

## Simulación de sistemas de emergencia en salud

PAOLA ANDREA SÁNCHEZ-SÁNCHEZ<sup>1</sup>  
JOSÉ RAFAEL GARCÍA-GONZÁLEZ<sup>2</sup>  
CARLOS HERNÁN FAJARDO TORO<sup>3</sup>  
ALEXANDER DE JESÚS PULIDO-ROJANO<sup>4</sup>  
ENRIQUE MELAMED-VARELA<sup>5</sup>

- 
- 1 Doctora en Ingeniería. Grupo de Investigación Ingebiocaribe. Universidad Simón Bolívar, Barranquilla, Colombia.  
psanchez9@unisimonbolivar.edu.co. <http://orcid.org/0000-0002-3320-016X>
  - 2 Doctor en Ciencias Pedagógicas. Grupo de Investigación Educación, Ciencias Sociales y Humanas. Universidad Simón Bolívar, Barranquilla, Colombia.  
jgarcia122@unisimonbolivar.edu.co. <http://orcid.org/0000-0002-3365-6095>
  - 3 Universidad EAN, Colombia.  
chfajardo@universidadean.edu.co. <http://orcid.org/0000-0002-6953-1630>
  - 4 Doctor en Estadística y Optimización. Grupo GEMAS. Universidad Simón Bolívar, Barranquilla, Colombia.  
apulido3@unisimonbolivar.edu.co. <http://orcid.org/0000-0001-5599-7977>
  - 5 Administrador de Empresas. Grupo Gestión Organizacional. Universidad Simón Bolívar, Barranquilla, Colombia.  
emelamed@unisimonbolivar.edu.co. <http://orcid.org/0000-0001-7519-4450>

## RESUMEN

La representación de un sistema de salud requiere, entre otros elementos, considerar a fondo los componentes que intervienen, medir con certeza los valores de las variables y las eventualidades que puedan ocurrir. En este trabajo se estudian tres casos de aplicación de modelos de simulación en sistemas de salud, tomados de casos reales, en sistemas de las ciudades de Barranquilla, Medellín y Bogotá, los cuales exhiben algunas similitudes en cuanto a procesos, pero grandes diferencias en tiempos de ejecución; razón por la cual admiten diferentes escenarios de solución a las problemáticas planteadas en cada caso. Los resultados demuestran que los modelos de simulación son herramientas de gran utilidad, al permitir ejemplificar casos reales donde interviene un número elevado de componentes, y cuya interacción es compleja, y para ilustrar diferentes escenarios y a partir de estos, plantear soluciones a problemas inherentes.

**Palabras clave:** modelamiento, simulación discreta, sistemas de salud, toma de decisiones.

## ABSTRACT

The representation of a health system requires, among other things, to thoroughly consider the components involved, to measure with certainty the values of the variables and eventualities that may occur. In this paper three cases of application of simulation models in health systems, taken from real cases, are studied in systems of the cities of Barranquilla, Medellin and Bogota, which exhibit some similarities in processes, but great differences in execution times; which is why they allow different scenarios of solution to the problems raised in each case. The results show that the simulation models are very useful tools, allowing to exemplify real cases involving a sometimes-high

number of components, whose interaction is complex, and to illustrate different scenarios and from these, to propose solutions to inherent problems.

**Keywords:** modeling, discrete simulation, systems of health, decision making.

## 1. INTRODUCCIÓN

Un sistema de cuidado en salud se entiende como uno de servicio puro que se caracteriza por una alta participación humana tanto a nivel de recursos (médicos, enfermeras, especialistas, entre otros), como al nivel de entidades (pacientes). El desempeño de tal sistema, tal como lo describen Moreno-Chaustre *et al.* (2014), a menudo se convierte en un desafío tanto a nivel de diseño, control y mejora frente la variabilidad inherente al comportamiento humano. Así mismo, el resultado del diagnóstico del paciente es asociado con múltiples, y se relacionan con la cantidad y calidad de los recursos y la cadena de procesos en la atención, razón por la cual la variabilidad está estrechamente relacionada con los largos tiempos de espera en la atención y el bajo rendimiento (Caballos, Betancur & Betancur, 2014).

Debido a la complejidad de los sistemas de salud, la simulación de eventos discretos ha demostrado ser una herramienta eficaz para la mejora del proceso (Barnes & Laughery, 1998; Benneyan, 1997), particularmente cuando se combina con la gestión de la calidad total y técnicas para el mejoramiento continuo de la calidad. El Departamento de Emergencias es el área central donde miles de los pacientes acuden cada año, es por esto, que la calidad del servicio de un centro de atención en salud depende del desempeño de dicha área. Diversos estudios se han realizado para incrementar la eficiencia del área de emergencias utili-

zando técnicas de simulación, la mayoría orientados a reducir los tiempos de espera, optimizar los tiempos de atención y mejorar el rendimiento de los procesos asistenciales (Gutiérrez, Almeida & Romero, 2017; Komashie & Mousavi, 2005; Saunders, Makens & Leblanc, 1989) o aumentando el tamaño y la operación del Departamento de Emergencia, a través de la creación de nuevos procesos (Ruohonen, Neittaanmäki & Teittinen, 2006; Samaha, Armel & Starks, 2003).

Ahora bien, toda estrategia que se implemente para ser competitivo exige la gestión eficiente de las áreas que integran una organización, es así como la concepción de *sistema* entra a ser de gran importancia ya que define y contiene todos los procesos necesarios para generar valor en la organización, y además permite el mejoramiento de dichos sistemas productivos y la adecuada gestión de recursos (Arbós, 2012; Pan & Pokharel, 2007), y la sincronización entre los diferentes eslabones que conforman la secuencia de procesos y los factores que el cliente valora (Chávez & Torres, 2012; Roseira, Brito & Henneberg, 2010; Cannon, Doney, Mullen & Petersen, 2010).

Aunque la concepción de la organización como un sistema ha sido siempre un factor importante en toda empresa en la que se ha embarcado el hombre, desde hace tres décadas ha quedado claro que las empresas no pueden trabajar de forma aislada, es decir, deben ser conscientes de tal interacción (Virolainen, 1998; Quintens, Pauwels & Matthyssens, 2006; Yenyurt, Henke & Cavusgil, 2012; Lummus & Vokurka, 1999). Lo anterior se puede justificar en la velocidad y flexibilidad que requiere la organización para competir dada la exigencia de clientes en aspectos como velocidad, disponibilidad y personalización, así como una competencia más agresiva, obligando a trabajar más de la

mano con proveedores, clientes y colaboradores (Giannakis & Croom, 2004; Mentzer, Keebler, Nix, Smith & Zacharia, 2001; Day, Magnan & Moeller, 2010; Virolainen, 1998; Ramasesh, 1990; Yenyurt *et al.*, 2012).

Como se mencionó, los sistemas de salud están orientados a servicios (Al-Balushi *et al.*, 2014; Cotta *et al.*, 2001). Como tal, tiene que estar ajustando tanto la capacidad como los recursos que posea (Cordero-García, Jiménez, León-Rodríguez & Salazar-Valerio, 2012; De Vries, 2011; Little & Coughlan, 2008). Adicionalmente, los procesos de trabajo comienzan solo una vez es solicitado, es decir, va en función de las personas a ser atendidas y del tipo de problema de salud que presentan (Samuel, Gonapa, Chaudhary & Mishra, 2010).

Es importante precisar que la salud es considerada como un bien y un derecho fundamental de las personas (Herazo, 2010), pero se observa que en ocasiones no se cumple con este principio conduciendo a la prestación de un servicio no adecuado por parte de las entidades encargadas, lo cual se traduce en fallas y quejas de los usuarios (Vargas-Lorenzo, Vázquez-Navarrete & Mogollón-Pérez, 2010; Little & Coughlan, 2008; Mettler & Rohner, 2009).

Los estudios e investigaciones desarrolladas por De Vries (2011), confirman la validez de lo expuesto por Nicholson, Vakharia & Selcuk (2004), los cuales evidencian que, a pesar del incremento de investigaciones e inversiones en desarrollos para la mejora de procesos organizacionales en sectores industriales, hay una baja existencia de propuestas de diseño e implementación de sistemas de control en el sector salud.

De igual forma, en Colombia hay muy pocos estudios relacionados con la mejora de procesos en el sector salud (Balcázar, López & Adarme, 2016; García, Valdivieso, Margarita, Vallejo, Fernando & Silva, 2009).

Debido a la naturaleza de la competencia y regulaciones, el entorno de salud ha cambiado ostensiblemente, así como también debido a las asociaciones de pacientes y a la necesidad de prestar un servicio sanitario más eficientemente tanto por rentabilidad como por marcos legales. Para ello se hace necesario según De Vries & Huijsman (2011) llevar a cabo el diseño de lo que se podría llamar una arquitectura organizacional, la cual permita:

Integración y coordinación de planificación de procesos

Integración y coordinación de procesos

Integración y coordinación de flujos e información

Integración de procesos intra e inter organizacionales

Integración del enfoque de mercado

Integración del desarrollo de mercado.

Pan & Pokharel (2007) establecen que todos los tipos de proveedores de salud, desde los grandes hospitales hasta pequeños centros de salud, se caracterizan por tener dos cadenas de abastecimiento, una que se puede considerar interna, donde se dispone de sus propios recursos físicos y de personal, y otra de tipo externo. Esto implica que deben enfocar las relaciones externas de tal manera que se logre la minimización de costos y a su vez una administración adecuada de la cadena interna que logre maximizar los niveles de servicio.

