

Trabajo de grado en modalidad de aplicación

Diseño de un Modelo de Simulación de la Red de Urgencias Pública de Bogotá

Ricardo Andrés Gallo Cubillos^{a, c}, Juan Pablo Macías Arciniegas^{a, c}, Elkin Barreto Rojas^{a, c},

David Barrera^{b, c}, Ricardo Otero^{b, c}

^aEstudiante de Ingeniería Industrial

^bProfesor, Director del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Industrial

^cPontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

Resumen de diseño en Ingeniería

Currently, Bogotá has been declared in sanitary emergency due to the actual complications that the health system presents. One of the main concerns is the high congestion presented in the emergency rooms that belong to the public emergency rooms network. In order to address this situation, Bogotá's health department has proposed two modifications to the emergency network policies: the creation of priority care centers, in Spanish (CAPS), to care low complexity patients and the specialization of the different points that are providers of the service. Due to these two statements, this document proposes the design of a simulation model that describes the behavior of the emergency room's network in Bogotá, and allows the creation of diverse scenarios where the current situation could be handled in a different way to give a better attention to the patients, specifically by reducing the attention time.

The process consists on a preliminary investigation which is made to understand the current situation of the system through mathematical and statistical analysis of the data provided by the Health Department. After that, a research of different studies is done to understand how this simulation model has been made in other situations in order to select the proper tools than can be applied in this model. The model is structured according to the problem statement in order to provide a real solution. Then, the orientation of the system is done by a familiarization with the system by making three types of visits during different times. The first visit consists in a guided tour where the main goal is to highly understand the basic inputs and outputs of the system, the second visit is made to gather detailed information of the operation of the system where the following details are defined: The types of entities that are processed by the system, the number and type of queues, the number and type of system resources, the sequence of processes as experienced by the entities and how the system performance can be measured. Finally, there is a last visit where the information picked is reviewed to see its consistence. When the first two steps are done, it is time to establish the specific project objectives that will be the main guide to develop the project (2003). Once the model is done, it is very important to verify the logic of the model using ExperFit as the main tool, every observation needs to follow the logic established after the three visits are done.

The design requirements reached are the analytical representation of the public emergency network in Bogota and the development of possible scenarios analytically. The performance requirements reached by the development of the model are the measurement of the average waiting time of the patients in the actual and proposed scenario, the verification of the level of compliance in the waiting times of each patient according its triage number in the actual and proposed scenario and the measurement of the human resources occupation percentage in the network in order to determine the used of installed capacity. The model constraints are mainly that the needed times to develop the simulation model could not exist in a data base so it would be mandatory to sample the arrival and attention times, also when they send this data it could have typing errors or errors of the system, that's why the reliability of the data is lower.. Fortunately, the model does not present these kinds of constraints.

It is important to clarify that this model is not flexible enough to analyze the network's behavior under certain circumstances of unexpected variations of the demand. Also, it is possible to find data errors in case the main hospitals provide their databases. This model is delimited until the patient is treated, so it does not analyzes surgeries, exams or x-rays. Finally the computational capacity may restrict the proper development of the model due to the amount of interacting elements of the model.

The verifiable standards of the model are based on the book "Simulation Modeling Handbook: A Practical Approach"

of Christopher A. Chung, where a current practical guide is given, to follow a sequence of steps oriented to the good practices of simulations. The results of the implementation are shown in the description of the process, where the given steps are taken into account. In conclusion, the reliability of the information given and the proper application of technical skills have shown a real approach to the actual situation of the public network of emergency rooms in Bogotá, where the application of different scenarios allows to give a wider view of the possible solutions that the district can apply on behalf of the improvement of the actual process.

Key words: CAPS, door to doctor, simulation, health network, triage, SDS

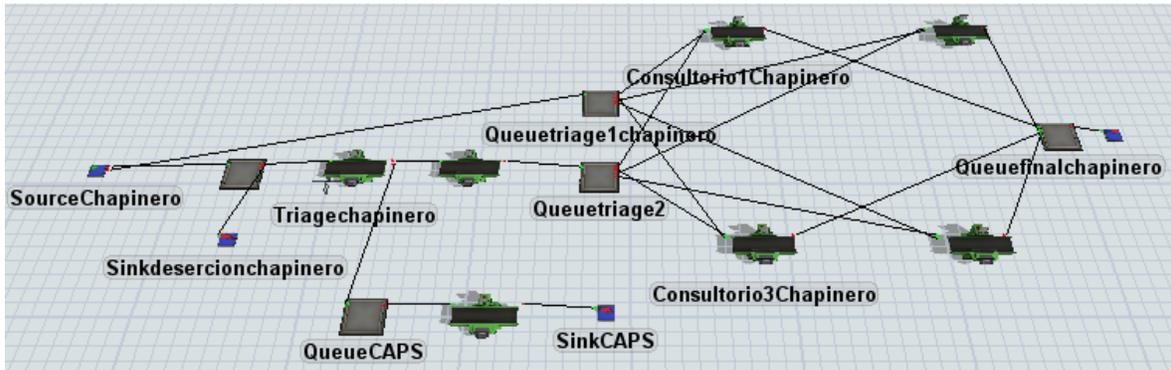


Figura 1. Modelo de simulación de uno de los 22 hospitales de la red 2017. Tomado de (Modelo de simulación)

