

## **Metodologías cuantitativas para la optimización del servicio de urgencias: una revisión de la literatura\***

---

## **Quantitative methodology for emergency service optimization: a review of past literature**

---

## **Metodologias quantitativas para otimização do serviço de urgências: uma revisão da literatura**

---

Fecha de recepción: 27-07-11 Fecha de aceptación: 04-09-11

Paula Andrea Velásquez-Restrepo\*\*

Alma Karina Rodríguez-Quintero\*\*\*

Juan Sebastián Jaén-Posada\*\*\*\*

---

---

\* Informe de investigación, artículo de revisión. El artículo de investigación se desprende del estudio "Diseño de políticas para la disminución de la saturación en el servicio de urgencias de la IPS universitaria, Sede Clínica León XIII; IPS Universitaria, servicios de salud de la Universidad de Antioquia; 2010-2011".

\*\* Investigadora principal, bioingeniera, estudiante de Maestría en Ingeniería-Logística Hospitalaria, Universidad de Antioquia. Correo electrónico: paulavelasquezr@gmail.com Correspondencia: Carrera 10 este N 4ª - 4, Urbanización Aragón, Avenida san Antonio de Prado, Medellín-Colombia.

\*\*\* Ingeniera industrial, Universidad de Antioquia. Correo electrónico: kary\_rq@hotmail.com

\*\*\*\* Docente del Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Antioquia, ingeniero administrador de la Universidad Nacional de Colombia, magíster en Ingeniería-Sistemas, Universidad Nacional del Colombia, doctor en Ingeniería-Sistemas, Universidad Nacional del Colombia. Correo electrónico: jjaen@udea.edu.co

### Resumen

El presente trabajo presenta una revisión bibliográfica que enumera los problemas más comunes encontrados en los servicios de urgencias y las metodologías de investigación de operaciones más aplicadas para su estudio y solución. Se muestran las ventajas y desventajas de los métodos y los resultados obtenidos. Se encontró que los principales problemas abordados por los investigadores son: la ineficiencia en el flujo de pacientes, evaluar la capacidad del servicio vs. la demanda, y los largos tiempos de espera de los pacientes para ser atendidos. Se utiliza, principalmente, la simulación de eventos discretos y la programación matemática. Ninguna de las referencias evaluadas plantea un cambio de esquema al sistema actual ni explora la reducción de la demanda.

**Palabras clave autor:** sistema de emergencias, métodos cuantitativos en salud, optimización, simulación, modelos de decisión, revisión de la literatura.

**Palabras clave descriptor:** urgencias médicas - métodos, servicios médicos de urgencias, medicina de emergencia -métodos, investigación cuantitativa - métodos.

### Abstract

This paper presents a literature review that lists the most common problems encountered in emergency departments and operations research methodologies most applied for study and solution. The advantages and disadvantages of the methods and results are shown. We found that the main issues addressed by researchers are: inefficiency in the flow of patients, assess service capacity vs. demand and long waiting times of patients for treatment. It is mainly used discrete event simulation and mathematical programming. None of the references evaluated considering changing the current system outline and explore demand reduction.

**Keywords author:** emergency system, quantitative methods in health, optimization, simulation, decision models, literature reviewing.

**Keywords plus:** Emergencies – Methods, Emergency medical services – Methods, Emergency Medicine – Methods, Quantitative research – Methods.

### Resumo

Este trabalho apresenta revisão bibliográfica respeito dos problemas mais comumente encontrados nos serviços de urgências e das metodologias de pesquisa de operações mais aplicadas para seu estudo e solução. São mencionadas as vantagens e desvantagens dos métodos e resultados obtidos. Encontrou-se que as principais questões abordadas pelos pesquisadores foram: ineficiência no fluxo de pacientes, avaliar capacidade de serviço versus demanda real e longos períodos de espera dos pacientes antes de serem atendidos, utilizando principalmente a simulação de eventos discretos e a programação matemática. Nas referências bibliográficas estudadas não foram encontradas propostas de mudanças aos sistemas de saúde vigentes nem mesmo estudos a respeito da redução da demanda.

**Palavras chave autor:** sistema de emergências, métodos quantitativos em saúde, otimização, simulação, modelos de decisão, revisão da literatura.

**Palavras chave descriptor:** emergências – métodos, serviços médicos de emergência, medicina de emergência – métodos, pesquisa quantitativa – métodos.

## 1. Introducción

En los últimos años el sector hospitalario en el mundo ha sufrido grandes transformaciones debido a dos factores de crisis específicos: el crecimiento del gasto sanitario y una crisis económica mundial. Adicionalmente, se prevé que para el 2025 el porcentaje de la población mayor a 60 años será del 12,7% para América Latina y el Caribe (1). Si se tiene en cuenta que una sociedad se considera envejecida si el porcentaje de la población igual o mayor a los 60 años está entre 8 y 10% (2), el sistema de salud tendrá que atender una demanda de pacientes como nunca antes se había visto.

Todos estos factores han promovido la búsqueda de nuevas formas de gestión para subsanar el déficit estructural (3,4), llevando a que varios países realicen una reforma hospitalaria como una alternativa a la modernización del sistema de salud. La reforma se apoya en la evidencia de la presencia de procesos ineficientes de gestión que incurren en la generación de costos que encarecen el funcionamiento del servicio, tornando estas entidades en entes inviables (3,4). Por este motivo, el principal propósito de las reformas es lograr que estas instituciones sean autónomas (5), con sistemas sostenibles y una atención oportuna y de calidad.

El estudio de la gestión en las organizaciones de salud es cada vez es más comprendido desde un enfoque financiero, el cual incluye la gerencia estratégica y se centra en la gestión de procesos operativos (6). En este sentido, se ha generado la meta de lograr una buena gestión mediante una atención oportuna, confiable y de calidad, utilizando como principal herramienta la “logística hospitalaria”, en la cual la Investigación de Operaciones (IO) constituye una disciplina de apoyo transversal, dado el enfoque cuan-

titativo a la optimización de los procesos administrativos.

Analizando las unidades en las cuales se podría mejorar el desempeño de la gestión hospitalaria, se ha encontrado que el servicio de urgencias constituye una de las áreas esenciales para el cumplimiento de la función misional de una institución de atención médica. Las urgencias requieren una enorme labor logística por parte de toda la organización, ya que impacta de manera inmediata las condiciones de vida e incapacidad de los pacientes. Esta situación implica que este servicio demande los recursos de las demás unidades auxiliares existentes, lo que genera en muchos casos conflictos de intereses que repercuten en la atención del paciente (7).

Los servicios de urgencias hospitalarios son en la actualidad uno de los servicios más concurridos dentro de los establecimientos de salud. Dichos servicios son unidades médico-quirúrgicas hospitalarias, destinadas a la atención rápida y eficiente de pacientes graves, víctimas de accidentes, intoxicaciones u otras situaciones clínicas urgentes (8). En este escenario, los servicios de urgencia presentan cuellos de botella dentro de su funcionamiento y entran en colapso no sólo por la demanda creciente de pacientes, sino también por la interacción de este servicio con otras dependencias del hospital tales como cirugía, ortopedia, hospitalización y las unidades de cuidado intensivo (UCI).

Los estudios muestran que las mayores causas de colapsos en las urgencias hospitalarias son el ingreso y la priorización de pacientes, el flujo de pacientes por las etapas de la atención y los tiempos de estancia hospitalaria (8). A partir de este panorama, se hace pertinente preguntar: ¿cómo se ha estudiado y qué metodologías cuantitativas se han implementado para dar solución a



dichos problemas? ¿Qué resultados exitosos se ha tenido con la aplicación de estas metodologías cuantitativas?

El objetivo del presente trabajo es revisar la literatura científica que estudia los problemas que presentan los servicios de urgencias hospitalarios, para identificar cuál o cuáles son las metodologías más pertinentes para abordar su gestión. En la segunda sección se presenta, de manera general, un breve recuento del inicio de la investigación de operaciones en el sistema de salud, y específicamente, en los servicios de urgencias hospitalarios, haciendo énfasis en el abanico de temas y áreas de estudio que ha abarcado la investigación de operaciones y las diferentes metodologías aplicadas. Dicho contexto se tomó como base y referencia para plantear el desarrollo metodológico del presente trabajo. Posteriormente, se presentan los resultados de la investigación. En la tercera sección se exponen los problemas más comunes encontrados en el servicio de urgencias y la cuarta sección aborda las metodologías cuantitativas empleadas para solucionarlos. Finalmente, en la quinta sección se establecen las conclusiones y recomendaciones del trabajo.

## **2. Introducción a la investigación de operaciones y metodología de trabajo**

### **2.1. La investigación de operaciones en el sistema de salud**

La investigación de operaciones como ciencia utiliza esencialmente dos tipos de aproximaciones cuantitativas de modelamiento para la toma de decisiones: la optimización y la simulación (9). La metodología parte de la identificación de una situación problemática en un sistema que requiera una

solución. Posteriormente se determinan las variables relevantes del problema y las relaciones entre éstas, con el objetivo de construir un modelo que permita mejorar la situación problemática (9). Una vez superada la etapa del modelamiento, se hace necesaria la identificación de un proceso sistemático que consiga determinar la solución óptima que mejore las condiciones del problema. El encontrar una solución al modelo teórico supondrá encontrar la solución del problema real, evitando la costosa (en tiempo y recursos) experimentación directa con la realidad (9).