Lee, Lee & Schniederjans (2011) afirman que adicional a las dos cadenas anteriormente mencionadas, se realizan actividades propias del negocio, así como operaciones que integran flujos de recursos y capacidades para la entrega del servicio. Por otra parte, Burns (2002), Pedroso & Nakano (2009) y Pitta & Laric (2004) establecen que dicha cadena está compuesta, de forma más específica por diferentes actores: i) los productores del sector salud tales como laboratorios, empresas TI o de servicios externos, ii) Intermediarios: tales como distribuidores o vendedores de insumos, iii) los proveedores como hospitales, centros de atención y médicos, iv) Intermediarios Fiscales como las compañías de seguros y v) clientes o consumidores de los servicios que van desde el Gobierno mismo hasta los individuos que solicitan un servicio. Lee, Lee & Schniederjans (2011), establecen que la cadena de abastecimiento presenta tres tipos de flujo: el físico, el de información y el financiero.

Ahora bien, todo el sector salud se encuentra restringido o afectado por aspectos tales como (García *et al.*, 2009; McKone-Sweet, Hamilton & Willis, 2005):

Su cadena de Abastecimiento está fuertemente regulada por marcos legales locales e internacionales

Es difícil la estandarización por la naturaleza de tecnologías y productos

Hay un continuo cambio tecnológico debido a perfiles epidemiológicos, así como nuevas técnicas

Alta variabilidad e imprevisibilidad de comportamientos

Alto costo de implementación de sistemas de información dada la complejidad del sistema

Know-how alto para desarrollar muchos productos y ejecutar procesos.

Son estos factores importantes a ser tenidos en cuenta al momento de definir cualquiera de las estrategias que se desee implementar en los eslabones de la cadena.

Ahora bien, existen diferentes técnicas que permiten la representación de la cadena de abastecimiento, o en general del sistema de procesos de una organización, entre ellas los modelos de simulación.

La simulación es una herramienta que resulta muy útil en lo que son problemas de muy alta complejidad y donde una solución algorítmica no existe o es muy difícil de ser implementada (Sánchez-Sánchez, Ceballos & Sánchez, 2015). Los problemas asociados a decisiones en salud son muy amplios y de diferente complejidad, donde la simulación resulta siendo importante para decisiones adecuadas o para entrenamientos de alta exigencia.

Hay sistemas diseñados para entrenamientos médicos como derrames cerebrales (Monks, Pearson, Pitt, Stein & James, 2015), que van desde la simulación para construir modelos que les permiten establecer mejor un diagnóstico de trombosis (Churilov *et al.*, 2013), así como el mejoramiento de procesos y tiempos de atención cuando se presenta este problema (Uzun Jacobson, Bayer, Barlow, Dennis & MacLeod, 2015), logrando en dichos casos tanto mejores y más eficientes diagnósticos como mejores tiempos de atención.

Por otra parte, la simulación también resulta útil en la programación de ambulancias (Jagtenberg, Van den Berg & Van der Mei,



2016; McCormack & Coates, 2015), sistemas de entrenamiento y mejoramiento de competencias tanto a funciones específicas como interprocesos (Darragh *et al.*, 2016; Fernando *et al.*, 2017), entrenamientos para cuidados de salud domiciliarios (Guise & Wiig, 2016).

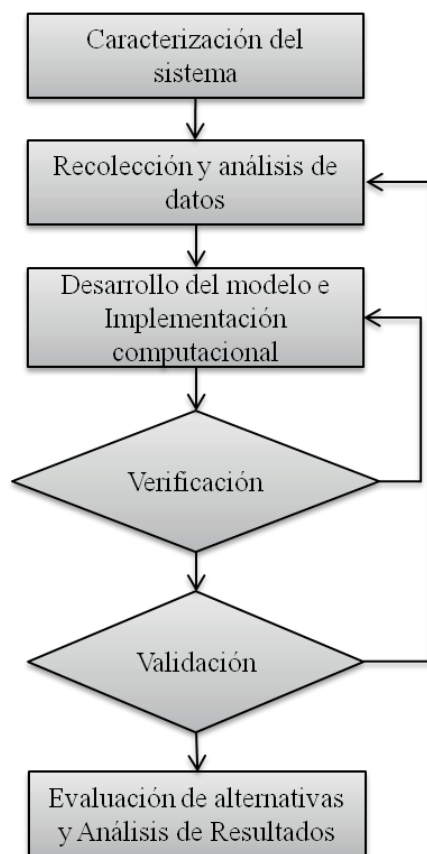
Uno de los aportes importantes que hacen los sistemas de simulación tiene que ver con el manejo de la capacidad y el flujo eficiente de pacientes para la definición de dicha capacidad. A través de este método, se logran optimizar unidades de cuidados médicos (Ahmed & Alkhamis, 2009), eficiencia en el uso de salas de operación (Neyshabouri & Berg, 2016), el control de las líneas de espera para el acceso a atención de emergencia (Niyirora & Zhuang, 2017), la reasignación de pacientes (Andersen, Nielsen & Reinhardt, 2017) y la implementación de sistemas esbeltos –lean– aplicados a Departamentos de Urgencias (Robinson, Radnor, Burgess & Worthington, 2012).

En este trabajo se utiliza la simulación discreta como herramienta para la optimización de procesos en sistemas de urgencias en salud a través del estudio de tres casos reales de aplicación, en sistemas de salud en las ciudades de Barranquilla, Medellín y Santa Fe de Bogotá, los cuales exhiben algunas similitudes en cuanto a procesos y problemáticas asociadas, pero grandes diferencias en tiempos de ejecución. En lo restante de este documento se expone la metodología general para la representación a través de modelos de simulación de sistemas de salud, la cual es posteriormente aplicada en tres casos reales de sistemas de emergencia y donde son evaluadas diferentes alternativas de solución a las problemáticas planteadas en cada caso y se discuten los resultados obtenidos; finalmente, se presentan las conclusiones del estudio.

## 2. METODOLOGÍA PARA LA SIMULACIÓN DE SISTEMAS DE SALUD

### 2.1 Diseño general

La metodología utilizada para el análisis del proceso de simulación de sistemas de salud se ilustra en la Figura 1, la cual exhibe el proceso global utilizado para la implementación computacional de los respectivos modelos de simulación.



**Figura 1**  
*Metodología para la implementación y análisis del modelo de simulación*  
Fuente: Elaboración propia

El análisis del sistema real a través de su representación implica, para modelos matemáticos, el cual debe ser manipulable numéricamente. Su ejercicio de construcción, por lo tanto, comienza desde la caracterización del sistema hasta alcanzar la implementación de un modelo apto para representar adecuadamente su funcionamiento y, que a su vez permita interactuar para evaluar diferentes escenarios alternativos. Por tal razón, la metodología seleccionada orienta la realización de modelos computacionales del sistema, considerando la estructura formada por componentes del sistema real, es decir, las variables, parámetros y sus relaciones. La vinculación entre componentes permite visualizar el comportamiento de variables y parámetros dentro de un componente específico o entre todos los factores del sistema a modelar.

## 2.2 Caracterización del sistema

La construcción de un modelo de simulación implica en primera instancia la definición del sistema, es decir, los objetivos que se quieren con el modelo y el conjunto de elementos que se van a incluir y excluir de este. Es así como, la etapa de caracterización del sistema abarca desde la descripción global del sistema real y el objetivo de la simulación, hasta la identificación de las variables (entidades), sus atributos (propiedades) y las relaciones con otras variables.

Ahora bien, se debe procurar un nivel de detalle adecuado, esto es, ni tanto, ni tan poco. Una descripción rigurosa puede no aportar información adicional relevante y conducirá a un tiempo de desarrollo mayor, mientras que un nivel de detalle pobre conduce a resultados poco confiables, y por tanto un modelo inútil.

Por otro lado, una definición clara y precisa de los objetivos y del problema facilitan el planteamiento de alternativas de solución potencialmente útiles y evita el estudio de posibilidades infructuosas.

La identificación adecuada de las variables y sus atributos permite evaluar de forma correcta la eficacia y eficiencia del sistema bajo diferentes escenarios, y facilita el manejo estadístico de los datos.

Finalmente, las relaciones con otras variables favorecen la identificación de las reglas que gobiernan el sistema y los flujos de recursos a través de él.

### **2.3 Recolección y análisis de datos**

La recopilación de datos es una de las tareas más importantes, difíciles y cambiantes, que enfrenta un constructor de modelos en cualquier simulación (Süer, Subramanian & Huang, 2009), y se refiere al proceso de alimentar el modelo con diferentes valores de las variables, los cuales son representativos del comportamiento del sistema real en situaciones habituales, no extremas. La precisión de los resultados y conclusiones en los estudios de simulación a menudo depende de la alta calidad de los datos de entrada recopilados. Tan es así, que datos de pobre calidad o recopilados de forma inadecuada, pueden conducir a resultados engañosos en el modelo, aun siendo el modelo válido y representativo del sistema real. Así mismo, es crítico para el diseño y validación del modelo.