1. Justificación y planteamiento del problema

De acuerdo al Informe de Calidad de Vida (2013), 6 de cada 10 encuestados afirmaron que a los bogotanos no se les garantiza el derecho a la salud. No obstante, según estadísticas de la Secretaría Distrital de Salud (SDS), en Bogotá hay 96 servicios habilitados para atender de forma inmediata a pacientes con eventual riesgo de muerte o secuela grave. A pesar de esto, la Personería de Bogotá (2012) registró que, en la Red Pública de clínicas y hospitales de la ciudad, hay una tasa de sobreocupación del 250%. Entre otras posibles causas, la Administración Distrital atribuye este fenómeno a un uso inadecuado de los denominados servicios de baja complejidad, es decir, aquellos casos en los que un individuo acude a un centro médico aduciendo una urgencia de atención inmediata cuando su dolencia puede ser atendida de manera progresiva. En consecuencia, la secretaria de salud lanzó una estrategia con la que busca concienciar a los bogotanos acerca del uso responsable de los servicios de salud. Con respecto a esto Paredes (2016) afirmó que:

Esta estrategia pretende que la comunidad haga un uso racional de los servicios de urgencias, y por tanto, se reduzca el abuso de estos. Se calcula que cerca del 40% de los servicios de alta complejidad reciben pacientes que no requieran estar en ese nivel y que podían estar en los Centros de Atención Prioritaria en Salud.

Los CAPS son Centros de Atención Prioritaria en Salud creados con el fin de descongestionar los servicios de urgencias de los hospitales pertenecientes a la red pública de Bogotá, prestando servicios de medicina general a pacientes que no presentan riesgo de muerte inminente. En Bogotá, se reportó una reducción del 30% en la tasa de sobreocupación en cuatro de los 22 centros hospitalarios de la ciudad durante el primer semestre (Redacción Bogotá, 2016). De acuerdo a la alcaldía, la reducción de estos cuatro centros obedece tanto a la declaratoria de emergencia sanitaria, como a la determinación del Concejo de Bogotá de aprobar la reestructuración de los 22 hospitales en cuatro redes. En este contexto, el plan actual del distrito es implementar 40 CAPS para descongestionar a mediano plazo la red pública de urgencias. 9 CAPS ya se encuentran en funcionamiento, distribuidos en las cuatro subredes de la ciudad de Bogotá: norte, sur, centro oriente y sur occidente. Cada uno de ellos cuenta con especialistas para atender a los pacientes clasificados con triage 4 y triage 5. De esta forma, se espera que los CAPS capturen una parte de los usuarios de baja complejidad que acuden al sistema de urgencias.

A mediados de agosto del año 2016 se realizó una reunión en la SDS, en la cual se compartió con los autores del presente proyecto el informe Consolidado I Semestre Emergencia Sanitaria (2016). En este se evidenció que, en el marco de la declaratoria de emergencia sanitaria, en los primeros seis meses del 2016 se logró una disminución del 171% en la ocupación de camillas en los servicios de urgencias de la Red pública. Del mismo modo, la red privada de salud presentó un promedio de 273% de ocupación, equivalente a 27 puntos frente a la línea base de 300% (Equipo Interdirecciones Secretaría de Salud, 2016). A pesar de ello, como conclusión del informe, se mencionó que aún hace falta cumplir con varios compromisos

adquiridos durante la declaratoria de emergencia sanitaria. En particular, se requiere disminuir a menos del 95% la ocupación semanal de los servicios de urgencias de los hospitales: Occidente de Kennedy, Meissen, Santa Clara y de las IPS privadas que presentan mayor sobreocupación.

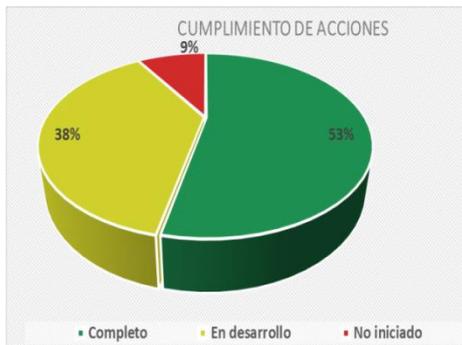


Figura 2. Cumplimiento Plan de Acción Emergencia Sanitaria corte julio 2016. Tomado de (Equipo interdirecciones secretaría de salud, 2016)

En resumen, se puede decir que el presente proyecto es relevante para que la SDS evalúe qué porcentaje de pacientes con urgencias no prioritarias debe ser desviado a los CAPS, con el fin de descongestionar las salas de urgencias y prestar un mejor servicio a los pacientes que requieran ser atendidos en el menor tiempo posible. Así mismo, se propone establecer la vida útil de la implementación de los CAPS de acuerdo al crecimiento demográfico que se espera para los próximos años en la ciudad de Bogotá. Finalmente, el modelo permite evaluar la capacidad instalada que deben tener los CAPS con el fin de poder mejorar el tiempo de atención en los mismos.