Este enfoque, además de ser usado en áreas de la industria y las operaciones militares, también ha sido aplicado en el sector salud desde 1952 (10-12). Los temas de estudio van desde áreas clínicas como la elección de la intensidad de radiación para el tratamiento de radio-terapia modular (IMRT), hasta la simulación del sistema de salud pública, la asignación de la cama según las especialidades y las citas para pacientes ambulatorios (12). Brandeau y colaboradores (13) y Serra (14), en sus respectivos trabajos sobre los métodos cuantitativos para la toma de decisiones, sintetizan la amplia aplicación de las técnicas de IO en el sector salud.

Los temas más comunes son: la capacidad en la planificación y gestión en los hospitales, la planificación de los servicios de ambulancias, la gestión de la cadena de suministros en bancos de sangre, la estimación de los riesgos de la salud pública, la estimación de los costos y los efectos de un tratamiento, la planificación y la asignación de recursos en un sistema de salud mental, la programación de servicios de salud a domicilio y la simulación de tiempos de servicio, entre otros.

En el caso específico de los servicios de urgencias, se han encontrado aplicaciones de la IO que abarcan tanto metodologías de pro-

gramación matemática como de simulación de sistemas. A continuación se mencionan algunos ejemplos:

- La simulación del departamento de urgencia de Cooper Health System, la cual permitió la creación de un modelo que representó las operaciones actuales y evaluó las posibles alternativas para reducir la duración de la estancia de los pacientes en el servicio. Por medio de esta simulación también pudieron ponerse a prueba nuevos procesos y evitar costos importantes al no añadir camas al servicio, ya que se descubrió que este cambio no acortaba la duración de la estancia (15).
- Creación de un modelo de simulación de las operaciones del departamento de urgencia en el Hospital Gubernamental en Kuwait, para determinar el número óptimo de médicos, técnicos de laboratorio y enfermeras para maximizar el rendimiento del paciente y para reducir el tiempo de éste en el sistema (16).
- Utilizando la simulación de eventos discretos se modeló el servicio actual de urgencias en el Habib Bourguiba University Hospital en Sfax, Túnez. Para esto se tuvo en cuenta el tiempo de espera de los pacientes en filas y la utilización y programación de los recursos (17).

El anterior panorama permitió establecer los parámetros para desarrollar la metodología de investigación del presente trabajo.

## 2.2. Materiales y métodos de trabajo

La metodología de búsqueda de esta revisión requiere la identificación de trabajos que cumplan tres condiciones fundamentales, a saber: 1) Que planteen problemas afines con las metodologías de investigación de operaciones en el servicio de urgencias hos-

pitalarias. 2) Que los problemas puedan ser resueltos a partir de metodologías de optimización y simulación. 3) Que en su solución, la metodología de investigación de operaciones identifique las variables y factores relevantes del problema para la construcción del modelo. Este último elemento permitiría trazar elementos comunes en los problemas encontrados.

Se identificó un conjunto de términos de búsqueda para abarcar todas las facetas de los criterios de inclusión: *operations research-emergency departments, optimization models-emergency departments, simulation of emergency departments*, y *system dynamics-emergency departments*, y sus semejantes en español.

Se identificaron los trabajos que incluyeran los tres criterios de inclusión estipulados anteriormente.

Se revisaron 576 artículos, de los que se seleccionaron 77, los cuales cumplen con todos los criterios de inclusión y constituyen la más reciente fuente de información bibliográfica que se encuentra en la literatura hasta el momento y que permite explorar de manera expedita el uso de las metodologías cuantitativas de simulación y optimización en el servicio de urgencias. Se extrajo la siguiente información: problemas que presentan los servicios de urgencias hospitalarios; metodologías cuantitativas de la investigación de operaciones empleadas para estudiar y dar solución a dichos problemas; aplicación de casos concretos que permitieran evidenciar la utilización de cada una de estas metodologías; variables de estudio y factores tenidos en cuenta según el problema por estudiar; metodología de solución empleada; y ventajas y desventajas de las diferentes metodologías de la investigación de operaciones según el problema por abordar.



La información se clasificó en tablas que permiten encontrar los principales problemas. Éstos se clasifican según el interés de los investigadores y la metodología aplicada. Se especifica el impacto obtenido con la aplicación de dichas metodologías, las ventajas y desventajas de los métodos y las referencias que tienen características comunes según los criterios mencionados anteriormente.

En las siguientes secciones se presentan los resultados de la investigación.

### 3. Problemas presentes en los servicios de urgencias hospitalarias

La revisión de la literatura (8, 18-91) permite identificar una cantidad de problemas mundialmente comunes en el servicio de urgencias. Estos problemas, de manera general, han sido asociados a la ausencia de una intervención oportuna en la gestión de los servicios, e impactan diferentes factores como la oportunidad, la continuidad, la calidad y los costos. La tabla 1 expone dichas consecuencias y el factor o indicador que las impacta.

TABLA 1. PROBLEMAS COMUNES EN EL SERVICIO DE URGENCIAS

Problemas	Indicador impactado
Saturación	Oportunidad - calidad
Ineficiencia del flujo de pacientes urgentes	Oportunidad - continuidad - calidad
Tiempo de espera	Oportunidad - calidad
Largos tiempos de estancia hospitalaria	Costos

Fuente: elaboración propia

Atenuar las consecuencias de los problemas presentados en la tabla 1 ha sido el principal objetivo de académicos y consultores

interesados en el tema. El propósito final es disminuir los costos de las instituciones y mejorar la calidad en la prestación del servicio. Uno de los principales criterios tenidos en cuenta por los investigadores, y que impacta más directamente la calidad y la oportunidad del servicio, es el tiempo de espera de los pacientes. Álvarez R. y colaboradores (18), Komashie y Mousavi (19) y Duguay y Che-touane (20) utilizan la simulación de eventos discretos para modelar un departamento de urgencias y explorar los tiempos de espera de los pacientes, con el objetivo de reducirlos. Así mismo, Blasak y colaboradores (21) y Samaha y colaboradores (15) desarrollan modelos de simulación para evaluar posibles alternativas para reducir el tiempo de estancia de los pacientes en un departamento de urgencias.

Los resultados obtenidos de estas simulaciones fueron: la posibilidad de aumentar las tasas de utilización de emergencia médica, disminuir el número de horas de médico de urgencias por día y reducir los tiempos de espera del paciente. Además, estos modelos sirvieron para obtener mayores conocimientos de las actividades y procedimiento del departamento, como un instrumento para evaluar el impacto de los principales recursos sobre indicadores clave de rendimiento y como un método rentable para probar diferentes escenarios hipotéticos para la mejora del sistema.

De otro lado, motivados por la preocupación sobre los largos tiempos de espera para la admisión de pacientes urgentes, Lane y colaboradores (22), utilizando la técnica de dinámica de sistemas, construyen un modelo que simula el comportamiento de la demanda versus los recursos, los procesos de otros servicios del hospital y el número de camas. La simulación muestra que es posible aumentar la tasa de utilización de la emergencia médica, disminuir el número

de horas médico al día y al mismo tiempo reducir los tiempos de espera para que los pacientes sean atendidos (18). Además, los modelos de simulación ayudan a los coordinadores de los servicios de urgencias a entender el comportamiento del sistema, con respecto a las causas ocultas de los tiempos de espera excesivos, como lo son el número de personal médico y asistencial necesario para atender la demanda y el número de camas disponibles día para el flujo adecuado de pacientes (19).

Así mismo, la ineficiencia del flujo de pacientes urgentes ha sido un motivo de estudio de varios investigadores. Komashie y Mousavi (19) exponen que el flujo de pacientes en el servicio de urgencias está influenciado por cambios en los procesos y la disponibilidad de recursos. Kolb y colaboradores (23), Peck (24), Noyes (25), Cochran y Bharti (26) y Bagust y colaboradores (27) desarrollaron modelos de simulación de eventos discretos con el objetivo de evaluar el flujo de pacientes dentro del servicio de urgencias, estudiando en algunos casos la relación entre el servicio y la disponibilidad de camas en hospitalización, lo cual dificulta el flujo de pacientes y aumenta la saturación. Igualmente, Lattimer y colaboradores (28), con el objetivo de describir las características de un departamento de emergencias y el sistema de atención de urgencias, e investigar las formas en que los flujos de pacientes y la capacidad del sistema pueden mejorarse, emplearon la metodología de dinámica de sistemas vistas para construir un modelo del sistema, donde se ilustran las vías que toman los pacientes desde su entrada hasta su alta.