La fuente de los datos puede ser primaria o secundaria; la primera proviene de datos históricos o recopilados para el estudio, y la segunda de la simulación de alguna distribución teórica que

es razonable suponer tiene alguna similitud con el proceso generador de los datos reales.

El análisis de los datos se refiere al proceso orientado a ajustar dichos datos a una función de distribución estadística que represente adecuadamente el comportamiento de estos y el cálculo de parámetros para los diferentes atributos de las variables que faciliten la validación y verificación del modelo; por tal razón, el análisis de los datos a menudo incluye el cálculo de funciones de distribución, promedios y tasas.

En el contexto de sistemas de emergencia en salud los datos son de dos tipos, tiempos de espera y atención, y número de pacientes que transitan por el sistema. Los tiempos de espera hacen referencia al tiempo consumido desde el final de una actividad o evento y el inicio de la siguiente en el proceso, mientras que el tiempo de atención se refiere al lapso ocupado para completar una actividad.

## 2.4 Procedimientos

El desarrollo del modelo se refiere a la representación conceptual de los procesos, las variables (entidades) y los diferentes flujos que constituyen el sistema real; mientras que la implementación se refiere a plasmarlo en un *software*.

El desarrollo del modelo, a menudo, implica el establecimiento de los límites del sistema, la representación en un esquema de procesos y de la distribución física de las variables y sus flujos, seguido de una clara descripción de cada elemento, su función y el número de recursos disponibles en el esquema. Esto es por ejemplo, si el proceso hace referencia a la recepción de usuarios

y existen dos ventanillas habilitadas con las mismas funciones, se trata de un solo proceso llamado recepción con dos recursos, pero si en cada ventanilla se atienden usuarios con características diferentes, se trata de dos procesos separados.

La implementación depende de la naturaleza del *software* que se use, que puede ir desde lenguajes o paquetes de programación (como *Java*®, *Matlab*®, *R*®) hasta el uso de sistemas específicos para simulación de sistemas discretos (como *Simul8*®, *Arena*®, *Flexsim*®, *Promodel*®, entre otros). El uso de programas de simulación exhibe un mayor beneficio al permitir, no solo emular visualmente el funcionamiento del sistema real, sino que además facilita los cálculos de tiempos de espera de los pacientes, tiempos de atención y permite representar diferentes escenarios alternativos.

En sistemas de urgencias, el flujo aleatorio de pacientes tiene tres características:

Es regido por enfermedades y accidentes estacionales, en épocas de invierno se incrementa el número de pacientes que son diagnosticados por enfermedades respiratorias, influenza, dolor de garganta, articulaciones y herpes, mientras que en verano se incrementa el número de pacientes con lesiones como fracturas, enfermedades estomacales, alergias, quemaduras y picaduras de insectos;

Depende del día de la semana, siendo común la aglomeración los días lunes y viernes;

Existe un incremento de llegadas durante horas del día en lugar de horario nocturno, esto es de 8:00am a 7:00pm, con picos diferenciales en las horas de la tarde.

## 2.5 Verificación y validación del modelo

Se espera que un modelo de simulación sea válido y veraz. La verificación consiste en el conjunto de acciones destinadas a garantizar una correcta programación, es decir, a conseguir que realice las acciones conforme se desea que tengan lugar de acuerdo con el modelo conceptual; por lo tanto, es veraz en la medida que ofrece una correcta implementación del modelo de simulación, la cual está estrechamente relacionada con el lenguaje de programación o *software* de simulación elegido. Es así como, en la etapa de verificación se evalúa la coherencia y consistencia de los resultados arrojados por cada proceso del modelo en la implementación y el modelo en general. Por ejemplo, se verifica que las variables almacenen los valores correctos, los diferentes elementos que representan puestos de trabajo o de atención, colas, etc. contengan los recursos adecuados, etc.

La validación tiene por objetivo garantizar que el modelo de simulación represente de forma precisa y adecuada el comportamiento del sistema real, por lo tanto, un modelo es válido si representa adecuadamente (con algún grado de fidelidad) el sistema real. En la validación se contrastan los resultados de salida del modelo con los datos reales recopilados. Un modelo válido debe permitir simular la toma de decisiones que pueden (o se podrían) tomar en el sistema real.

## 2.6 Evaluación de alternativas y análisis de resultados

La evaluación de alternativas se refiere a la prueba de diferentes escenarios que el modelador considere pueden, de una u otra forma, contribuir a solventar problemas del sistema real, tales como, tiempos de espera largos, tiempos de ocio altos, desapro-

vechamiento de espacios físicos, etc. El diseño de las alternativas se basa en la consideración de cambios en la frecuencia y cantidad de los recursos físicos y humanos de tal forma que se alcance una economía en el uso de los recursos, sin superar su capacidad.

La etapa de evaluación de alternativas, por lo tanto, concluye con recomendaciones que aporten a la toma de decisiones asertivas para el mejoramiento del sistema.

El análisis de los resultados arrojados por un modelo de simulación se soporta en la correcta ejecución del modelo y en la realización de un número adecuado de repeticiones (generalmente, entre cinco y diez); esto último, con el fin de evitar que la interpretación sea sesgada por el inherente carácter aleatorio del modelo.

El análisis de los resultados, a menudo, se hace con base en cálculos de valores medios de las variables de salida del modelo, intervalos de confianza y probabilidades asociadas al funcionamiento del sistema.

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

A continuación, se hace uso de la metodología descrita en los tres casos de estudio referentes a la simulación de servicios de urgencias de salud en tres ciudades de Colombia. El objetivo de la simulación es contribuir a una adecuada distribución y organización de los espacios físicos y el personal, así como la mejora en el proceso de atención de pacientes brindando menores tiempos de espera y de permanencia en la clínica. Por lo anterior, para todos los casos, se consideran como variables de control



los recursos humanos, médicos y auxiliares de registro, y los recursos físicos, cubículos y taquillas de registro.

Así mismo, de forma general, se considera que el proceso estándar de atención de pacientes de urgencias en los tres casos estudiados corresponde al esquema presentado en la Figura 2.

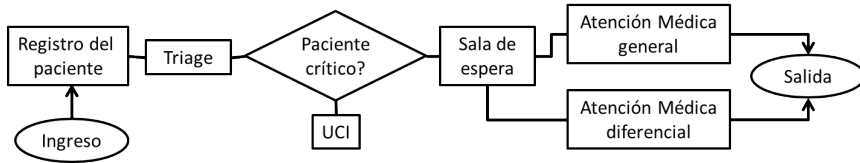


Figura 2

*Diagrama estándar de procesos - Unidad de Urgencias de salud*

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presentan las características particulares de la simulación de cada uno de los casos.

### 3.1 Caso I: Unidad de Urgencias y Emergencias de la clínica Las Américas – Medellín

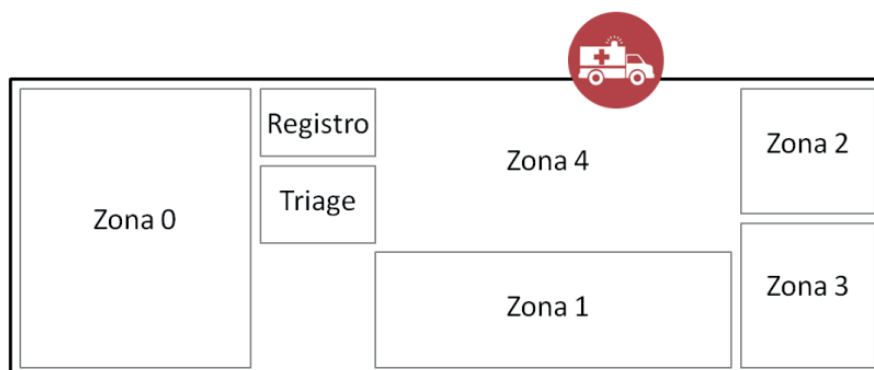
#### 3.1.1 Caracterización del sistema

La clínica Las Américas de Medellín es un centro hospitalario dedicado a brindar servicios de mediana y alta complejidad, categorizado como Institución Prestadora de Salud (IPS) de tercer nivel por el Ministerio de Salud de Colombia. La Unidad de Urgencias y Emergencias de la clínica dispone de un espacio de atención separada para pacientes en estado de emergencia (situaciones donde la vida del paciente está comprometida, o con riesgo inminente de secuelas graves y, por tanto, requiere atención inmediata) y en estado de urgencia (situaciones donde

la vida del paciente no está comprometida, pero requiere de atención oportuna para evitar secuelas).

La Unidad de Urgencias es responsable del triage (clasificación de gravedad, sintomatología y problemas de salud que presenta un paciente cuando llega al servicio de urgencias y que define su prioridad de atención) y el tratamiento de pacientes que ingresan a la clínica Las Américas en estado de urgencias. La unidad está abierta las 24 horas del día y atiende más de 20.000 pacientes al año. Dicha unidad dispone de 28 cubículos para la atención de los cuales 10 son reservados para menores de 15 años, y ocho se reservan para la atención prioritaria de pacientes (en estado de emergencia).

La Figura 3 muestra la distribución física de la Unidad de Urgencias de la clínica Las Américas, con cinco zonas: llegada de pacientes y sala de espera (Zona 0), cubículos de atención general (Zona 1), Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) y atención prioritaria (Zona 2), cubículos de atención infantil (Zona 3), y área de llegada de ambulancias (Zona 4).