Según Shannon (1988), la simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a cabo experiencias con él, con la finalidad de aprender el comportamiento del sistema o de evaluar diversas estrategias para el funcionamiento de este. Al aplicar la simulación en la gestión de la red se espera que esta sea una herramienta clave para determinar: los hospitales que requieren de forma prioritaria la instalación de CAPS aledaños, la capacidad instalada necesaria que estos deben tener y la proyección en años requerida, de modo que se puedan instalar para que funcionen a largo plazo. Por lo tanto, este proyecto pretende responder la siguiente pregunta de investigación: *¿Cómo diseñar un modelo de simulación de la red de urgencias distrital de Bogotá que permita evaluar y analizar el impacto de diferentes políticas de asignación de recursos en el desempeño de la red?*

2. Antecedentes

Fletcher (2007) desarrolló un modelo de simulación de una red de urgencias, con el que analizó las principales barreras que impedían que el 98% de los pacientes fueran atendidos en un periodo de máximo 4 horas desde la entrada al servicio de urgencias. La metodología que se utilizó fue la simulación de eventos discretos, cuyo beneficio principal era la plena identificación de mejoras en el planteamiento de diferentes escenarios. Para esto se propuso modelar un sistema genérico de nivel medio, el cual hace que el comportamiento del sistema dependa más de las características propias de los pacientes que de los hospitales estudiados. Entre las conclusiones de la aplicación de dicho proyecto, se estableció: representación y habilidad de correr escenarios visual y analíticamente del departamento de emergencias del país, al igual que la ilustración del impacto de la variabilidad de los procesos y demandas del departamento de *emergencias*.

En el análisis realizado por Fletcher (2007) se determinó que la variabilidad de la demanda por grupos de pacientes se generó usando tiempos entre llegadas extraídos de una distribución exponencial negativa. En el caso del tiempo de proceso, la variabilidad fue tomada de estadísticas nacionales. De acuerdo a Chetouane, Barker y Viacaba (2011), el modelo se diseña de acuerdo a la variabilidad recurrente en la vida diaria de los pacientes, es decir, semanalmente. Para esto se desarrolló un modelo de dinámica de sistemas en los departamentos de accidentes y emergencias que generaba el tiempo del paciente en el sistema, la ocupación de los doctores y las camas. Komashie y Mousavi (2005) diseñaron un modelo detallado del departamento de accidentes y emergencias, el cual incluía una unidad de admisión médica. Este modelo permitió obtener estimaciones sobre el tiempo del paciente en el sistema.

De la misma manera, Anderson (2010) presentó un estudio en el cual, a través de la simulación de eventos discretos, se analizó la implementación de mejoras en el departamento de urgencias de la ciudad de Leominster, Massachusetts. Los principales problemas presentados fueron la falta de recursos y los largos tiempos de espera, lo que generó un aumento significativo en el flujo de pacientes. Tiempo después, se realizó un análisis de las filas presentadas en el sistema y se introdujo a la simulación, obteniendo como resultado el comportamiento de las llegadas de los pacientes según la hora, el

día y el mes. A partir del conocimiento de dicha información, se realizaron diferentes diseños de los hospitales adecuados a cada situación.

Por otro lado, Posada (2011) habló de las grandes problemáticas en la prestación del servicio de urgencias, identificando la gestión de personal, los excesivos tiempos de espera y la saturación de los sistemas, como los más críticos. Por otro lado, reconoció que la simulación de sistemas completos permite generar estrategias funcionales para las redes de urgencias. Sin embargo, en Bogotá e incluso en Colombia, no se han conducido exploraciones sistemáticas del uso de la técnica en problemas de red. Un porcentaje importante de investigaciones ha estado orientado al estudio de salas de cirugía particulares con niveles de modelamiento que permiten tomar decisiones operativas, en este campo se destacan autores como Garzón, Reina y Suárez (2015), que determinaron el efecto de modificar las duraciones esperadas de las cirugías en la programación de un servicio de cirugía en sus indicadores de desempeño.

Del mismo modo, Moreno y Sánchez (2012) presentaron un modelo de simulación que describe el procedimiento del área de urgencias y hospitalización del Centro de Atención Médica Inmediata (CAMI) Diana Turbay. Adicionalmente, ensayaron diferentes escenarios para evaluar la factibilidad en la reducción de tiempos de espera y número de personas en fila. Y finalmente, probaron diferentes alternativas de horarios y disposición de recursos de apoyo, con lo cual se mostró una reducción sustancial en los tiempos de atención y de espera de los pacientes.