Los estudios sugieren que gran parte de los embotellamientos y la saturación en los servicios corresponde a una ineficiencia operativa del flujo de pacientes que debe ser intervenido, ya sea por la no disponibilidad de camas en la unidad, o por la falta oportuna

de equipos médicos especializados para su atención. A partir de esto se presenta un cuello de botella en las salas de recuperación, por lo que pacientes recién intervenidos deben permanecer en observación por no tener una cama disponible en otro servicio, ocasionando con esto más retraso en las siguientes intervenciones. De hecho, el largo proceso, que debiera ser fluido y organizado, se ve a cada momento entorpecido y ello genera filas de espera que afectan a todos los pacientes que esperan atención (8). En ese mismo sentido, otros estudios muestran que gran parte de los pacientes que asisten a los departamentos de urgencias necesitan una atención más especializada, por lo que demandan estos servicios mientras son transferidos a otras instancias del hospital (23,24).

Otro de los problemas de estudio es la demanda versus la capacidad del servicio de urgencias y la disponibilidad de camas. Bagust y colaboradores (27) estudian las implicaciones de la demanda fluctuante e impredecible de los servicios de urgencias para la gestión de camas y su capacidad. Utilizando un modelo de simulación de eventos discretos, el cual refleja la relación entre la demanda y la capacidad de camas disponibles, demuestran que la reserva de camas es esencial para la gestión eficaz de los ingresos urgentes. Baesler y colaboradores (29) utilizan un modelo de simulación para estimar la demanda máxima que el servicio de urgencias de un hospital privado de Chile puede atender. El modelo se diseñó con el fin de definir el número mínimo de recursos físicos y humanos necesarios para atender dicha demanda, y así mismo el número óptimo de médicos, técnicos de laboratorio y enfermeras para reducir el tiempo de espera de los pacientes (16).

La programación del equipo médico y de las enfermeras es otra de las preocupaciones de



los coordinadores de los servicios de urgencias. En este sentido, Beaulieu y colaboradores (30,31) y Gendreau y colaboradores (32) hacen uso de métodos de optimización para la programación de los médicos y sus horarios en las salas de urgencias. Abu-khater y colaboradores (33), Berrada y colaboradores (34), Gagné (36) y Jaumard y colaboradores (37) utilizan la optimización para la programación de enfermeras en la sala de urgencias de los hospitales. Teniendo en cuenta lo anterior, se clasificó la literatura evaluada utilizando campos descriptivos. En la tabla 2 se reseña la bibliografía según el tipo de problema encontrado.

Como se puede apreciar, los tres problemas más estudiados en el sistema de urgencias son, en su orden: la capacidad y programación del personal asistencial (37%), la ineficiencia en el flujo de pacientes (19%) y la capacidad del servicio y su demanda (16%). Una vez identificados los principales

problemas encontrados en la literatura para el servicio de urgencias hospitalarias, en la siguiente sección se presentarán las metodologías y técnicas más comúnmente empleadas para su solución.

#### 4. Metodologías cuantitativas para la optimización del servicio de urgencias

El estudio revela que, a grandes rasgos, casi todas las metodologías de la programación matemática y la simulación han sido aplicadas. Dentro la programación matemática están: la programación lineal, la programación lineal entera mixta, la programación cuadrática, la optimización multicriterio, la optimización estocástica, los métodos heurísticos y metaheurísticos de optimización. Dentro la simulación: simulación Montecarlo, la simulación de eventos discretos y la Dinámica de sistemas.

TABLA 2. BIBLIOGRAFÍA SEGÚN EL PORCENTAJE DE LITERATURA ENCONTRADA POR TIPO DE PROBLEMA ENCONTRADO

Problemas en el sistema	Referencias	Porcentaje de estudio según problemas específicos
Saturación del servicio	(23) (38) (39) (40)	6%
Ineficiencia del flujo de pacientes	(8) (19) (23) (24) (25) (26) (27) (28) (41) (42) (43) (44) (45)	19%
Tiempos de espera largos para los pacientes	(18) (19) (20) (22) (43) (46) (47) (17) (48)	13,2%
Largos tiempos de estancia hospitalaria	(21)(15)(49)	4,4%
Optimización del tiempo de atención por el médico de urgencias	(18)(30) (50)	4,4%
Capacidad del servicio de urgencias versus demanda	(22) (27) (29) (38) (45) (51)(52) (53) (54) (55) (56)	16%
Capacidad y programación del personal asistencial en urgencias	(16) (30)(31)(32) (33)(34)(35) (36)(37) (41) (46) (47)(17)(57) (58) (59) (60) (61) (62) (63)(64) (65) (66) (67) (68)	37%

Fuente: elaboración propia

En la tabla 3 se reseña la literatura que ha de urgencias clasificándolos según la metodología de estudio.  
considerado los problemas de los servicios

**TABLA 3. METODOLOGÍAS CUANTITATIVAS EMPLEADAS EN LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS PRESENTES EN LOS SERVICIOS DE URGENCIAS HOSPITALARIOS**

Metodología	Resultados encontrados con los estudios	Porcentaje de aplicación de la metodología	Referencias
<b>Programación Matemática</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asignación óptima del personal.</li> <li>• Reducción en el tiempo de espera de los pacientes.</li> <li>• Reducción en los costos de gestión</li> <li>• Mejorar el <i>ranking</i> de hospital.</li> <li>• Elevar el nivel de satisfacción del paciente.</li> </ul>	31%	(16)(30)(31)(32) (33) (34)(35)(36) (37)(17) (50)(52) (57)(59)(60) (62) (63)(67)(68)(69) (70)(71)(72)
Heurística - Metaheurística	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Herramienta para la programación de recursos y rotación de turnos del personal.</li> <li>• Disminución de los tiempos de espera de los pacientes.</li> </ul>	8%	(58)(61)(62)(65) (68) (73)
<b>Simulación</b>			
Simulación Montecarlo		3%	(55)(56)
Simulación de Eventos Discretos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluación de nuevos procesos.</li> <li>• Disminuir los tiempos de espera para que los pacientes sean atendidos.</li> <li>• Optimizar los tiempos de atención del médico en urgencias.</li> <li>• Mejorar el rendimiento de los procesos asistenciales.</li> </ul>	35%	(8)(18)(19)(20) (21) (15)(23)(24) (25)(26) (27)(29) (16)(41)(42) (46) (47) (17)(48) (49) (53)(54)(66)(74) (75) (76)
Dinámica de Sistemas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminuir los tiempos de espera de los pacientes.</li> <li>• Realizar mejoras en los flujos de pacientes y la capacidad del sistema.</li> <li>• Evaluar los efectos de las propuestas y políticas implementadas para el mejoramiento del servicio de urgencias.</li> <li>• Analizar la utilización de camas y el retraso en situaciones de emergencia.</li> </ul>	18%	(38)(22)(28)(39) (40) (43)(44)(45) (77)(78) (79)(80) (81)
Simulación Basada en Agentes		5%	(82) (83) (84) (85)

Fuente: elaboración propia



#### 4.1. Aplicaciones de la programación matemática

Los trabajos que involucran el uso de la programación matemática son, de manera general, trabajos que pretenden optimizar la planeación del servicio; por ejemplo, Beaulieu y colaboradores (50) optimizan la programación de médicos en el servicio teniendo en cuenta los límites en el número de turnos, los turnos nocturnos y fines de semana, las vacaciones, etc. Ahmed y Alkhamis (16) construyen un modelo para determinar el número óptimo de médicos, técnicos de laboratorio y enfermeros requeridos para maximizar el rendimiento en la prestación del servicio y reducir el tiempo de espera de los pacientes en un hospital en Kuwait sujeto a la restricción de presupuesto.

Carter y Lapierre (52) abordan el problema de la programación de médicos en los departamentos de urgencias de los hospitales de Montreal-Canadá, con el objetivo de encontrar técnicas que mejoren la optimización de los horarios. Adan y Vissers (69) realizan un modelo de programación lineal entera mixta para la optimización de la planificación de los recursos ante la llegada de los pacientes. Jerbi y Kamoun (17) construyen un modelo de simulación de eventos discretos para detectar las fallas que se producen en el funcionamiento del sistema del servicio de urgencias del hospital universitario Habib Bourguiba en Sfax, Túnez. El modelo de simulación es acompañado de un modelo de optimización de programación por metas para desarrollar el horario más apropiado.

#### 4.2. Aplicaciones de los métodos heurísticos

Dentro de los métodos heurísticos, de manera concreta, se evaluaron estudios

que aplican algoritmos genéticos para dar solución a los problemas que presentan los servicios de urgencias. Jinn-Yi Yeh y Wen-Shan Lin (64) evalúan cómo la calidad de un servicio de urgencias hospitalario se puede mejorar mediante la simulación y un algoritmo genético para ajustar adecuadamente los horarios de enfermería, sin tener que contratar personal adicional. El algoritmo genético se aplica entonces para encontrar la programación de enfermería óptima, basados en minimizar el tiempo de espera para los pacientes en fila. Los datos para esta investigación fueron recogidos en el servicio de urgencias de Show-Chwan Memorial Hospital en el centro de Taiwan. Así mismo, Puente J. y colaboradores (65) hacen uso de un algoritmo genético para crear los calendarios y la rotación de turnos del personal asistencial del servicio de urgencias de un hospital de España.