**Figura 3**  
**Distribución física Unidad de Urgencias Clínica Las Américas**  
Fuente: Elaboración propia

Para la atención en la Unidad de Urgencias se dispone de dos taquillas de registro con un auxiliar en cada una, que laboran en turnos de ocho horas, seis médicos para la atención en el día y tres médicos en la noche, los cuales atienden de forma alternada el triage y las Zonas 1 y 3. Los médicos laboran turnos de 12 horas.

Ahora bien, el proceso general de atención de pacientes en la Unidad de Urgencias de la clínica Las Américas es el siguiente:

- i. El paciente una vez ingresa a la unidad es registrado a través de una de las taquillas de registro.
- ii. Se establece el estado de salud del paciente a través de la clasificación dada en el triage.
- iii. Los pacientes en estado crítico son remitidos a la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI); los demás pacientes son ubicados en la sala de espera.
- iv. El paciente ingresa a un cubículo para su atención médica que puede ser de atención general o infantil.
- v. Mientras el paciente es atendido, el médico puede atender a otros pacientes en los demás cubículos, iniciando, para cada nuevo paciente, un estado de atención.
- vi. El médico, luego de un tiempo, vuelve al cubículo del paciente y ejecuta de nuevo una revisión. El paciente continúa en atención médica hasta que el médico considere que está estable.
- vii. Los pasos v y vi se ejecutarán hasta que el paciente sea dado de alta, la cual equivale a la salida del sistema.

La Clínica dispone de espacios físicos suficientes para la atención; no obstante, a menudo se queda corta en los recursos humanos, dando lugar a tiempos largos de espera de atención de pacientes que se traducen en inconformidad por el servicio. Por lo tanto, se hace necesario evaluar alternativas de solución.

Sobre el sistema se proponen y evalúan dos alternativas con el fin de valorar mejoras en el desempeño provenientes de diferentes configuraciones de los recursos.

### **3.1.2 Recolección y análisis de los datos**

Los datos fueron recopilados durante un período continuo de 90 días, las 24 horas y son de dos tipos, tiempos de espera y atención, y número de pacientes.

Los datos recopilados fueron analizados con el fin de identificar la distribución estadística que más se ajuste a su comportamiento. La Tabla 1 da cuenta de las diferentes distribuciones.

**Tabla 1**  
**Funciones de distribución ajustadas. Caso I**

Llegada de pacientes*		Atención médica general e infantil*
Lu	EXP (7)	TRIA (25, 32, 45)
Ma, Mi, J	EXP (15)	TRIA (21, 30, 39)
Vi	EXP (9.5)	TRIA (23, 32, 42)
Sa, D	EXP (22)	TRIA (32, 46, 50)
Actividades de proceso*		
Registro	TRIA (3, 4, 6)	
Triage	POIS (6)	

*EXP, TRIA y POIS son abreviaturas para distribuciones Exponencial Triangular y Poisson respectivamente*

*\*\*Todas las unidades de tiempo son medidas en minutos*

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.3 Desarrollo e interpretación del modelo

Para la construcción del modelo computacional se establecieron los siguientes límites del sistema de acuerdo a los datos disponibles:

- i. Se consideraron como días de atención ordinaria martes, miércoles y jueves.
- ii. Se considera que los tiempos de retrasos dependen únicamente de demoras en la atención y disponibilidad de cubículos, obviando otras situaciones como carencia de información, fallas en el sistema, mantenimiento, etc.
- iii. Los tiempos de desplazamiento de los pacientes entre cada proceso no fueron considerados.
- iv. No fueron considerados en la simulación la atención en las Zonas 2 y 4, toda vez que se refieren a situaciones específicas de las cuales se carece de mediciones; además, el porcentaje de pacientes atendidos en estas zonas fue menos del 5 % del total.
- v. Los datos recopilados equivalen a 45 días durante temporada de verano y 15 días de invierno.

El modelo computacional se construyó con base en el diagrama de procesos expuesto en la Figura 2 y las distribuciones calculadas en la Tabla 1. Para realizar un modelado correcto del consumo de tiempo de cada proceso se consideraron las distribuciones ajustadas en la etapa de recolección de datos. A través del *software* de simulación *Simul8* se adoptó un acercamiento modular para la implementación del modelo agrupando los cubículos de atención médica general e infantil, que equivalen en conjunto a 20 cubículos (10 general y 10 infantil) en los elementos C1 a C5 respectivamente, y una asignación de reproceso llamada Auxiliar que equivale a la nueva revisión que hace el médico previo a la salida del paciente del sistema. El esquema del modelo implementado en el *software* es presentado en la Figura 4.

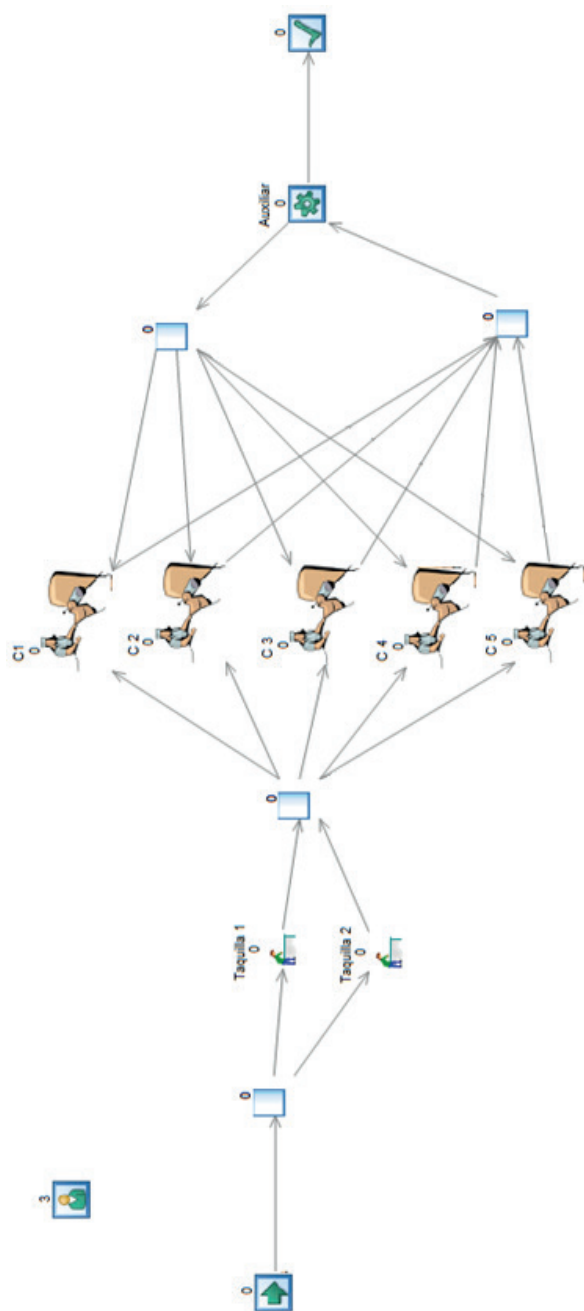


Figura 4  
**Modelo en Simul8 de la Unidad de Urgencias de la clínica Las Américas**  
Fuente: Elaboración propia

### 3.1.4 Verificación, validación, evaluación de alternativas y análisis de resultados

Teniendo en cuenta los límites del sistema previamente establecidos y el modelo implementado, se realizaron 10 réplicas del desempeño del sistema. Cada réplica corresponde a un día de 24 horas comenzando desde las 00:00 y culminando en las 24:00.

La Tabla 2 presenta la configuración de los diferentes tiempos recopilados en el sistema.

**Tabla 2**  
**Configuración de tiempos de espera y atención. Caso I**

TIEMPOS DE ESPERA	TIEMPOS DE ATENCIÓN
T1 Tiempo entre llegada y registro	
T2 Tiempo entre registro y triage	T4 Tiempo requerido para la atención médica
T3 Tiempo desde el registro hasta atención médica	

Fuente: Elaboración propia

Otros tiempos pueden ser deducidos a partir de los valores de la tabla anterior: Tiempo de registro ( $T2-T1$ ), tiempo de triage ( $T3-T2$ ). La duración de  $T3$  depende de la clasificación dada en el triage.

La salida de la simulación fue comparada con los datos recolectados para validar el desempeño adecuado del modelo usando un intervalo de confianza del 95 %, La Tabla 3 da cuenta de la comparación de tiempos de salida de la simulación y datos reales recolectados, siendo  $T1$ ,  $T2$ ,  $T3$  y  $T4$  los respectivos tiempos configurados en la Tabla 2.

**Tabla 3**  
***Datos de salida simulados vs datos reales. Caso I***

	Media*	Desviación estándar*	Valor real*
T1	0,8	0,4	1,5
T2	4,2	1,3	10,0
T3	115,5	32,6	121,0
T4	46,7	4,8	30,0

\*Unidades de tiempo en minutos

Fuente: Elaboración propia

Las divergencias entre los valores reales y los simulados en todos los casos fueron consideradas no significativas, siendo el modelo útil para la toma de decisiones; no obstante, se centra especial atención en los valores obtenidos para T3 y T4, considerándolos como los focos para mejoras en el desempeño del sistema, toda vez que estos constituyen la proporción más grande de tiempo de espera en el sistema.