Además, Vanegas (2007) encontró que la mayoría de consultas del departamento de urgencias no son urgencias inmediatas, y del total de consultas el 24.5% pueden ser atendidas por consulta externa. Simultáneamente, se establecieron alternativas de solución, tales como: mejoras en la distribución de la planta y reorganización en la asignación de turnos para pacientes con consultas externas, y reasignación de recursos bajo diferentes escenarios.

El constante crecimiento demográfico y la expansión territorial crea la necesidad de implementar modelos de prestación de servicios de salud con un panorama general de la ciudad de Bogotá, con el fin de cubrir la demanda de la población por el servicio. Esto obliga a realizar un análisis general de la red, entendiendo como red, una integración funcional autónoma entre los prestadores del servicio, para cumplir en conjunto con la función común (Lopez Sevillano & Aparicio Pico, 2015).

En resumen, el enfoque de los modelos de simulación en los sistemas de salud del mundo ha cambiado de lo particular a lo general. El principal reto técnico en la simulación de sistemas de salud se relaciona con la implementación, pero más con la generalidad de los modelos que se crean (H. Duncan, 2010). Es decir, los modelos de simulación deberían validar la mayoría de los componentes que conforman un sistema o red, en lugar de agentes independientemente como hospitales o salas de urgencias.

Brailsford (2007) postuló como uno de los principales retos del futuro la generalización de los modelos de simulación en los sistemas de salud del mundo. Premisa que, para países como el Reino Unido, Estados Unidos, España, Alemania, entre otras, ha sido cumplida. Sin embargo, para Colombia aún sigue siendo un reto.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, el presente trabajo determina un importante avance en los modelos de simulación en el sistema de salud colombiano, ya que transforma el enfoque particular de salas de urgencias independientes y asume una perspectiva general de la red de urgencias, en nuestro caso de estudio, la ciudad de Bogotá. Así mismo, responde a los continuos avances mundiales en sistemas de salud y a la reestructuración del sistema de salud capitalino.

3. Objetivos

Diseñar un modelo de simulación de la red de urgencias distrital de Bogotá, que permita evaluar y analizar el impacto de diferentes políticas de asignación de recursos en el desempeño de la red.

- Recolectar y analizar los tiempos entre llegada, espera *Door to doctor* y atención, del hospital más representativo de cada conglomerado.
- Diseñar el modelo de la simulación de la red de urgencias distrital de Bogotá.
- Analizar el impacto que tiene la implementación de los escenarios en el aprovechamiento de la capacidad instalada y el cumplimiento en los tiempos establecidos por cada triage, considerando el plan de descongestiónamiento distrital de la red de urgencias de Bogotá.

4. Metodología

Debido a que la SDS no presenta datos históricos del comportamiento de todos los hospitales de la red pública de Bogotá, se agruparon los veintidós hospitales en tres conglomerados. Posteriormente, de cada conglomerado se seleccionó un hospital representativo, siendo este el hospital con mayor cantidad y calidad en la información histórica disponible.

Luego del análisis exploratorio de las bases de datos de los hospitales seleccionados, se programaron visitas de campo en las cuales se recolectó la información requerida y se documentó la lógica del funcionamiento de las salas de urgencias. Los parámetros de la simulación fueron estimados mediante un análisis estadístico de dicha información.

A continuación, según la lógica observada en las visitas de campo, se modeló un hospital representativo con sus respectivos parámetros de entrada. A partir de la comparación entre los datos históricos recolectados y el comportamiento presentado en la simulación, se validó y posteriormente se replicó el modelo veintidós veces con el fin de representar toda la red, incluyendo los nueve CAPS que existen actualmente en Bogotá. Finalmente, se analizó el modelo bajo distintos escenarios, tales como: variación en el porcentaje de pacientes desviados a los CAPS, variación en la capacidad instalada en los CAPS y proyecciones en la demanda de pacientes.

Con el fin de representar la metodología aplicada, se realizó el siguiente diagrama de flujo que muestra los pasos de desarrollo.