Dentro de los métodos clásicos de programación matemática y los métodos heurísticos, el caso más sencillo tendrá un único criterio o factor que tener en cuenta (optimización uniobjetivo). No obstante, esta suposición no siempre es realista. Con frecuencia las organizaciones están interesadas en alcanzar varias metas u objetivos, y un modelo multiobjetivo proporcionaría la posibilidad de representar esta situación y encontrar una solución para ella (86,87). La aplicación de la programación matemática se ha encontrado con limitaciones importantes para resolver problemas actuales cada vez más complejos. Dicha complejidad y su carácter combinatorio han propiciado un mayor uso de técnicas heurísticas con el fin de optimizar la gestión. Sin embargo, los modelos anteriores no resultan útiles en el caso de que el problema que se desee resolver requiera evaluar el comportamiento dinámico del sistema; en este caso se hace uso de las técnicas de simulación.

Teniendo en cuenta lo anterior y la complejidad de los problemas que presentan los servicios de urgencias, la simulación es la metodología más utilizada para el estudio y solución de dichos problemas. La tabla 3 permite evidenciar esto. Entre los modelos de simulación existentes se encuentran: la simulación de eventos discretos, la simulación basada en agentes y la dinámica de sistemas.

### 4.3. Aplicaciones implementando la simulación de sistemas

En la simulación de eventos discretos el estado de los cambios de los modelos sólo se da cuando los eventos ocurren. La ejecución del evento puede desencadenar otros eventos futuros, donde cada uno está marcado por su tiempo, por lo que el orden de generación no puede coincidir con el orden de ejecución. La simulación de eventos discretos se utiliza cuando se requiere un nivel medio o bajo de abstracción del sistema, es decir, cuando se quiere estudiar el sistema desde un nivel operativo o táctico (9).

La dinámica de sistemas es una metodología para el estudio y manejo de sistemas complejos, la cual proporciona una dirección práctica a la solución de problemas. La diferenciación, con otros métodos, es el estudio de la retroalimentación de los sistemas. Un modelo de dinámica de sistemas se puede decir que es una estructura de políticas en interacción, entendiéndose por política la representación de las causas de una acción, ya que la propia naturaleza de la estructura dinámica realimentada de los sistemas tiende a conducir, erróneamente, a acciones que son ineficaces e incluso contraproducentes para el funcionamiento eficiente de aquéllos (88). La dinámica de sistemas se utiliza cuando se requiere alto grado de abstracción, es decir, cuando se quiere evaluar el sistema desde un nivel estratégico (9).

Un modelo basado en agentes es un tipo de modelo computacional que permite la simulación de acciones e interacciones de individuos autónomos dentro de un entorno, y permite determinar qué efectos se producen en el conjunto del sistema (89). La simulación basada en agentes es uno de los métodos de simulación más nuevos. Emerge de la investigación en el Instituto Santa Fe en 1994 por el profesor Wolfrang (9), y es una técnica utilizada en cualquier nivel de abstracción (9).

Desde esta perspectiva, se puede inferir que la literatura de aplicaciones de simulación en el servicio de urgencias ha sido una de las de mayor expansión y desarrollo.

#### 4.3.1. Aplicaciones bajo la simulación de eventos discretos

Kolb y colaboradores (23) implementan un modelo de simulación de eventos discretos para evaluar la relación entre el departamento de urgencias y el departamento de hospitalización, intentando replicar los fenómenos de embotellamiento, particularmente aquel causado por la reserva de cama de hospitalización. Peck (24), buscando métodos de direccionamiento eficientes que puedan ser aplicados al departamento de urgencias, plantea un diseño que proyecta los requisitos necesarios para que el sistema funcione. A fin de demostrar que la aplicación del diseño puede ser utilizada para descubrir los problemas en el departamento de urgencias, el investigador se enfocó en el problema específico de flujos de pacientes, y haciendo uso de la simulación de eventos discretos sugiere cambios en los procedimientos con los pacientes y el correcto enrutamiento de éstos.

Noyes (25) desarrolla un modelo de simulación que representa las actividades en el departamento de urgencias del centro mé-



dico de Deaconess Israel Beth, un hospital de enseñanza de Harvard, con el objetivo de evaluar el flujo de pacientes. El modelo se basa en una representación multicazos de pacientes, la cual contiene un módulo de tiempo variable del proceso de llegada, basada en una regresión multivariable para predecir las futuras llegadas de pacientes, un módulo de servicio que considera el hecho de que los tiempos de servicio deben disminuir, y la capacidad del sistema cuando se congestiona. Se utiliza el modelo para proponer y analizar nuevas políticas tales como el aumento de número de camas, la reducción de los tiempos muertos entre los pacientes, etc. Cochran y Bharti (26) presentan modelos estocásticos del flujo de pacientes desde el departamento de urgencias a varios departamentos del hospital, y utilizan simulación de eventos discretos para maximizar el flujo de los pacientes a través del sistema.

Bagust y colaboradores (27), teniendo en cuenta el riesgo de no tener camas disponibles para cualquier paciente que requiere ingreso inmediato, y con el objetivo de analizar el flujo de ingresos de pacientes de emergencia a un hospital y los requisitos para la disposición de camas, a fin de determinar las repercusiones de las fluctuaciones impredecibles de las demandas de admisión de emergencia para la gestión de la capacidad de camas del hospital, y para cuantificar el riesgo diario de capacidad insuficiente de éstas para pacientes que requieren el ingreso de inmediato, realizaron un modelo de la dinámica del sistema hospitalario, con simulación estocástica de eventos discretos, lo que refleja la relación entre la demanda y la capacidad de camas disponibles.

Los resultados mostraron que los riesgos son perceptibles cuando la tasa media de ocupación de camas es superior a un 85%, es decir, se puede esperar una escasez periódica de cama, y se puede dar una crisis periódica de

ocupación de camas si dicha ocupación sube hasta 90% o más. Lo que permitió concluir que hay un límite de tasas de ocupación que se puede tener de forma segura, sin correr riesgos considerables para los pacientes, y para la prestación eficaz de atención de emergencia. La capacidad no utilizada de cama es esencial para la gestión eficaz de los servicios de urgencias.

Spillan y Ziemnowicz (43), tomando en consideración que los hospitales son sistemas complejos que se pueden representar como redes de interacción entre unidades llamadas servicios, construyen un modelo del flujo de pacientes en el servicio de urgencias, con el objetivo de analizar la utilización de camas y el retraso en situaciones de emergencia, mediante la herramienta de dinámica de sistemas. El modelo de simulación presentado utiliza una interfaz de juego para comprender las políticas del hospital y sus efectos, el cual permite al personal que toma las decisiones del servicio examinar los efectos de sus decisiones sobre el servicio de urgencias y sobre otros servicios del hospital.

Los resultados evidencian que el límite de la organización crea una falta de coordinación entre los servicios. Las personas encargadas de tomar las decisiones médicas con respecto al servicio, en forma indirecta, son las que crean el problema. Se observó cómo el personal de hospitalización y UCI planifica el funcionamiento de sus servicios sin tener en cuenta el comportamiento de urgencias, lo que produce una congestión de pacientes en urgencias por falta de camas.

#### 4.3.2. Aplicaciones bajo la dinámica de sistemas

Lattimer y colaboradores (28), a efectos de describir las características de un departamento de emergencia y el sistema de atención de urgencias, e investigar las formas

en que los flujos de pacientes y la capacidad del sistema pueden mejorarse, emplearon la metodología de dinámica de sistemas, donde se ilustran las vías que toman los pacientes desde su entrada hasta su alta. El modelo se complementó con datos demográficos y de actividad para simular patrones de la demanda, la actividad, las contingencias y los cuellos de botella del sistema. Se realizó la simulación de una serie de escenarios para determinar su probable eficacia en el cumplimiento de los objetivos y las metas. El modelo mostró las posibles consecuencias de un crecimiento continuo de la demanda de atención de emergencia, pero también un considerable margen de intervención destinado a mejorar los escenarios del peor caso, en particular aumentando las opciones de gestión de la atención en la comunidad.

Royston y colaboradores (77) describen varias aplicaciones de la dinámica de sistemas a los problemas del sistema nacional de salud del Reino Unido (NHS). Una de las aplicaciones que se describen en detalle en el documento utiliza la dinámica de sistemas para desarrollar una mejor comprensión de las interacciones entre el sistema de atención de emergencia y el sistema de asistencia social. El Brailsford y colaboradores (78) describen un estudio de la dinámica de sistemas de las emergencias regionales y el sistema de atención a urgencias. Se construye un modelo de alto nivel de flujos de pacientes en el sistema de atención de emergencias de la región de salud de Nottingham.

El modelo fue adoptado rápidamente por los responsables, que deseaban probar diferentes escenarios de sus políticas. El modelo fue útil para mostrar que el sistema funcionaba “peligrosamente cerca de su capacidad”, que las intervenciones dirigidas a la prevención en pacientes mayores de 60 años redujeron las admisiones a urgencias entre un 3 y 6%, rebajando la congestión del

servicio de urgencias, ya que estos pacientes representaban aproximadamente la mitad de todas las admisiones de emergencia. Cooke y colaboradores (39) construyen un sistema de dinámica de sistemas para evaluar las variables que afectan el flujo de pacientes en la región de salud de Calgary, para obtener una mejor comprensión de los efectos que influyen en la saturación de los servicios de urgencias de un hospital.