Como se mencionó anteriormente, las alternativas se basan en considerar los recursos físicos y humanos como variables de control del sistema. En el sistema real se tienen dos auxiliares de registro, seis médicos diurnos y tres nocturnos, para atender 20 cubículos. Basado en lo anterior en la Tabla 4 se consideran dos escenarios alternativos.

**Tabla 4**  
***Recursos asignados en escenarios de simulación alternativos. Caso I***

	Alternativa 1	Alternativa 2
Número de médicos	6,3	7,4
Taquillas de registro	1	2
Número de cubículos activos	22	20

Fuente: Elaboración propia



Cada alternativa fue simulada en 10 réplicas cada una equivalente a un día de 24 horas. Como parámetros de control adicional se calcularon, el tiempo total en el sistema–TS, el cual es equivalente a la suma de todos los tiempos (T1 a T4), el porcentaje de cubículos inactivos y el promedio de pacientes en la cola de cubículos (ver Tabla 5).

**Tabla 5**  
**Comparación de resultados de alternativas vs datos reales. Caso I**

	Alternativa 1	Alternativa 2	Datos Reales
T3	106,3	86,5	121,0
TS	141,6	118,4	162,5
Porcentaje de cubículos inactivos	15,64 %	19,5 %	18,3 %
Promedio de pacientes en la cola de cubículos	14	4	17

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Tabla 5, la alternativa 2 presenta una mejora sustancial en el tiempo de espera para la atención médica, lo cual repercute, igualmente, en el tiempo total del sistema y en el promedio del número de pacientes en la cola de cubículos, sin embargo, es más costoso al requerir un recurso humano médico adicional en cada turno. La alternativa 1 es interesante desde el punto de vista económico, toda vez que requiere un recurso humano menos en la atención de registro y una redistribución de los espacios para el incremento de dos cubículos, lo que se traduce en una disminución en el porcentaje de cubículos inactivos y mejoras leves en los tiempos de espera de atención, tiempo total del sistema y promedio de pacientes en la cola de cubículos. La alternativa 2 muestra que los tiempos de atención pueden ser significativamente reducidos al incrementar el personal de atención, no obstante, esto repercute en un incremento leve en el porcentaje de cubículos inactivos. La

sustancial mejora en los tiempos y calidad del servicio expuesta por la alternativa 2, justifica el incremento económico. La adición de cubículos establecida en la alternativa 1 no presenta mejoras significantes en el número medio de pacientes en la cola de cubículos, por lo tanto, la alternativa 2 resulta ser la más completa.

### **3.2 Caso II: Servicio de urgencias de la clínica del Caribe - Barranquilla**

#### ***3.2.1 Caracterización del sistema***

La clínica del Caribe de Barranquilla es una institución prestadora de servicios de salud de carácter privado de tercer nivel que atiende pacientes de mediana y alta complejidad. El servicio de Urgencias de la clínica atiende 24 horas al día, y su prioridad de atención depende de la clasificación dada en el triage. Son considerados grupos prioritarios de alto riesgo los menores de siete años, las mujeres en estado de gestación y los mayores de 60 años, los cuales tienen atención médica prioritaria.

El servicio de urgencias dispone de siete consultorios para la atención médica de los pacientes, dos salas de reanimación, para los que se dispone siete médicos en el turno de día y dos en la noche (12 horas cada turno), una taquilla de registro con 1 auxiliar que labora en turno de ocho horas y una taquilla de facturación.

El proceso general de atención de pacientes en el servicio de urgencias de la clínica del Caribe coincide con los procesos descritos en el diagrama presentado en la Figura 2; sin embargo, el orden en el que se presentan es diferente. La descripción del proceso es la siguiente:

- I. El paciente una vez ingresa a la unidad es clasificado su estado de gravedad según su triage por una enfermera calificada para la labor; este varía de uno a cuatro según su gravedad. En caso de extrema gravedad con compromiso de la vida del paciente, la atención es inmediata (esto es, triage uno). Las clasificaciones dos y tres deben esperar a ser atendidos y en la clasificación cuatro el paciente es remitido a su Institución Prestadora de Salud (IPS) de primer nivel (sale del sistema).
- II. Los pacientes con triage uno son pasados a los cubículos de reanimación, donde son estabilizados y posteriormente remitidos a hospitalización en otra entidad (salida del sistema).
- III. Los pacientes con triage superior a uno son registrados a través de la taquilla de registro.
- IV. Los pacientes registrados pasan a la sala de espera para la atención médica.
- V. El paciente ingresa a un cubículo para su atención médica que puede ser de atención general o especializada (pacientes que pertenecen a un grupo prioritario).
- VI. El paciente es dado de alta y según su tipo de afiliación pasa a la zona de facturación o sale del sistema.
- VII. Los pacientes en facturación pagan una cuota moderadora y salen del sistema.

Ahora bien, según los datos recopilados, el 10 % de los pacientes atendidos en el servicio de Urgencias de la clínica del Caribe son clasificados en triage uno; 65 % en triage dos y 25 % en triage tres. Los pacientes con triage cuatro no son tenidos en cuenta toda vez que salen del sistema inmediatamente se clasifica su triage. Los pacientes con triage uno requieren atención

inmediata y los de triage dos atención prioritaria, la cual debe hacerse en menos de 20 minutos; dicha expectativa no siempre se cumple dando lugar a fallas en la calidad del sistema y retrasos adicionales en la atención de usuarios con otros triages. Según lo anterior, se hace necesaria la evaluación de alternativas que permitan mejorar el desempeño del sistema. Un escenario alternativo es evaluado con el fin de establecer posibles mejoras en el desempeño del sistema provenientes de diferentes valores de las variables de control.

### 3.2.2 Recolección y análisis de los datos

Los datos de tiempos de espera y atención, y número de pacientes fueron recopilados en días de semana (de lunes a viernes) por un período de 60 días, las 24 horas. Los datos recopilados fueron analizados con el fin de identificar la distribución estadística que más se ajuste a su comportamiento, estas son presentadas en la Tabla 6.

**Tabla 6. Funciones de distribución ajustadas. Caso II\***

Actividades de proceso*	
Llegada de pacientes	EXP (14)
Triage	POIS (6)
Reanimación	TRIA (18, 26, 39)
Registro	TRIA (2, 4, 9)
Atención médica	TRIA (51, 64, 78)
Facturación	POIS (4)

*\*Todas las unidades de tiempo son medidas en minutos*  
Fuente: Elaboración propia

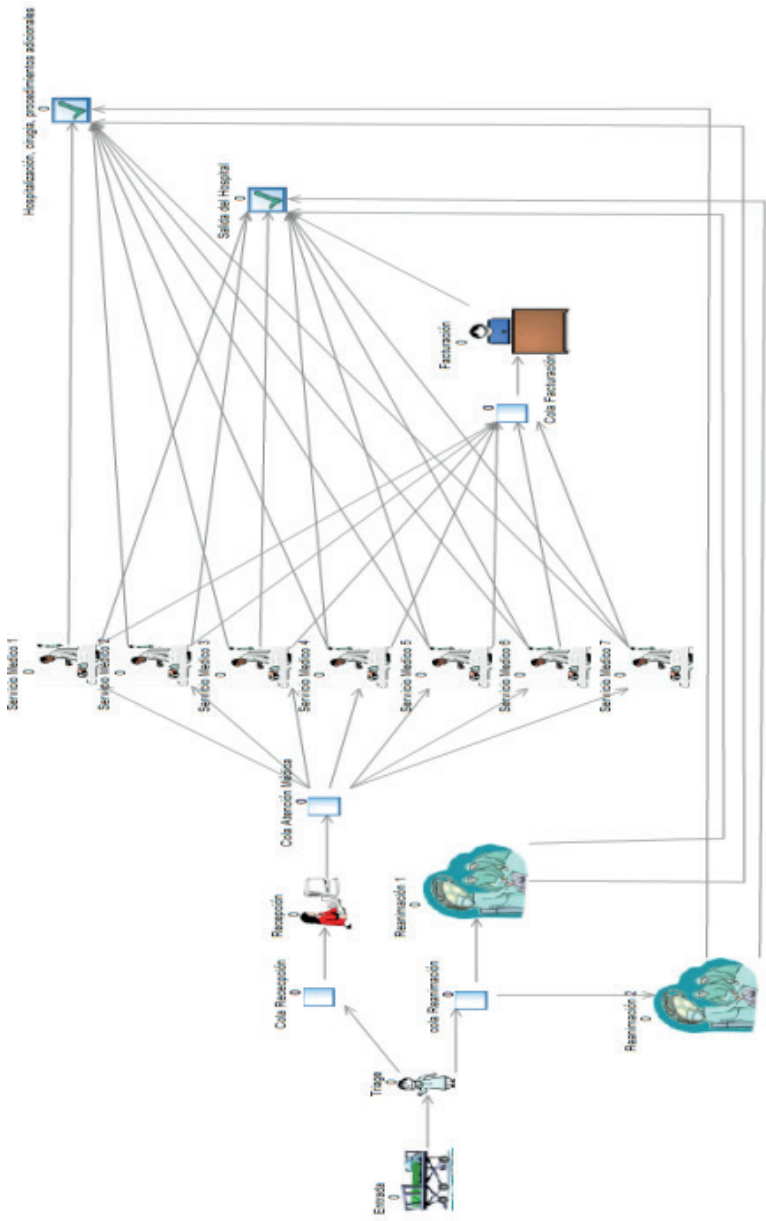


Figura 5  
Modelo en Simul8 del servicio de Urgencias de la Clínica del Caribe  
Fuente: Elaboración propia

Basados en el proceso descrito y haciendo uso de las funciones de distribución ajustadas en la recolección de datos se construyó con el software *Simul8* el modelo computacional presentado en la Figura 5.

