuerzo en la creación de redes para promover el

tema. La evidencia de los congresos muestra el desarrollo de varios tutoriales y la diversidad en las aplicaciones; sin embargo, es necesario fortalecer los lazos de colaboración entre los investigadores en el tema. En el mismo sentido, es necesario motivar al personal médico y a los gestores de instituciones prestadoras de servicios de salud a conocer y participar de la aplicación de investigación de operaciones en sus decisiones.

Segundo, el número de publicaciones de aplicaciones de investigación de operaciones en sistemas de salud en Colombia ha evidenciado una tendencia creciente en los últimos diez años. Los trabajos de la comunidad nacional muestran un mayor balance entre las decisiones tácticas y operativas que el encontrado en estudios hechos en otros contextos. No obstante, se identificó que es necesario que los practicantes e investigadores en el tema también colaboren con entidades e instituciones gubernamentales, de modo que los resultados de las investigaciones contribuyan a la definición de políticas públicas, y que el impacto trascienda las decisiones tácticas y operativas, y alcance los niveles estratégicos de planeación de salud en Colombia. De igual forma, la evidencia de los trabajos presentados en conferencias muestra una tendencia creciente, pero se ha encontrado que es limitada la visibilidad de dichas memorias. El reto que enfrentan los investigadores, en este sentido, es convertir dichos trabajos en publicaciones científicas (*i. e.*, artículos en revistas indexadas y volúmenes editados como este), de tal forma que los desarrollos tengan más visibilidad y circulación y, por ende, más oportunidades de reproducirse en otros contextos.

Este libro es un primer intento por proporcionar un espacio formal de difusión de las experiencias que ha tenido la comunidad en Colombia en la aplicación de investigación de operaciones en sistemas de salud nacionales. Al igual que la comunidad internacional, aunque en tiempos y ritmos diferentes, la comunidad de investigadores y gestores de sistemas de salud en el país ha mostrado un interés por el estudio y la aplicación de métodos de la investigación de operaciones para el mejoramiento de la prestación de servicios de salud. Por ello, en este libro se pretende divulgar las experiencias de investigación desarrolladas en Colombia, con miras además a identificar oportunidades de trabajo y redes de investigación. El proceso de convocatoria, evaluación y edición del libro se ha realizado en el contexto del recientemente formalizado Grupo de Trabajo en Salud (GTS) de Asocio. Los miembros del GTS, así como la comunidad de Asocio, han desarrollado un conjunto de actividades, cursos, tutoriales, encuentros y congresos, entre otros, que han permitido el reconocimiento de los trabajos e investigadores en el país. De este modo, esperamos que este libro cumpla su objetivo y promueva el trabajo colaborativo en la comunidad, y el desarrollo y madurez del área en nuestro país.

Referencias

- Aguirre, S. y Rodríguez, C. (2017). *Mejoramiento del servicio de urgencias en una red de clínicas con minería de procesos* [presentación de ponencia]. Congreso Colombiano de Investigación de Operaciones, Universidad Eafit, Colombia.
- Amaya Bermúdez, C. D., Barreto Benítez, M. F. y Zamora Aguas, J. P. (2018). *Análisis de capacidades de almacenamiento de medicamentos oncológicos en una IPS de Bogotá* [presentación de ponencia]. Congreso Internacional Industria y Organizaciones, Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
- Angulo, D., Mura, I. y AkhavanTabatabaei, R. (2017). *Análisis de costo-efectividad de las políticas públicas colombianas contra el cáncer de cuello uterino* [presentación de ponencia]. Congreso Colombiano de Investigación de Operaciones, Universidad Eafit, Colombia.
- Arboleda, J., Namen, I., Akhavan-Tabatabaei, R. y Gel, E. (2015). *Un enfoque POM-DP a políticas de detección primarias para el cáncer de cuello uterino en Colombia* [presentación de ponencia]. Congreso Colombiano de Investigación de Operaciones, Universidad de La Sabana, Colombia.
- Arévalo, S., Palma, J., Abdallah, R. N. y Rojas, J. A. (2017). *Eficiencia en la planeación de cirugías a través de la aplicación de dos métodos heurísticos* [presentación de ponencia]. Congreso Colombiano de Investigación de Operaciones, Universidad Eafit, Colombia.
- Aristizábal Cataño, M. C., Parra Flórez, L. A., Millán González, A. T., Román Londoño, M. A., Bolaños Carmona, M. A. y Rojas Trejos, C. A. (2016). *Aplicación de reglas de despacho para la programación de cirugías. Caso estudio: Hospital del Norte del Valle del Cauca* [presentación de ponencia]. Congreso Internacional Industria y Organizaciones, Universidad del Valle, Colombia.
- Avella-Centeno, N., Moreno, N., Riaño, C. D., Barrera, D. y Suárez, D. R. (2016). *Herramienta computacional para la programación de turnos de enfermería en un servicio quirúrgico de alta complejidad* [presentación de ponencia]. Congreso Internacional Industria y Organizaciones, Universidad del Valle, Colombia.
- Bernal, O. y Gutiérrez, C. (2012). *La salud en Colombia: logros, retos y recomendaciones*. Ediciones Uniandes.
- Boldy, D. (1981). *Operational research applied to health services*. Croom Helm.
- Brailsford, S. y Harper, P. (Eds.). (2007). *Operational research for health policy: Making better decisions*. Documento procedente de la 31st Annual Conference of the European Working Group on Operational Research Applied to Health Services, Peter Lang.
- Brailsford, S. y Vissers, J. (2011). OR in healthcare: A European perspective. *European Journal of Operational Research*, 212(2), 223-234.