Dentro de los modelos de simulación, la simulación de eventos discretos se ha convertido en una herramienta popular y eficaz de toma de decisiones para la asignación óptima de los escasos recursos sanitarios, a fin de mejorar el flujo de pacientes, minimizar los costos de atención de salud y aumentar la satisfacción del paciente (90). Sin embargo, si se tiene en cuenta que los problemas presentes en los servicios de urgencias dependen de la estructura del sistema y de su dinámica e interacción, se plantea la dinámica de sistemas como la metodología de solución más acorde para abordar este tipo de problemas. Esto lo respaldan Lane y colaboradores (22), quienes exponen que con la simulación de eventos discretos se puede construir un modelo que permite mejorar el trabajo individual del servicio de urgencias, caracterizando los pacientes y el flujo de ellos; sin embargo, los autores sustentan que a diferencia de los modelos discretos, la dinámica de sistemas es capaz de mirar más allá, tener en cuenta los efectos de retroalimentación de la ocupación de otros servicios.

Además, todo lo anterior se puede sustentar en la hipótesis dinámica que se plantea, teniendo en cuenta que un hospital en su conjunto funciona como un sistema, el cual está compuesto por varios subsistemas: UCI, Hospitalización, Departamento de Cirugía, Servicio de Urgencias, etc., que interactúan entre sí en forma dinámica, donde si una de las partes deja de funcionar o no tiene una



sinergia con el conjunto, el sistema comienza a presentar conflictos. Es precisamente en ese sentido que los estudios evidencian que la falta de disponibilidad de camas para pacientes que desde urgencias requieren ser hospitalizados o internados en una UCI, es uno de los grandes problemas que generan cuellos de botella en el funcionamiento eficaz de los departamentos de urgencias de un hospital (51,91), creando la necesidad de determinar y predecir el nivel de ocupación de camas, habida cuenta de la incertidumbre de la llegada de pacientes urgentes (23,24,91-95).

Otros estudios exponen que la planeación de las actividades quirúrgicas debe considerar la naturaleza incierta de la demanda de la cirugía de emergencia, la cual pueden generar retardos en las cirugías o aplazamientos de los procedimientos quirúrgicos que pueden degradar la percepción de la calidad en la prestación del servicio, al mismo tiempo que se generan costos adicionales para el hospital (96-98). Esto se ve reflejado en la cancelación de cirugías, retardos en éstas, tiempos de espera largos para los pacientes, tiempos muertos del quirófano y trabajo de horas extras del personal quirúrgico. Esta opinión es respaldada con el trabajo de Cardoen y colaboradores (97) y Jiménez y colaboradores (98).

#### *4.3.3. Aplicaciones bajo la simulación basada en agentes*

Si bien no se encuentra abundante literatura de las aplicaciones de esta metodología de simulación en el sector salud, los trabajos de Stainsby y colaboradores (84) y Laskowski y colaboradores (85) aplican técnicas de modelización basadas en agentes para comprender y gestionar mejor los servicios de urgencias, evaluando el flujo de trabajo, políticas tales como la dotación de personal y el efecto de parámetros como los tiempos de espera. Con

esto se logró una reducción y representación bastante exacta de los tiempos de espera para los pacientes y se determinó el impacto de los diferentes programas de médicos en el servicio.

En la tabla 4 se presenta un breve resumen de lo presentado en la literatura, evaluando cada una de las metodologías de simulación empleada para la solución a los problemas presentes en los servicios de urgencias.

## **5. Conclusiones y recomendaciones para estudios futuros**

En este trabajo se revisaron los artículos que estudian los problemas que presentan los servicios de urgencias hospitalarios y que son abordados aplicando las metodologías de la investigación de operaciones. Se analizaron los diferentes problemas y las contribuciones de los diferentes métodos en varios niveles y se ilustraron los principales problemas que son de interés en la comunidad científica. Se encontraron las metodologías cuantitativas empleadas en la solución de los problemas identificados y sus ventajas y desventajas. La revisión reveló que la gestión hospitalaria está cada vez más presionada por los estándares de calidad y eficiencia que el mundo impone, lo que ha llevado a los investigadores a incursionar en el estudio y evaluación de la aplicación de diferentes metodologías como la optimización, la programación matemática y la simulación de sistemas para el desarrollo de procesos de calidad en el sistema de salud. Esto ha obligado a establecer una nueva búsqueda de la gestión hospitalaria, creando instituciones autosostenibles, llevando a que la investigación de operaciones se esté aplicando en estudios tan diversos como: la evaluación de las implicaciones de la implantación de políticas de salud, la programación de actividades médicas y asistenciales, la

TABLA 4. METODOLOGÍAS DE SIMULACIÓN APLICADAS A LA SOLUCIÓN DE LOS PROBLEMAS PRESENTES EN LOS SERVICIOS DE URGENCIAS HOSPITALARIAS

Simulación de eventos discretos						
Variables de estudio	Factores que tener en cuenta	Objetivos de trabajo	Logros alcanzados	Ventajas del método solución	Desventajas del método de solución	Referencias
Tiempo de espera de los pacientes para ser atendidos	* Recursos, capacidad de los hospitales y demanda de pacientes	* Disminuir los tiempos de espera para que los pacientes sean atendidos	La simulación muestra que es posible aumentar la tasa de utilización de la emergencia médica, disminuir el número de horas médico al día y al mismo tiempo disminuir los tiempos de espera para que los pacientes sean atendidos.	En general, la simulación de eventos discretos permite modelar situaciones de alto nivel de complejidad con funciones relativamente sencillas. De esta forma, es posible construir modelos que representen la realidad en el nivel de detalle deseado.	La lógica de modelado de la simulación de eventos discretos gira alrededor de los eventos que ocurren instante a instante, registrando el estado de todos los eventos, entidades, atributos y variables del modelo en todo momento; por lo que dicha metodología de simulación es más útil cuando se quiere evaluar problemas más específicos y en detalle; siendo así menos pertinente si se quiere evaluar el funcionamiento de un sistema como tal.	(8) (15) (16) (17) (18) (19) (20) (21) (23) (24) (25) (26) (27) (29) (41) (42) (46) (47) (49) (48) (53) (54) (66) (74) (75) (76)
Tiempo de atención por el médico de urgencias	* Relación del servicio de urgencias con otros servicios del hospital	* Optimizar los tiempos de atención del médico en urgencias	Los modelos de simulación ayudan a los coordinadores de los servicios de urgencias a entender el comportamiento del sistema con respecto a las causas ocultas de los tiempos de espera excesivos.			
Flujo de pacientes urgentes		* Mejorar el rendimiento de los procesos asistenciales				
Capacidad del servicio versus la demanda						
Saturación del servicio de urgencias						
Tiempo de estancia hospitalaria			Los modelos de simulación permiten calcular el nivel máximo de demanda que un servicio de urgencias puede atender según sus capacidades			

(Continúa)



TABLA 4. METODOLOGÍAS DE SIMULACIÓN APLICADAS A LA SOLUCIÓN DE LOS PROBLEMAS PRESENTES EN LOS SERVICIOS DE URGENCIAS HOSPITALARIAS (Continuación)

Variables de estudio	Dinámica de sistemas					Referencias
	Factores a tener en cuenta	Objetivos de trabajo	Logros alcanzados	Ventajas del método	Desventajas del método	
Tiempo de espera de los pacientes para ser atendidos	*Demanda versus recursos	*Disminuir los tiempos de espera de los pacientes.	Los modelos de simulación ayudan a los administradores de los servicios a realizar una gestión eficaz y certera de los recursos. Esto se puede hacer cuando se conoce el comportamiento del sistema.	La construcción de un modelo de dinámica de sistemas se convierte en un instrumento de aprendizaje, que se puede utilizar para evaluar las consecuencias tanto a corto como a largo plazo del establecimiento de políticas de gestión alternativas. La metodología proporciona herramientas para analizar, no sólo el comportamiento temporal de las variables incluidas en el modelo, sino también las causas de dicho comportamiento. La construcción del modelo es en sí misma un proceso de aprendizaje acerca del problema, ya que obliga a analizar las relaciones entre los elementos del sistema, explicitando los modelos mentales de sus agentes.	La confiabilidad de los resultados de simulación del modelo depende de las hipótesis formuladas, las cuales deben tener en cuenta los ciclos de retroalimentación del sistema.	(22) (28) (38) (39) (40) (43) (44) (45) (77) (78) (79) (80) (81)
Flujo de pacientes urgentes y la interacción con otros servicios del hospital	*Los procesos de otros servicios del hospital que interfieren en el funcionamiento del servicio de urgencias y el número de camas	*Realizar mejoras en los flujos de pacientes y la capacidad del sistema.				
Saturación del servicio de urgencias		*Evaluar los efectos de las propuestas y políticas implementadas para el mejoramiento del servicio de urgencias.	Los modelos de simulación permiten calcular el nivel máximo de demanda que un servicio de urgencias puede atender según sus capacidades			
Capacidad del servicio versus la demanda	*La saturación de los servicios de urgencia por la falta de acceso a la atención primaria					
Flujos de pacientes y la capacidad del sistema						
Relación e impacto que tiene la economía de un país con la demanda de los servicios de urgencias		*Analizar la utilización de camas y el retraso en situaciones de emergencia.	Los modelos permiten realizar la simulación de una serie de escenarios para determinar su probable eficacia en el cumplimiento de los objetivos y las metas.			