### 3.2.3 Verificación, validación, evaluación de alternativas y análisis de resultados

Para el modelo implementado se realizaron 10 réplicas de la simulación, donde cada réplica corresponde a un día de 24 horas comenzando desde las 00:00 y culminando en las 24:00. Se validó el desempeño adecuado del modelo mediante la comparación de los datos de salida y los datos reales recopilados con un intervalo de confianza del 95 %. La configuración de tiempos usada para este caso se presenta en la Tabla 7, y los valores de validación en la Tabla 8.

**Tabla 7**  
**Configuración de tiempos de espera y atención. Caso II**

Tiempos de espera	Tiempos de atención
T1 Tiempo entre llegada y triage	T6 Tiempo requerido para la atención médica
T2 Tiempo entre el triage y la reanimación	T7 Tiempo requerido para la reanimación
T3 Tiempo entre el triage y el registro	T8 Tiempo requerido para la facturación
T4 Tiempo desde el registro hasta atención médica	
T5 Tiempo desde la atención médica hasta la facturación	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 8**  
**Datos de salida simulados vs datos reales. Caso II**

	Media*	Desviación estándar*	Valor real*
T1	1,7	1,1	2,8
T2	2,1	0,5	3,5
T3	7,1	1,4	8,0
T4	66,7	24,8	72,0
T5	4,9	1,7	6,4
T6	32,1	5,6	25,0
T7	12,0	4,5	14,2
T8	2,4	0,8	3,0

\*Unidades de tiempo en minutos

Fuente: Elaboración propia

Los valores de salida obtenidos y los reales no presentan diferencias estadísticamente significativas, por lo tanto, se considera el modelo representativo del sistema real y útil para la toma de decisiones.

De acuerdo con los tiempos simulados y el flujo de pacientes en el sistema, se considera de especial interés el análisis de los tiempos T4, toda vez que este constituye la proporción más grande de tiempo en el sistema. El tiempo de espera para la atención médica T4 depende directamente de la clasificación dada en el triage.

Teniendo en cuenta la problemática de atención según triage antes expuesta, se ha considerado como escenario alternativo hacer una distribución de los recursos de médicos de acuerdo al porcentaje de pacientes de cada triage, de tal forma que el triage con mayor demanda tenga una mayor asignación de médicos. Así las cosas, la alternativa es asignar de los siete médicos del turno del día, cuatro para atender los pacientes con triage dos, dos para atender el triage tres y uno para el triage uno; y de los dos médicos del turno de la noche uno para el triage dos y uno para los triages uno y tres.

La alternativa fue simulada en cinco réplicas, cada una equivalente a un día de 24 horas y se calcularon, como parámetros de control adicional, el tiempo total en el sistema-TS, el porcentaje de ocupación de los médicos (según su asignación por triage) y el promedio de pacientes en espera para atención médica. Los resultados de la alternativa simulada son presentados en la Tabla 9.

**Tabla 9**  
**Comparación de resultados de alternativas vs datos reales. Caso II**

	Alternativa	Datos reales
T4	63,1	72,0
TS	102,5	107,8
Porcentaje de ocupación Med-Triage1	97,6 %	88,4 %
Porcentaje de ocupación Med-Triage2	78,2 %	88,4 %
Porcentaje de ocupación Med-Triage3	67,4 %	88,4 %
Promedio de pacientes en espera para atención	10	11

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Tabla 9, la alternativa propuesta presenta una leve mejora en los tiempos, tanto de espera para la atención médica, como el tiempo total de permanencia del paciente en el sistema y en el promedio del número de pacientes en la espera para atención médica; así mismo, se observa una distribución de los tiempos de ocupación de los médicos, siendo notable la sobrecarga dada al médico para triage uno y el ocio dado al médico para triage tres. Si bien, esta alternativa mejora el desempeño general del sistema, dicha mejora no es representativa, y va en detrimento del bienestar del personal humano disponible, en este caso los médicos, toda vez que, mientras unos son sobrecargados, otros tienen tiempo de ocio, razón por la cual no se considera deba ser asumida.

### **3.3 Caso III: unidad de urgencias CSE del Hospital de Suba - Bogotá**

El Hospital de Suba (ESE Suba) es una Empresa Social del Estado de segundo nivel, prestadora de servicios de salud de baja, mediana y alta complejidad ubicada en la localidad de Suba. Por ser una empresa del Estado atiende pacientes del Sistema de Identificación de Potenciales Beneficiarios de Programas Sociales (SISBEN). El servicio de Urgencias es atendido 24 horas al día en cuatro centros, el más completo, y al que hace referencia este caso es el Centro de Servicios Especializados (CSE).



El CSE dispone de cinco consultorios para el diagnóstico médico de los pacientes, dos de los cuales son para atención de adultos, dos de atención pediátrica y sala de procedimientos, dos taquillas de registro y cubículo de triage.

El proceso general de atención de pacientes en el CSE de urgencias del Hospital de Suba coincide con los procesos descritos en el diagrama presentado en la Figura 2, donde la atención médica es diferenciada en adultos, pediátrico y especializado; este último cuando requiere la realización de algún procedimiento.

Debido a los largos tiempos de espera y la saturación del sistema se hace necesario proponer alternativas de mejora en el desempeño. El tiempo de espera está asociado a tres factores críticos: clasificación dada en el triage (de uno a cinco), la disponibilidad de médicos/consultorios para la atención y si es población adulta, infantil o requiere algún procedimiento especializado. Todos estos factores son preocupantes y se enlazan, toda vez que el 60 % de los pacientes que ingresan al CSE son clasificados en triage uno y dos, los cuales, según políticas de servicio de la institución deben ser atendidos de forma inmediata en el triage uno y en menos de 30 minutos en el triage dos, no obstante, dicha promesa de servicio no se cumple al no tener suficientes médicos/consultorios para atender a los pacientes que ingresan en tales condiciones. Además, la congestión de pacientes que requieren atención inmediata y prioritaria (triage uno y dos) y no puede ser solventada, y lleva a una saturación del sistema, al retrasar la atención de los demás pacientes con triage diferente. Así mismo, en CSE solo se dispone de dos consultorios para adultos, dos para población infantil y uno para procedimientos especializados, donde el porcentaje de llegada de pacientes es del 35 %, 55 % y 15 %, respectivamente.

Esto evidencia la necesidad de proponer soluciones a las problemáticas, lo cual se hace a través de la evaluación de dos escenarios alternativos, uno orientado a incrementar el número de médicos y consultorios disponibles y otro con una atención especializada en casos de mayor probabilidad.

La recolección de datos fue tomada durante cuatro semanas (de lunes a viernes) en horarios de 6:00 de la mañana a 7:00 de la noche; el ajuste de la distribución estadística de los datos es presentado en la Tabla 10.

**Tabla 10**  
***Funciones de distribución ajustadas. Caso III***

Actividades de proceso*	
Llegada de pacientes	EXP (11)
Registro	TRIA (4, 6, 9)
Triage	TRIA (3, 8, 13)
Atención médica	TRIA (21, 25, 38)

\*Todas las unidades de tiempo son medidas en minutos

Fuente: Elaboración propia

Con base en el proceso general y haciendo uso de las respectivas funciones de distribución ajustadas a los datos reales, se construyó en *Simul8* un modelo computacional del sistema y se realizaron 10 réplicas de la simulación para su verificación y validación.

**Tabla 11**  
***Datos de salida simulados vs datos reales. Caso III***

	Media*	Desviación estándar*	Valor real*
T1	1,7	0,6	1,9
T2	4,5	0,5	5,4
T3	177,8	27,6	184,0
T4	26,1	7,8	35,0

\*Unidades de tiempo en minutos

Fuente: Elaboración propia

La validación de las salidas del sistema se realizó con la configuración de tiempos presentada en la Tabla 2; los valores de salida simulados y reales son presentados en la Tabla 11.

Un análisis de los resultados presentados en la Tabla 11 muestra que los valores reales no difieren en mayor medida de los obtenidos con la simulación, por lo tanto, el modelo puede ser considerado representativo del comportamiento del sistema real. Bajo dicha premisa, y con el objetivo de mejorar el desempeño del sistema, se observa, al igual que en casos anteriores, que el problema más evidente se presenta en el tiempo de espera para la atención médica, toda vez que es allí donde se consume la mayor parte del tiempo de permanencia del paciente en el sistema. Tal conclusión es coherente con la problemática expuesta.

Como escenarios alternativos se consideran los siguientes:

Primera alternativa: incrementar el número de médicos y consultorios de cinco a seis. La distribución física del CSE de urgencias del Hospital de Suba está dada para que cada médico atienda en un consultorio, por tanto, se requiere un incremento igual en cada recurso.