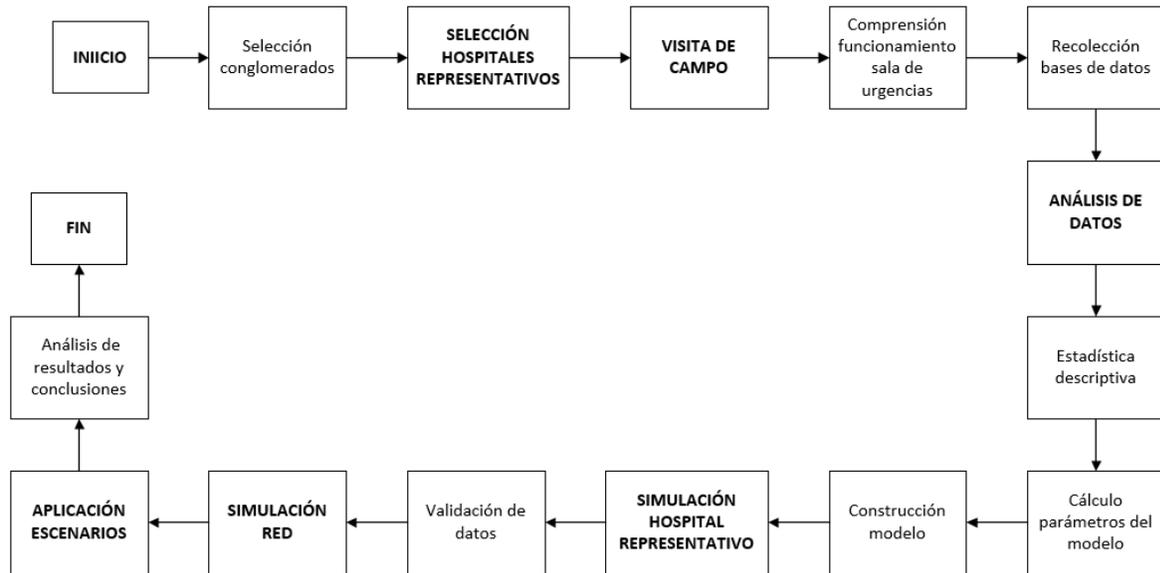


Figura 3. Diagrama de flujo metodología 2017. Elaboración propia.

a) Selección de hospitales representativos

Utilizando la información proporcionada por la SDS en la base de datos de producción de urgencias, se aplicó el algoritmo de *k-medias* para agrupar los veintidós hospitales en tres grandes conglomerados, teniendo en cuenta las siguientes variables de decisión: demanda (Número de pacientes atendidos por hospital) y capacidad instalada (Número de camillas por hospital). Dichos conglomerados, fueron validados por el equipo de la SDS conformado por: Consuelo Peña Aponte, Yaneth Cecilia Girón Bolívar, Yolanda Caicedo, Ángela Patricia Santos, Marbell Cuza, Solange Garcia, Adriana Lucia Afanador y Alix Solange. En la **Tabla 1** se presentan los conglomerados obtenidos.

Tabla 1
Conglomerados de hospitales

| # | Conglomerado 1 | Conglomerado 2 | Conglomerado 3 |
|---|-------------------------------|---------------------|-------------------------------|
| 1 | Hospital Pablo VI Bosa | Hospital Chapinero | Hospital Engativá |
| 2 | E.S.E Hospital Bosa. | Hospital Nazareth | Hospital Meissen |
| 3 | E.S.E Hospital Centro Oriente | San Cristobal | Hospital Occidente de Kennedy |
| 4 | Hospital del Sur | Hospital de Usaquén | Hospital Simón Bolívar |
| 5 | Hospital Fontibón | | Hospital de suba |
| 6 | Hospital la Victoria | | Hospital el Tunal |

| | | | |
|-------------------------------------|-----------------------------|----------|----------------------|
| 7 | Hospital Rafael Uribe Uribe | | Hospital Santa Clara |
| 8 | Hospital San Blas | | |
| 9 | Hospital Tunjuelito | | |
| 10 | Hospital de Usme | | |
| 11 | Hospital Vista Hermosa | | |
| Media Demanda Personas Anual | 204.457,5 | 45.281,8 | 414.699,9 |
| Desviación estándar | 35.786,0 | 28.277,7 | 94.490,7 |
| Media Numero de camillas | 118,6 | 33 | 244,1 |
| Desviación estándar | 40,6 | 19,8 | 86,9 |

Nota: Datos tomados de (Base de datos de producción SDS, 2016).

Después, en los conglomerados 1, 2 y 3, se seleccionaron los hospitales Pablo VI Bosa, Chapinero y Engativá, respectivamente. Para esta selección, junto con el equipo de la SDS se verificó que estos hospitales cumplieran con 2 requisitos: un sistema de digiturno sistematizado en toda la sala de urgencias y acceso a toda la información de las bases de datos. Por consiguiente, se minimizaron los sesgos y errores en el proceso de recolección de datos.

b) Visita de campo

Una vez seleccionados los hospitales representativos de cada conglomerado se realizó una visita de campo a estos, con el fin de comprender la lógica del funcionamiento de la sala de urgencias, y de esta manera, facilitar la realización del modelo de simulación. A continuación, se muestra un diagrama de entidades, donde se evidencia la relación entre los diferentes actores y lugares que interactúan en la red de urgencias de Bogotá.