(Continúa)

TABLA 4. METODOLOGÍAS DE SIMULACIÓN APLICADAS A LA SOLUCIÓN DE LOS PROBLEMAS PRESENTES EN LOS SERVICIOS DE URGENCIAS HOSPITALARIAS (Continuación)

Simulación basada en agentes						
Factor que tener en cuenta	Variable de decisión	Objetivo del trabajo	Logros alcanzados	Ventajas del métodos	Desventajas del métodos	Referencias
Tiempos de espera del servicio de urgencias	Personal médico en el servicio de urgencias	*Evaluar las configuraciones de personal médico en urgencias  *Comprender y gestionar mejor los servicios de urgencias	*La simulación proporciona una representación bastante exacta de los tiempos de espera para los pacientes.  *La simulación basada en agentes es un medio confiable para determinar las configuraciones del personal médico. La herramienta de modelado es especialmente útil para evaluar el impacto de los diferentes programas de médicos en el servicio de urgencias y el tiempo que los pacientes esperan para acceder a su evaluación inicial.	Es aplicable cuando se requiere evaluar las acciones y las interacciones de individuos autónomos dentro de un sistema, con el objeto de determinar los efectos sobre aquél, en totalidad.	Se debe declarar escenarios para describir las circunstancias concretas, los procesos y el comportamiento de los eventos, ya que la simulación basada en agentes se centra en los componentes básicos del sistema, por lo que el componente de abstracción se hace sobre cada componente básico individualmente; no sobre el sistema en su conjunto.	(82) (83) (84) (85)
Dotación de personal médico en el servicio de urgencias						
Decisiones y comportamiento humano en el servicio de urgencias						

Fuente: elaboración propia

evaluación de los procesos de atención a pacientes, etc.

En este sentido, es necesario resaltar que gran parte de los problemas presentes en el sector hospitalario tanto de planeación a nivel estratégico como operacional, son problemas análogos a varios problemas que surgen en la industria y que son analizados bajo un enfoque de optimización de recursos, gestión de la demanda, pronósticos, planeación agregada y programación de operaciones. Es así como se encuentra que la gestión de los hospitales está adoptando esquemas de la ingeniería industrial dentro de sus modelos de planeación, ajustándolos al contexto de los servicios hospitalarios.

Adicionalmente, y teniendo en cuenta que los servicios de urgencias hospitalarios constituyen el vértice de la pirámide de un sistema no preventivo, los investigadores muestran que existe una preocupación generalizada por los problemas: 37% los investigadores ponen énfasis en estudiar y aplicar metodologías de la investigación de operaciones para evaluar la capacidad y programación del personal asistencial en urgencias; 19% al estudio de la ineficiencia del flujo de pacientes dentro del servicio de urgencias; 16% a evaluar la capacidad del servicio de urgencias versus la demanda, 13,2% indaga por los largos tiempos de espera; 6% a la saturación que presentan los servicios de urgencias; 4,4% los largos tiempos de estancia hospitalaria, y otro 4,4% la optimización del tiempo de atención por el médico de urgencias.

Dados estos porcentajes y centrándose en los primeros problemas a los que dan prioridad los investigadores, se puede establecer una relación entre dichos problemas; es decir, un ineficiente flujo de pacientes dentro del servicio de urgencias, debido a la falta de capacidad de atención, puede llevar a largos tiempos de espera para la atención.

En cuanto a las metodologías empleadas, la revisión reveló que las metodologías más aplicadas son: la simulación de eventos discretos (35%), la programación matemática, que abarca los problemas de optimización (31%), y en un tercer lugar, la dinámica de sistemas (18%). Los métodos de optimización heurísticos y meta-heurísticos ocupan un cuarto lugar (8%), seguidos de la simulación basada en agentes (5%) y la simulación Montecarlo (3%).

La simulación de eventos discretos se ha aplicado para estudiar problemas como: largos tiempos de espera para que los pacientes sean atendidos; optimización de los tiempos de atención del médico en urgencias; mejorar el rendimiento de los procesos asistenciales; evaluar la capacidad de los servicios de urgencias hospitalarios en comparación con la demanda; disminuir la saturación de los servicios; y evaluar la relación que hay entre los servicios de urgencias y las unidades de hospitalización, teniendo en cuenta como factores la capacidad de recursos físicos y humanos y la demanda de pacientes.

Los estudios evidencian que la aplicación de esta metodología logró aumentar la tasa de utilización de los servicios de urgencias, disminuir el número de horas médico al día, y al mismo tiempo, reducir los tiempos de espera para que los pacientes sean atendidos. La programación matemática y los métodos de optimización se han aplicado para abordar problemas como la programación del personal médico y asistencial en urgencias y la capacidad del servicio en comparación con la demanda. Los estudios evidencian que la aplicación de los métodos matemáticos y de optimización logran hacer una asignación óptima del personal, reducir el tiempo de espera de los pacientes para ser atendidos, disminuir los costos de gestión, aumentar el *ranking* de los hospitales y elevar el nivel de satisfacción de los pacientes.

La dinámica de sistemas se ha aplicado para realizar mejoras en el flujo de los pacientes urgentes, analizar la interacción del servicio con otras unidades del hospital como las unidades de cuidados intensivos (UCI) y de cirugía, evaluar las causas de la saturación de los servicios de urgencias, evaluar el efecto de las propuestas implementadas para buscar mejorar la prestación de los servicios de urgencias, y evaluar la relación y el impacto que tiene la economía de un país en la demanda de los servicios de urgencias. Los estudios evidencian que la aplicación de la dinámica de sistemas ha ayudado a los administradores de los servicios a realizar una gestión eficaz de los recursos y calcular el nivel máximo de la demanda que un servicio de urgencias puede atender según sus capacidades. Adicionalmente, se ha logrado disminuir los tiempos de espera para que los pacientes sean atendidos, realizar mejoras en los flujos de pacientes y analizar el efecto de la capacidad de camas. Los métodos heurísticos o metaheurísticos se han utilizado y han demostrado ser una gran herramienta para la programación de recursos y la rotación de turnos del personal médico y asistencial. La simulación basada en agentes se ha utilizado para evaluar la configuración del personal médico y asistencial, y los efectos de las decisiones y el comportamiento del personal en el desempeño del servicio. La simulación Montecarlo, para evaluar el impacto de la capacidad de camas en el desempeño de los servicios de urgencias hospitalarios.

Dados estos hechos, los métodos cuantitativos de administración han probado ser herramientas útiles para la gestión y el entendimiento de los procesos de atención. La revisión bibliográfica permitió identificar que las metodologías de optimización han ayudado principalmente en la asignación y planeación del recurso, mientras que las metodologías de simulación han contribuido a la comprensión de la dinámica

interdependiente de los procesos, es decir, a la planeación estratégica del sistema. En ambos casos, estas herramientas han sido parte del diseño de una atención eficiente y de calidad, donde los costos de la atención han podido ser minimizados para el paciente y la institución.

De manera general, a partir de la literatura revisada se prevé que estas metodologías cuantitativas de administración pasarán de ser una novedad a ser un insumo obligado en el diseño y la gerencia de los servicios hospitalarios, y en especial de los servicios de urgencias.

Sin embargo, es importante resaltar que la complejidad de los problemas por estudiar limita el uso de algunas metodologías, por lo que se hace imprescindible comprender las limitaciones de cada una de las metodologías para saber cuál aplicar dependiendo del problema por abordar. De igual manera, y desde el análisis del presente trabajo, no se encontró un estudio que evalué la dinámica e interacción del servicio de urgencias con los principales servicios como un todo. Se considera que es necesario realizar esta clase de estudios, ya que como se expuso anteriormente, el proceso de atención del paciente urgente es un proceso integrado, donde se estabiliza, se valora al paciente y se direcciona, y en este proceso es donde interactúa el servicio de urgencias con los otros departamentos del hospital.

Aquí la eficiencia en el flujo de pacientes urgentes depende de dichos procesos externos, y si este flujo no es eficiente, se alargan las estancias hospitalarias y ello induce la saturación del servicio. Así mismo, y como se ha presentado a lo largo del trabajo, el servicio de urgencias necesita de otros servicios auxiliares del hospital como lo son ayudas diagnósticas y laboratorio clínico, lo cual afecta directamente el proceso de atención



de los pacientes. Además, se hace necesario evaluar el problema como un sistema, donde hay que tener en cuenta las entradas (demanda), la capacidad y las salidas (otros pisos hospitalarios o red asistencial) del sistema. En ese sentido, no se evidencian estudios que evalúen el impacto de las políticas de salud de las políticas de salud en la demanda los servicios de urgencias hospitalarios, donde se pueda hacer un análisis de diferentes escenarios y plantear incluso trabajos enfocados a evaluar la demanda de los servicios de urgencias. De hecho, los trabajos evaluados tienen un enfoque sesgado hacia una atención reactiva y presentan mejoras que podrían ser temporales ante un aumento de la demanda.