Segunda alternativa: distribución de los recursos de médicos y consultorios según porcentaje de pacientes de cada triage y alternancia entre consultorios. Esta alternativa se refiere a asignar, de los cinco médicos disponibles, tres que atiendan solo pacientes con triage uno y dos, y los otros dos los restantes triages. Al mismo tiempo, que no haya distinción entre los consultorios; es decir, que haya una alternancia entre los consultorios de adultos e infantil dada por la clasificación del triage, más que por la disponibilidad de consultorio, permitiendo de esa forma que pacientes

adultos pueden ser atendidos en consultorio infantil y viceversa (cuatro consultorios de carácter general).

Cada alternativa fue simulada en cinco réplicas cada una equivalente a un día de 6:00 de la mañana a 7:00 de la noche y se calcularon, como parámetros de control adicional, el porcentaje de ocupación de los médicos (según su asignación por triage), el porcentaje de consultorios inactivos y el promedio de pacientes en espera para atención médica. Los resultados de cada alternativa simulada son presentados en la Tabla 12.

**Tabla 12**  
**Comparación de resultados de alternativas vs datos reales. Caso III**

	Alternativa 1	Alternativa 2	Datos Reales
T3	159.3	173.2	184.0
Porcentaje de ocupación Med-Triage 1 y 2	84,2 %	94,5 %	91,5 %
Porcentaje de ocupación Med-Triage 3, 4 y 5	84,2 %	89,2 %	91,5 %
Porcentaje de cubículos inactivos	7,4 %	2,7 %	10,3 %
Promedio de pacientes en cola de atención	9	18	26

Fuente: Elaboración propia

Un análisis de los resultados presentados en la Tabla 12 manifiesta los siguientes hechos:

La alternativa 1 presenta mejoras representativas en el tiempo de espera para la atención médica, la cual a su vez produce mejoras sustanciales en el promedio del número de pacientes en la cola de atención; sin embargo, esta alternativa es económicamente más costosa, toda vez que requiere una inversión en persona e infraestructura física.

La alternativa 2 es interesante al tener una mejor utilización de los recursos físicos disponibles, traducido en una reducción de la inactividad de los consultorios y a su vez una leve mejora en los

tiempos de espera para la atención médica y en el promedio del número de pacientes en la espera para atención médica.

La alternativa 2 presenta una distribución equitativa de los tiempos de ocupación de los médicos, dando poco tiempo de ocio, lo cual va en detrimento del bienestar del personal humano disponible, en este caso los médicos.

La alternativa 1 presenta una mejoría en la utilización de los recursos físicos al reducir el porcentaje de consultorios inactivos.

La mejora sustancial en el tiempo de espera y la calidad del servicio (menos pacientes en cola) presentada por la alternativa 1 justifica la inversión económica requerida para su implementación; por lo tanto, resulta ser la alternativa recomendada.

#### 4. CONCLUSIONES

Gran parte de los problemas presentes en el sector salud a nivel estratégico como operacional, son problemas análogos a varios 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. Por esta razón la gestión de sistemas de salud está adoptando esquemas de la ingeniería industrial dentro de sus modelos de planeación, ajustándolos al contexto propio de tales servicios.

La prioridad de la investigación en sistemas de atención de urgencias en salud es por lo tanto enfocada en resolver problemas relacionados con el ineficiente flujo de pacientes debido a la falta de capacidad en la atención y la inadecuada distribución

de recursos de personal y físicos, lo cual conduce a elevados tiempos de espera en la atención y a la saturación del sistema.

La simulación de eventos discretos se ha aplicado para estudiar problemas como: elevados tiempos de espera para la atención de pacientes; optimización en los tiempos de atención médica; mejora en el rendimiento de los procesos asistenciales; evaluación de la capacidad de los servicios de Urgencias en comparación con la demanda; disminución en la saturación de los servicios, y evaluación en 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.

Ahora bien, a menudo la eficiencia en el flujo de pacientes urgentes depende de procesos externos como planificación de la gestión hospitalaria general, y si este flujo no es eficiente, se alargan las estancias hospitalarias y ello induce la saturación del servicio. Así mismo, el servicio de urgencias necesita de otros servicios auxiliares del hospital como ayudas diagnósticas, laboratorio clínico, farmacia, lo cual, a su vez, afecta directamente el proceso de atención de los pacientes. Por tal razón, 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 este trabajo se modelaron, analizaron y evaluaron alternativas de solución a tres casos reales de sistemas de urgencias de salud mediante el uso de la simulación discreta. El objetivo de cada caso fue dependiente de la problemática encontrada y las características particulares del sistema, siendo en unos casos la reducción en tiempos de atención, y en otros la mejora en el rendimiento

del sistema o en procesos puntuales como disponibilidad de recursos físicos. En todas las alternativas propuestas se presentaron mejoras desde diferentes aspectos, las cuales fueron, así mismo, analizadas. Los diferentes casos permitieron evidenciar que la aplicación de simulación discreta 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, así como una mejor distribución de los recursos.

Si bien el enfoque de este trabajo es de tipo reactivo, no se desconoce la necesidad de estudios que evalúen el impacto de las políticas de salud en la demanda de los servicios de urgencias, donde se pueda hacer análisis de diferentes escenarios y plantear incluso trabajos enfocados a evaluar la demanda de los servicios de urgencias.

Como estudios futuros se plantea la necesidad de uno que evalúe el problema con un enfoque sistémico, donde se empiece por entender las entradas del sistema. Tener en cuenta 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 y disponibilidad de camas y recursos del propio servicio de urgencias, los tiempos de los servicios auxiliares y soportes al sistema como ayudas diagnósticas y laboratorios clínicos, y los tiempos de observación del paciente, ya que aunque algunas de 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.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed, M. A. & Alkhamis, T. M. (2009). Simulation optimization for an emergency department healthcare unit in Kuwait. *European Journal of Operational Research*, 198(3), 936-942. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.10.025>
- Al-Balushi, S., Sohal, A. S., Singh, P. J., Al Hajri, A., Al Farsi, Y. M. & Al Abri, R. (2014). Readiness factors for lean implementation in healthcare settings - a literature review. *Journal of Health Organization and Management*, 28(2), 135-53. <https://doi.org/10.1108/JHOM-04-2013-0083>
- Andersen, A. R., Nielsen, B. F. & Reinhardt, L. B. (2017). Optimization of hospital ward resources with patient relocation using Markov chain modeling. *European Journal of Operational Research*, 260(3), 1152-1163. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.01.026>
- Arbós, L. (2012). *Logística: gestión de la cadena de suministros*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos.
- Balcázar, D., López, C. & Adarme, W. (2016). Strategic guidelines for supply chain coordination in healthcare and a mathematical model as a proposed mechanism for the measurement of coordination effects. *Dyna*, 83, 204-212.
- Barnes, C. & Laughery, R. (1998). Advanced uses for microsaint simulation software. *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*, Washington, DC, december 13-16, IEEE: Piscataway, NJ, 271-274.
- Benneyan, J. (1997). An introduction to using computer simulation in healthcare: Patient wait case study. *Journal of the Society for Health Systems*, 5(3), 1-15.
- Burns, L. R. (2002). *The Health Care Value Chain: Producers, Purchasers, and Providers*. San Francisco, USA: Jossey-Bass.
- Caballos, F., Betancur Villegas, J. & Betancur Villegas, J. (2014). Simulación discreta aplicada a los Modelos de Atención en Salud.



- Investigación e Innovación en Ingenierías*, 2(2). DOI: 10.17081/invinno.2.2.2045
- Cannon, J. P., Doney, P. M., Mullen, M. R. & Petersen, K. J. (2010). Building long –term orientation in buyer– supplier relationships: The moderating role of culture. *Journal of Operations Management*, 28(6), 506-521. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2010.02.002>
- Chávez, J. & Torres, R. (2012). *Supply Chain Management*. Santiago de Chile, Chile: RIL Editores.
- Churilov, L., Fridriksdottir, A., Keshtkaran, M., Mosley, L., Flitman, A. & Dewey, H. M. (2013). Decision support in pre-hospital stroke care operations: A case of using simulation to improve eligibility of acute stroke patients for thrombolysis treatment. *Computers and Operations Research*, 40(9), 2208-2218. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2012.06.012>
- Cordero-García, E., Jiménez, F., León-Rodríguez, V. & Salazar-Valerio, K. (2012). Comunicación breve análisis de tiempos y movimientos en el proceso de contratación administrativa de medicamentos, en el Hospital México durante el año 2009. *Acta Médica Costarricense*, 54(1), 50-54.
- Cotta, R. M. M., Suárez-Varela, M. M., Llopis González, A., Cotta Filho, J. S., Real, E. R. & Ricós, J. A. D. (2001). La hospitalización domiciliaria: antecedentes, situación actual y perspectivas. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 10(1), 45-55. <https://doi.org/10.1590/S1020-49892001000700007>
- Darragh, A. R., Lavender, S., Polivka, B., Sommerich, C. M., Wills, C. E., Hittle, B. A., ... & Stredney, D. L. (2016). Gaming Simulation as Health and Safety Training for Home Health Care Workers. *Clinical Simulation in Nursing*, 12(8), 328-335. <https://doi.org/10.1016/j.ecns.2016.03.006>
- Day, M., Magnan, G. M. & Moeller, M. M. (2010). Evaluating the bases of supplier segmentation: A review and taxonomy. *Industrial Marketing Management*, 39(4), 625-639. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2009.06.001>