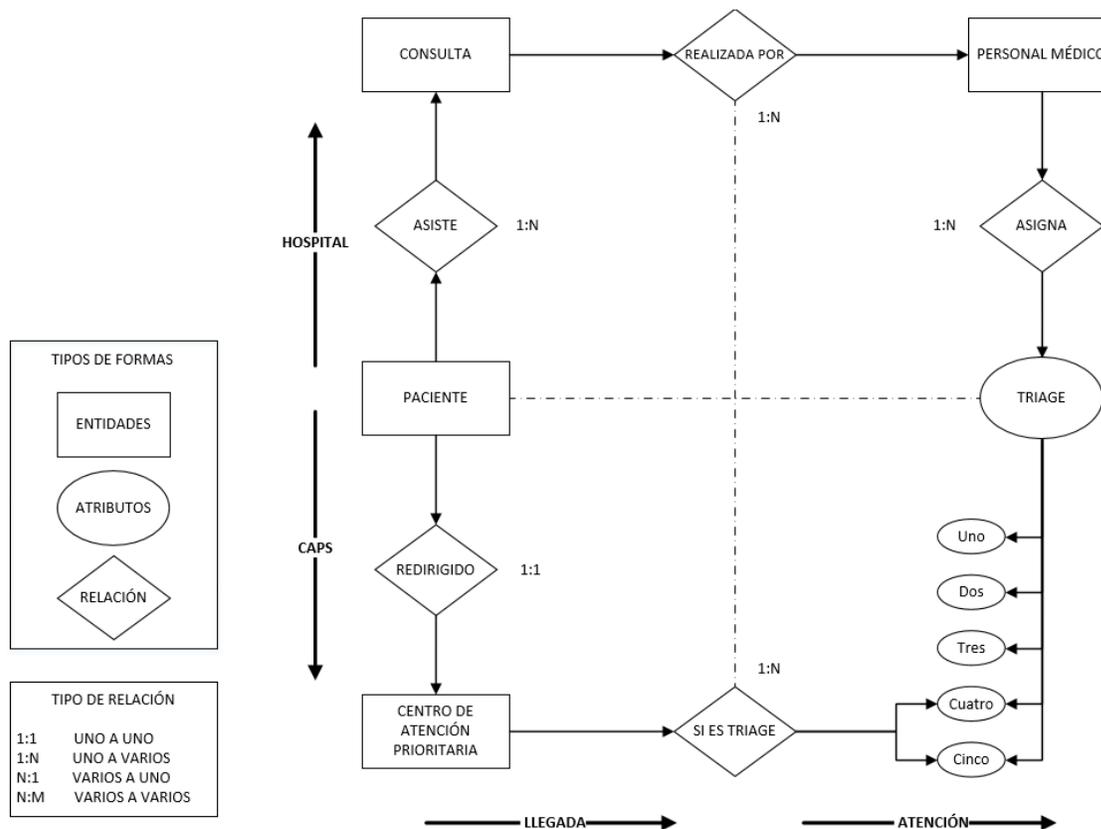


Figura 4. Diagrama de entidad-relación – Lógica funcionamiento sala de urgencias 2017. Elaboración propia.

En la figura 4, se ilustra la lógica del funcionamiento de las salas de urgencias en los hospitales de la red de urgencias de Bogotá, en el cual, se despliegan las interacciones que existen entre el paciente, personal médico, consultas y CAPS. Igualmente, especifica el tipo de relación entre cada uno de ellos.

c) Análisis de datos

Luego de la visita de campo, cada hospital representativo entregó una base de datos con más de 115.000 registros, entre los cuales, se obtuvieron los siguientes parámetros:

- Hora de llegada: es registrada por el sistema de digiturno cuando el paciente ingresa a la sala de urgencias y toma un turno para ser atendido.
- Hora de inicio de asignación de triage: el funcionario encargado de asignación de triage registra la hora cuando tiene el primer contacto con el paciente.
- Hora de finalización de asignación de triage: luego de la asignación del triage el funcionario encargado registra la hora de finalización.
- Hora de inicio de atención: el médico registra el tiempo de inicio de la consulta.
- Hora de finalización de consulta: el médico registra la hora de finalización de la consulta.
- Nivel de triage asignado a cada paciente: se asigna el nivel de triage según la siguiente escala de uno a cinco (Resolución N° 5596, 2015):
 - Triage 1: Debe ser atendido inmediatamente y la condición del paciente representa un riesgo vital.
 - Triage 2: La condición clínica del paciente, puede evolucionar hacia un rápido deterioro o a su muerte, o incrementar el riesgo para la pérdida de un miembro u órgano.
 - Triage 3: La condición clínica del paciente requiere de medidas diagnósticas y terapéuticas en urgencias.
 - Triage 4: El paciente presenta condiciones médicas que no comprometen su estado general, ni representan un riesgo evidente para la vida o pérdida de miembro u órgano.
 - Triage 5: El paciente presenta una condición clínica relacionada con problemas agudos o crónicos sin evidencia de deterioro que comprometa el estado general del paciente.
- Especialidad: Indica la especialidad de la urgencia.
- Deserción: Indica la cantidad de personas que salen del sistema antes de ser atendidos.