Como estudios futuros se plantea la necesidad de un estudio que evalúe el problema con un enfoque sistémico, donde se empiece por entender las entradas del sistema. En este sentido, se deben de tener en cuenta dentro de un estudio sistémico variables como la demanda creciente y el ingreso de pacientes no urgentes, los tiempos de atención, el diagnóstico y los tratamientos propios del servicio, la capacidad del personal asistencial, la capacidad en camas y recursos del propio servicio de urgencias, los tiempos de los servicios auxiliares y soportes al sistema como ayudas diagnósticas y laboratorios clínicos, los tiempos de observación del paciente y la disponibilidad de camas en el hospital, ya que aunque todas estas variables se han tenido en cuenta y se han evaluado, ello se ha hecho de manera independiente, a pesar de la evidencia de su interrelación y mutua asistencia.

## Referencias bibliográficas

1. Sennot-Miller L. Research on aging in Latin America: present status and future directions. *Journal of Cross-Cultural Gerontology*. 1994; 9 (1), 87-97.
2. Gabrilo, LA, Heuveline P. Aging of population. *Encyclopedia of population*. New York: Macmillan Reference; 2003.
3. Chan M. Impact of financial crisis on health: a truly global solution is needed. *World Health Organization* [Internet] 04 01, 2009. Consultado en: [http://www.who.int/mediacentre/news/statements/2009/financial\\_crisis\\_20090401/en/index.html](http://www.who.int/mediacentre/news/statements/2009/financial_crisis_20090401/en/index.html).
4. Murillo García B. Características del sector hospitalario. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) [Internet]. Consultado en: [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Estudios/Proyectos/Finalizados/En\\_Colaboracion/Innoflex/P\\_BMurillo.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Estudios/Proyectos/Finalizados/En_Colaboracion/Innoflex/P_BMurillo.pdf).
5. Sáenz L. Modernización de la gestión hospitalaria colombiana: lecciones aprendidas de la transformación de los hospitales en Empresas Sociales del Estado; 2001.
6. López López ID, Urrea Arbeláez J, Navarro Castaño D. Aplicación de la Teoría de Restricciones (TOC) a la gestión de facturación de las Empresas Sociales del Estado, ESE. *Innovar*. 2006; 16, 91-100.
7. García Alvarado R, et ál. Urgencias hospitalarias: análisis del diseño y gestión de servicios de emergencia hospitalaria en Chile. *Theoria*. 2003; 12, 9-20. Consultado en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=29901202>. ISSN 0717-196X.
8. Pérez Adad S, Poblete Troncoso C, Pugh Olavarría K. Optimización del flujo de pacientes en un servicio de urgencia. 2008.
9. Borshchev A, Filippov A. From system dynamics and discrete event to practical agent based modeling: reasons, techniques, tools. Oxford, England: Citeseer; 2004.
10. Flagle Charles D. Some origins of operations research in the health services. *Operations Research*. 2002; 50, 52-60.
11. Brailsford S. Overcoming the barriers to implementation of operations research simulation models in healthcare. *Clinical and Investigative Medicine*. 2005; 28, 312-15.
12. Teow KL. Practical operations research applications for healthcare managers. *Annals of the Academy of Medicine*. 2009; 38.
13. Brandeau M, Sainfor F, Pierskalla WP. Operations research and health care. *A Handbook of Methods and Applications*. New York : Kluwer Academic Publishers; 2004, p. 872.
14. Serra de La Figuera D. Métodos cuantitativos. *Gestion* 2000. 2002.
15. Samaha S, Armel W, Starks DW. The use of simulation to reduce the length of stay in an emergency

- department. In *The 2003 Winter Simulation Conference*, IEEE, 2003, vol. 2, pp. 1907-11.
16. Ahmed MA, Alkhamis TM. Simulation optimization for an emergency department healthcare unit in Kuwait. *European Journal of Operational Research*. 2009; 198, 936-42.
  17. Jerbi B, Kamoun H. Using simulation and goal programming to reschedule emergency department doctors' shifts: case of a Tunisian hospital. *Journal of Simulation*. 2009; 3, 211-19.
  18. Álvarez R, et ál. A simulation study to analyze the impact of different emergency physician shift structures in an emergency department. *Proceedings of the 35th International Conference on Operational Research Applied to Health Services (ORAH)*. Leuven, Belgium, 2009.
  19. Alexander, Mousavi A. Modeling emergency departments using discrete event simulation techniques. *Proceedings of the 37th conference on Winter simulation*. Komashie, Orlando, Florida, 2005, pp. 2681-85.
  20. Duguay C, Chetouane F. Modeling and improving emergency department systems using discrete event simulation. *Simulation*. 2007; 87, 311-20.
  21. Blasak RE, et ál. The use of simulation to evaluate hospital operations between the emergency department and a medical telemetry unit. En Chick S, Sánchez PJ, Ferrin D, Morrice DJ, editores. *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, 2004, pp. 1887-93.
  22. Lane DC, Monefeldt C, Rosenhead JV. Looking in the wrong place for healthcare improvements: a system dynamics study of an accident and emergency department. *Journal of the Operational Research Society*. 2000; 51, 518-31.
  23. Kolb Erik MW, Lee T, Peck J. Effect of coupling between emergency department and inpatient unit on the overcrowding in emergency department. *Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference*. NJ, USA: IEEE Press; 2007, pp. 1586-93.
  24. Peck JS. *Securing the safety net: applying manufacturing systems methods towards understanding and redesigning a hospital emergency department*. s.l. : Massachusetts Institute of Technology; 2008.
  25. Noyes CW. *Analysis and optimization of the Emergency Department at Beth Israel Deaconess Medical Center via simulation*. s.l. : Massachusetts Institute of Technology; 2008.
  26. Cochran JK, Bharti A. Stochastic bed balancing of an obstetrics hospital. *Health Care Management Science*. 2006; 9, 31-45.
  27. Bagust A, Posnett JW. Dynamics of bed use in accommodating emergency admissions: stochastic simulation model. *British Medical Journal Publishing Group*. 1999, 319, 155-58.
  28. Lattimer V, Brailsford S, et ál. Reviewing emergency care systems I: insights from system dynamics modelling. *Emergency Medicine Journal*. 2004; 21, 685-91.
  29. Baesler FF, Jahnsen HE, DaCosta M. The use of simulation and design of experiments for estimating maximum capacity in an emergency room. *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, IEEE, vol. 2, 2003, pp. 1903-06.
  30. Beaulieu H. *Planification de l'horaire des médecins dans une salle d'urgence*. Canada: Master's Thesis, Département D'informatique et de Recherche Opérationnelle, Université de Montréal, 1998.
  31. Beaulieu H, et ál. A computer system based on optimization for scheduling physicians in the emergency room. Canada: Département D'informatique et de Recherche Opérationnelle, Université Montréal; 1998, vol. 1127.
  32. Gendreau M, et ál. *Physician scheduling in emergency rooms*. s.l: Citeseer; 2006, pp. 2-14.
  33. Abu-Khater B, et ál. **Nurse Scheduling at St. Vincent Emergency Room**. *Operations Research in Engineering Management*; 2004.
  34. Berrada I. *Planification d'horaires du personnel infirmier dans un établissement hospitalier*. Canada: Département D'informatique et de Recherche Opérationnelle, Université de Montréal; 1995.
  35. Berrada I, Ferland JA, Michelon PA. Multi-objective approach to nurse scheduling with both hard and soft constraints. *Socio-Economic Planning Sciences*. 1996; 30, 183-93.
  36. Gagné E. *Application d'une méthode exacte pour la génération d'horaire en soins infirmiers*. Canada: Département d'Informatique et de Recherche Opérationnelle, Université de Montréal, 1996.
  37. Jaumard B, Semet F, Vovor T. A generalized linear programming model for nurse scheduling. *European Journal of Operational Research*. 1998; 107, 1-18.
  38. Troup SB, Van RW. *Hospital emergency services: modeling a dynamic system*. s.l. : Massachusetts Institute of Technology; 1972.
  39. Cooke DL, et ál. *Introducing system dynamics modeling to health care in Alberta*. Boston : s.n., 25th International Conference of the System Dynamics Society; 2007. pp. 2-17.
  40. Lianjun Az, Ching-Hua Chen-Ritzo. *Integrated healthcare delivery and health insurance models for studying emergency department utilization*.
  41. Venegas F, Velasco N, Amaya CA. *Simulación de la sala de urgencias en el hospital El Tunal para caracterizar los problemas de flujo en los procesos*. Bogotá: Universidad de los Andes; 2007.