- De Vries, J. (2011). The shaping of inventory systems in health services: A stakeholder analysis. *International Journal of Production Economics*, 133(1), 60-69. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.10.029>
- De Vries, J. & Huijsman, R. (2011). Supply chain management in health services: an overview. *Supply Chain Management-an International Journal*, 16(3), 159-165. <https://doi.org/10.1108/13598541111127146>
- Fernando, A., Attoe, C., Jaye, P., Cross, S., Pathan, J. & Wessely, S. (2017). Improving Interprofessional Approaches to Physical and Psychiatric Comorbidities Through Simulation. *Clinical Simulation in Nursing*, 13(4), 186-193. <https://doi.org/10.1016/j.ecns.2016.12.004>
- García, R. G. C., Valdivieso, S. T., Margarita, B., Vallejo, R., Fernando, H. & Silva, C. (2009). Creación de valor en la cadena de abastecimiento del sector salud en Colombia. *Cuadernos de Administración*, 22(39), 235-256.
- Giannakis, M. & Croom, S. R. (2004). Toward the Development of a Supply Chain Management Paradigm: A Conceptual Framework. *The Journal of Supply Chain Management*, 40(2), 27-37. <https://doi.org/http://doi.org/10.1111/j.1745-493X.2004.tb00167.x>
- Gruise, V. & Wiig, S. (2016). Preparing for Organizational Change in Home Health Care With Simulation-Based Training. *Clinical Simulation in Nursing*, 12(11), 496-503. <https://doi.org/10.1016/j.ecns.2016.07.011>
- Gutiérrez Rodríguez, C. A., Almeida, R. A. & Romero Palacios, W. E. (2017). Diseño de un modelo de migración a cloud computing para entidades públicas de salud. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 6(1), 10-26.
- Herazo, B. (2010). Algunos problemas de la salud en Colombia. *Universitas Odontologica*, 29(63), 37-39.
- Jagtenberg, C. J., Van den Berg, P. L. & Van der Mei, R. D. (2016). Benchmarking online dispatch algorithms for Emergency Medical Services. *European Journal of Operational Research*, 258(2), 715-725. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.08.061>
- Komashie, A. & Mousavi, A. (2005). Modeling emergency departments

- using discrete event simulation techniques. *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference, IEEE*: Piscataway, NJ, 2681-2685.
- Lee, S. M., Lee, D. & Schniederjans, M. J. (2011). Supply chain innovation and organizational performance in the healthcare industry. *International Journal of Operations & Production Management*, 31(11), 1193-1214. <https://doi.org/10.1108/01443571111178493>
- Little, J. & Coughlan, B. (2008). Optimal inventory policy within hospital space constraints. *Health Care Management Science*, 11(2), 177-183. <https://doi.org/10.1007/s10729-008-9066-7>
- Lummus, R. R. & Vokurka, R. J. (1999). Defining supply chain management: a historical perspective and practical guidelines. *Industrial Management & Data Systems*, 99(1), 11-17.
- McCormack, R. & Coates, G. (2015). A simulation model to enable the optimization of ambulance fleet allocation and base station location for increased patient survival. *European Journal of Operational Research*, 247(1), 294-309. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.05.040>
- McKone-Sweet, K. E., Hamilton, P. & Willis, S. B. (2005). The Ailing Healthcare Supply Chain: A Prescription for Change. *Journal of Supply Chain Management*, 41(1), 4-17. <https://doi.org/http://doi.org/10.1111/j.1745-493X.2005.tb00180.x>
- Mentzer, J. T., Keebler, J. S., Nix, N. W., Smith, C. D., & Zacharia, Z. G. (2001). Defining Supply Chain Management. *Journal of Business Logistics*, 22(2), 1-25. <https://doi.org/http://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2001.tb00001.x>
- Mettler, T. & Rohner, P. (2009). E-Procurement in Hospital Pharmacies: An Exploratory Multi-Case Study from Switzerland. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, 4(1), 23-38. <https://doi.org/10.4067/S0718-18762009000100004>
- Monks, T., Pearson, M., Pitt, M., Stein, K. & James, M. A. (2015). Evaluating the impact of a simulation study in emergency stroke care. *Operations Research for Health Care*, 6, 40-49. <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2015.09.002>

- Moreno-Chaustre, J., Andrade, H., García, J., Hernández, U., Maestre, G. & López, G. (2014). Modelo de evaluación para valorar el cambio en las prácticas docentes con TIC. *Revista UIS Ingenierías*, 13(1), 7-22.
- Neyshabouri, S. & Berg, B. (2016). Two-Stage Robust Optimization Approach to Elective Surgery and Downstream Capacity Planning. *European Journal of Operational Research*, 260(1), 21-40. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.11.043>
- Nicholson, L., Vakharia, A. J., & Selcuk Erenguc, S. (2004). Outsourcing inventory management decisions in healthcare: Models and application. *European Journal of Operational Research*, 154(1), 271-290. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00700-2](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00700-2)
- Niyirora, J. & Zhuang, J. (2017). Fluid approximations and control of queues in emergency departments. *European Journal of Operational Research*, 261(3), 1110-1124. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.03.013>
- Pan, Z. X. & Pokharel, S. (2007). Logistics in hospitals: a case study of some Singapore hospitals. *Leadership in Health Services*, 20(3), 195-207. <https://doi.org/10.1108/17511870710764041>
- Pedroso, M. C. & Nakano, D. (2009). Knowledge and information flows in supply chains: A study on pharmaceutical companies. *International Journal of Production Economics*, 122(1), 376-384. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.06.012>
- Pitta, D. A. & Laric, M. V. (2004). Value chains in health care. *Journal of Consumer Marketing*, 21(7), 451-464. <https://doi.org/10.1108/07363760410568671>
- Quintens, L., Pauwels, P. & Matthyssens, P. (2006). Global purchasing strategy: Conceptualization and measurement. *Industrial Marketing Management*, 35(7), 881-891. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2006.05.009>
- Ramasesh, R. V. (1990). Procurement under uncertain supply lead times -A dual- sourcing technique could save costs, *Engineering costs and production economics*, 21(1), 59-68.

- Robinson, S., Radnor, Z. J., Burgess, N. & Worthington, C. (2012). SimLean: Utilising simulation in the implementation of lean in healthcare. *European Journal of Operational Research*, 219(1), 188-197. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.12.029>
- Roseira, C., Brito, C. & Henneberg, S. C. (2010). Managing interdependencies in supplier networks. *Industrial Marketing Management*, 39(6), 925-935. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2010.06.012>
- Ruohonen, T., Neittaanmäki, P. & Teittinen, J. (2006). Simulation model for improving the operation of the emergency department of special health care. *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference, IEEE: Piscataway, NJ*, 453-458.
- Samaha, S., Armel, W. & Starks, D. (2003). The use of simulation to reduce the length of stay in an emergency department. *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference, IEEE: Piscataway, NJ*, 1907-1911.
- Samuel, C., Gonapa, K., Chaudhary, P. K. & Mishra, A. (2010). Supply chain dynamics in healthcare services. *International Journal of Health Care Quality Assurance*, 23(7), 631-642. <https://doi.org/10.1108/09526861011071562>
- Sánchez-Sánchez, P., Ceballos, F., & Sánchez, G. (2015). Análisis del proceso productivo de una empresa de confecciones: Modelación y Simulación. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(2), 137-150. <http://dx.doi.org/10.18359/rcin.1436>
- Saunders, C., Makens, P. & Leblanc, L. (1989). Modeling emergency department operations using advanced computer simulation systems. *Annals of Emergency Medicine*, 18(2), 134-140.
- Süer, G., Subramanian, A., & Huang, J. (2009). Heuristic procedures and mathematical models for cell loading and scheduling in a shoe manufacturing company. *Computers & Industrial Engineering*, 56(2), 462-475.
- Uzun Jacobson, E., Bayer, S., Barlow, J., Dennis, M. & MacLeod, M. J. (2015). The scope for improvement in hyper-acute stroke care in

- Scotland. *Operations Research for Health Care*, 6, 50-60. <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2015.09.003>
- Vargas-Lorenzo, I., Vázquez-Navarrete, M. L. & Mogollón-Pérez, A. S. (2010). Acceso a la atención en salud en Colombia. *Revista de Salud Pública*, 12(5) 701-712.
- Virolainen, V. M. (1998). A survey of procurement strategy development in industrial companies. *International Journal of Production Economics*, 56, 677-688.
- Yeniyurt, S., Henke, J. W. & Cavusgil, E. (2012). Integrating global and local procurement for superior supplier working relations. *International Business Review*, 22(2), 351-362. <https://doi.org/10.1016/j.ibusrev.2012.06.004>

---

**Cómo citar este capítulo:**

Sánchez-Sánchez, P., García-González, J. R., Fajardo Toro, C. H., Pulido-Rojano, A. & Melamed-Varela, E. (2018). Simulación de sistemas de emergencia en salud. En: A. Pulido-Rojano, P. Sánchez-Sánchez & E. Melamed-Varela. (eds.). *Nuevas tendencias en investigación de operaciones y ciencias administrativas. Un enfoque desde estudios iberoamericanos*. (pp.165-210). Barranquilla, Colombia: Ediciones Universidad Simón Bolívar.