En correspondencia a los objetivos de este proyecto, el sistema de las salas de urgencias se delimitó desde la llegada de los pacientes hasta la finalización de la atención en consulta, sin tener en cuenta los procedimientos posteriores como: cirugías, tratamientos, operaciones, exámenes u otros. A partir de cálculos con los parámetros de las bases de datos, se obtuvieron las variables de entrada del sistema: tiempo entre llegadas, tiempo de asignación de triage, tiempo door to doctor, tiempo de atención y tiempo en el sistema.

Donde, Pacientes = I.

- Tiempo entre llegadas (i) = Hora de llegada (i) - Hora de llegada (i-1)
- Tiempo de asignación de triage (i) = Hora de finalización de asignación de triage (i) – Hora de inicio de asignación de triage (i).
- Tiempo door to doctor (i) = Hora de inicio de consulta (i) - Hora de llegada (i)
- Tiempo de atención en consulta (i) = Hora de finalización de consulta (i) - Hora de inicio de consulta (i)
- Tiempo en el sistema (i) = Hora de finalización de consulta (i) – Hora de llegada (i)

De las cuáles, las siguientes variables fueron utilizadas como parámetros de entrada en la construcción del modelo de simulación: tiempo entre llegadas, tiempo de asignación de triage y tiempo de atención en consulta. Para ello, se utilizaron diversos métodos para simplificar y hallar las distribuciones de probabilidad asociados a los datos.

En la variable de tiempo entre llegadas, inicialmente se agruparon los registros de cada paciente en tres intervalos de tiempo denominados franjas horarias, en las cuales asisten a los hospitales pacientes con características similares, según el concepto de expertos de la SDS. Después, se realizaron grupos que contenían franjas horarias con comportamientos de datos similares, y finalmente, se realizaron pruebas de bondad y ajuste a cada grupo para determinar las distribuciones de probabilidad asociadas.

Tabla 2
Franjas Horarias

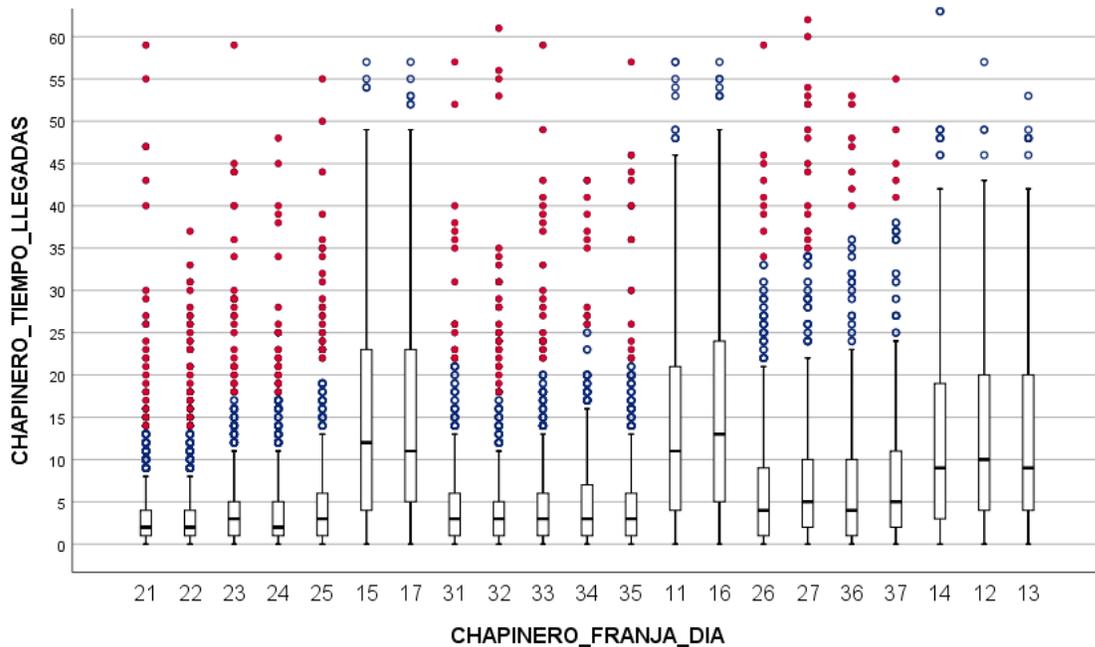
| Franja | Hora Inicio | Hora Fin |
|--------|-------------|----------|
|--------|-------------|----------|

| | | |
|---|-------------|-------------|
| 1 | 10:00 p. m. | 6:00 a. m. |
| 2 | 6:00 a. m. | 2:00 p. m. |
| 3 | 2:00 p. m. | 10:00 p. m. |

*Nota: Criterio de expertos del equipo de la SDS.
Elaboración propia.*

Luego de establecer las franjas horarias, se aplicó una prueba de rangos múltiples de Duncan para determinar cuáles franjas eran similares en la semana. Por ejemplo, la segunda franja horaria (6:00 pm a 2:00 pm) de los días lunes, martes, miércoles, jueves y viernes están comprendidas en el Grupo 1, debido a que las medias de sus tiempos entre llegadas oscilan entre 4 y 4,1 minutos aproximadamente. En seguida, se muestra el diagrama de cajas y bigotes del hospital de Chapinero, el cual se utilizó para verificar dichas agrupaciones.