42. Sinreich D, Marmor Y. Emergency department operations: the basis for developing a simulation tool. *IIE Transactions*. 2005; 37, 233-45.
43. Spillan JE, Ziemnowicz, C. Using system dynamics to improve coordination between hospital units. s.l.: The University of North Carolina at Pembroke.
44. Lamiri M, Grimaud F, Xie X. Optimization methods for a stochastic surgery planning problem. *International Journal of Production Economics*. 2009; 120, 400-10.
45. Manley W, et ál. A dynamic model to support surge capacity planning in a rural hospital. s.l: International System Dynamics Conference.
46. Pantoja Rojas LM, Garavito Herrera LA. Análisis del proceso de urgencias y hospitalización del CAMI Diana Tubay a través de un modelo de simulación con Arena 10.0 para la distribución óptima del recurso humano. *Ingeniería e Investigación*. 2008, 28 (1), 146-53.
47. Marmor YN, et ál. Toward simulation-based real-time decision-support systems for emergency departments. *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference*, IEEE, 2010, pp. 2042-53.
48. Blake JT, Carter MW, Richardson, S. An analysis of emergency room wait time issues via computer simulation. *Infor-Information Systems and Operational Research*. 1996; 34, 263-73.
49. McGuire F. Using simulation to reduce length of stay in emergency departments. *Simulation Conference Proceedings*, 1994, IEEE, 2002, pp. 861-67.
50. Beaulieu H, et ál. A mathematical programming approach for scheduling physicians in the emergency room. *Health Care Management Science*. 2000; 3, 193-200.
51. Ardila S, et ál. Revisión de procesos para la asignación de camas a pacientes provenientes de urgencias en un hospital privado de Bogotá. Bogotá: Universidad de los Andes; 2009.
52. Carter MW, Lapierre SD. Scheduling emergency room physicians. *Health Care Management Science*. 2001; 4, 347-60.
53. Jahnsen H, Baesler F. Análisis mediante el uso de simulación del aumento en la demanda de pacientes en el servicio de urgencia de un hospital. Valparaíso, Chile: s.n.; 2003.
54. Kuban Altinel I, Ula E. Simulation modeling for emergency bed requirement planning. *Annals of Operations Research*. 1996; 67, 83-210.
55. Handyside AJ, Morris D. Simulation of emergency bed occupancy. *Health Research & Educational Trust*. *Health Services Research*. 1967; 2, 287-97.
56. Handyside AJ, Morris D. Effects of methods of admitting emergencies on use of hospital beds. *British Medical Journal*. 1971; 25, 1-11.
57. Darmon SJ, et ál. Horoplan: computer-assisted nurse scheduling using constraint based programming. *Journal of the Society for Health Systems*. 1995; 5, 1-54.
58. Aickelin U, Dowsland, KA. An indirect genetic algorithm for a nurse scheduling problem. *Computers & Operations Research*. 2004; 31, 761-78.
59. Valoux C, Housos E. Hybrid optimization techniques for the workshift and rest assignment of nursing personnel. *Artificial Intelligence in Medicine*. 2000; 20, 155-75.
60. Harmeier PE. Linear programming for optimization of nurse scheduling. *Computers in Nurse*. 1991; 9, 149-51.
61. Dowsland KA. Nurse scheduling with tabu search and strategic oscillation. *European Journal of Operational Research*. 1998; 106, 393-407.
62. Li J, Aickelin. A Bayesian optimization algorithm for the nurse scheduling problem. U. Canberra, Australia: *Proceedings of 2003 Congress on Evolutionary Computation*, IEEE, 2003, vol. 3, pp. 2149-56.
63. Chan LK, Falkenberg J, Rosenbloom ES. Implementation problems of nurse preference mathematical programming approach to scheduling. *Congress Numerantium* 56; 1987, 251-60.
64. Yeh JY, Lin WS. Using simulation technique and genetic algorithm to improve the quality care of a hospital emergency department. *Expert Systems with Applications*. 2007; 32, 1073-83.
65. Puente J, et ál. Medical doctor rostering problem in a hospital emergency department by means of genetic algorithms. *Computers & Industrial Engineering*. 2009; 52, 1232-42.
66. Evans GW, Gor TB, Unger, E. A simulation model for evaluating personnel schedules in a hospital emergency department. *WSC '96 Proceedings of the 28th conference on Winter simulation*. Washington : IEEE Computer Society; 1996, 1205-09.
67. Vassilacopoulos G. Allocating doctors to shifts in an accident and emergency department. *Journal of the Operational Research Society*. 1985; 36, 517-23.
68. Sinreich D, Jabali O. Staggered work shifts: a way to downsize and restructure an emergency department workforce yet maintain current operational performance. *Health Care Management Science*. 2007; 10, 293-08.
69. Adan I, Vissers JMH. Patient mix optimisation in hospital admission planning: a case study. *International Journal of Operations & Production Management*; 2002, 22, 445-61.
70. Asplin BR, et ál. A conceptual model of emergency department crowding. *Annals of Emergency Medicine*. 2003; 42, 173-80.

71. Topaloglu S. A multi-objective programming model for scheduling emergency medicine residents. *Computers & Industrial Engineering*. 2006; 51, 375-88.
72. Baker JR, Clayton ER, Taylor BW III. A non-linear multi-criteria programming approach for determining county emergency medical service ambulance allocations. *Journal of the Operational Research Society*. 1989. 40, 423-32.
73. Kilmer RA, Smith AE, Shuman LJ. An emergency department simulation and a neural network metamodel. *Journal of the Society for Health Systems*. 1997; 5, 63-79.
74. Edmonds MI, O'Connor HM. The use of computer simulation as a strategic decision-making tool: a case study of an emergency department application. *Healthcare Management Forum*. 1999; 12, 32-38.
75. Connelly LG, Bair AE. Discrete event simulation of emergency department activity: a platform for system-level operations research. *Academic Emergency Medicine*. 11, 1177-85 [Wiley Online Library, 2004].
76. Sepúlveda J, Baesler F, Thompson W. The use of simulation for process improvement in an emergency department. *Marbella, España : s.n.; 2001 [en actas de conferencia ASM]*.
77. Royston G, et ál. Using system dynamics to help develop and implement policies and programmes in health care in England. *System Dynamics Review*. 1999; 15 (3), 293-13.
78. Brailsford SC, et ál. Emergency and on-demand health care: modelling a large complex system. *Journal of the Operational Research Society*. 2004; 55 (1), 34-42.
79. Wong HJ, et ál. Smoothing inpatient discharges decreases emergency department congestion: a system dynamics simulation model. *Emergency Medicine Journal*. 2010; 27 (8), 593-98.
80. Wears RL. System dynamics modeling of emergency department and hospital crowding. University Of Florida 219 Grinter Hall Gainesville, FL 32611-5500.
81. García Arnaldos F. La dinámica de sistemas en economía de la salud.
82. Sibbel R, Urban C. Agent-based modeling and simulation for hospital management. En Saam NJ, Schmidt, editores. *Cooperative agents: applications in the social sciences*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers; 2001, pp. 183-201.
83. Hamilton R, Linnehan F, McCain RA. Emergency department overcrowding as a nash equilibrium: hypothesis and test by survey methodology.
84. Stainsby H, Taboada M, Luque E. Towards an agent-based simulation of hospital emergency departments. En: *Services Computing, 2009, SCC '09. IEEE International Conference on*, 21-25 Sept. 2009, pp. 536-39.
85. Laskowski M, Mukhi S. Agent-based simulation of emergency departments with patient diversion. *Electronic Healthcare*. 2009; 1, 25-37.
86. Linares P, et ál. *Modelos matemáticos de optimización*. Espana: Universidad de Comillas; 2001.
87. Ramírez AEN, Elena A. Aplicación de algunos modelos matemáticos a la toma de decisiones. *Política y Cultura*. 1996; (6), 183-98
88. Cervantes GL. Dinámica de sistemas en la estrategia de calidad. *System Dynamics Society [Internet]* <http://www.slideshare.net/rpguarderas/dinamica-de-sistemas-323081>.
89. Izquierdo L, et ál. Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas. *Empiria, Revista de Metodología de Ciencias Sociales*. 2008, 16, 85-112.
90. Jacobson SH, Hall SN, Swisher JR. Discrete-event simulation of health care systems. *Patient Flow: Reducing Delay in Healthcare Delivery*. 2006, 91, 211-52.
91. Kim SC, Horowitz I, Young KK, Buckle, TA. Analysis of capacity management of the intensive care unit in a hospital. *European Journal of Operational Research*. 1999, 115, 36-46.
92. Litvak N, et ál. Managing the overflow of intensive care patients. *European Journal of Operational Research*. 2008; 185, 998-1010.
93. Kokangul A. A combination of deterministic and stochastic approaches to optimize bed capacity in a hospital unit. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. 2008; 90, 56-65.
94. Seung-Chul K, et ál. Flexible bed allocation and performance in the intensive care unit. *Journal of Operations Management*. 2000; 18, 427-43.
95. Akcali E, Côté MJ, Lin C. A network flow approach to optimizing hospital bed capacity decisions. *Health care Management Science*. 2006; 9, 391-04.
96. Denton B, Viapiano J, Vogl A. Optimization of surgery sequencing and scheduling decisions under uncertainty. *Health care management science*. 2007; 10, 13-24.
97. Cardoen B, Demeulemeester E, Belin J. Operating room planning and scheduling: A literature review. *European Journal of Operational Research*. 2010; 201, 921-32.
98. Jiménez AM, Velasco N, Amaya C. Estrategias de programación de salas de cirugía. Un caso de aplicación en un hospital de Bogotá. Bogotá, Colombia: Departamento de Ingeniería Industrial-Universidad de los Andes; 2008.