De acuerdo a Chetouane, Barker y Viacaba (2011), el modelo se diseña de acuerdo a la variabilidad recurrente en la vida diaria de los pacientes, es decir, semanalmente. Para esto se desarrolló un modelo de dinámica de sistemas en los departamentos de accidentes y emergencias que generaba el tiempo del paciente en el sistema, la ocupación de los doctores y las camas. Komashie y Mousavi (2005) diseñaron un modelo detallado del departamento de accidentes y emergencias, el cual incluía una unidad de admisión médica. Este modelo permitió obtener estimaciones sobre el tiempo del paciente en el sistema.



*Figura 5. Cajas y Bigotes
2017. Elaboración propia.*

Para la notación de las franjas horarias en la Figura 5, el primer dígito hace referencia al intervalo de hora en el día, así; primera franja (10 p.m. – 6 a.m.), segunda (6 a.m. – 2 p.m.) y tercera (2 p.m. - 10 p.m.). De la misma manera, el segundo dígito hace referencia al día de la semana; lunes (1), martes (2), miércoles (3), jueves (4), viernes (5), sábado (6) y domingo (7). Por lo tanto, si por ejemplo se quiere hacer referencia a la franja del día lunes comprendida entre las 2 pm y las 10 pm, se representa con el número 31. Cabe aclarar, que en la figura 5 se ordenaron las franjas de los días según los grupos explicados a continuación.

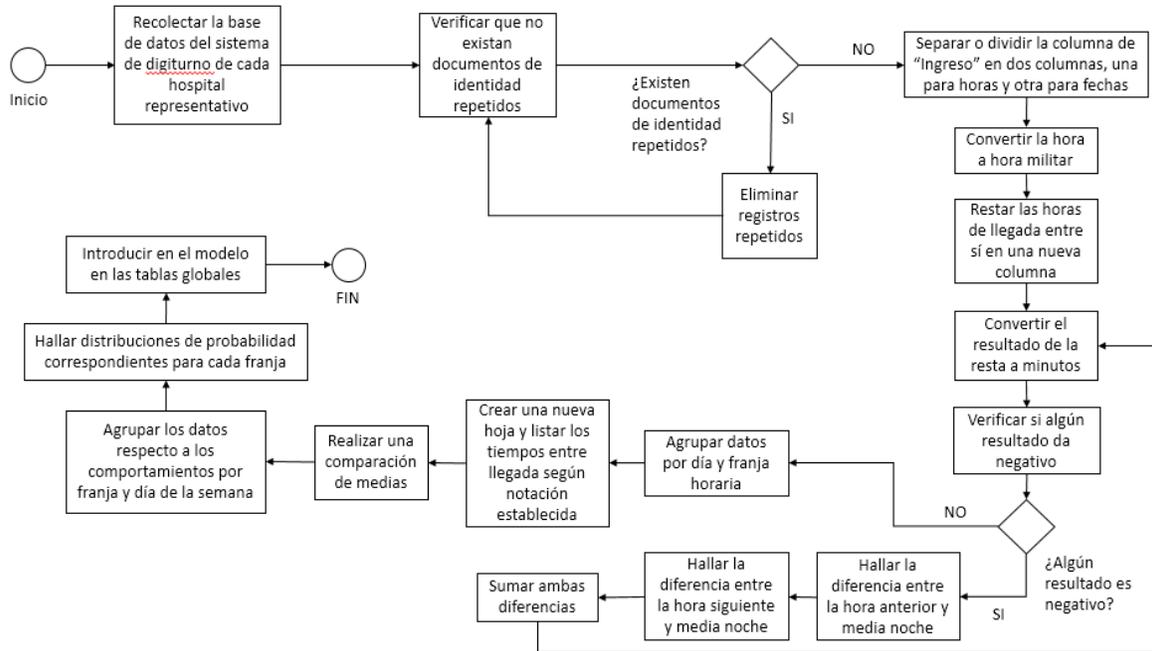


Figura 5.1. Flujo grama tratamiento de dataflujo 2017. Elaboración propia.

Tabla 3
Ejemplo Hospital de Chapinero

| FRANJA /DÍA | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes | Sábado | Domingo |
|--------------|---------------------------------|------------------------|-----------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 6 AM - 2 PM | GRUPO 7 (11,16) | GRUPO 5 (12,13) | | GRUPO 6 (14) | GRUPO 8 (15,17) | GRUPO 7 (11,16) | GRUPO 8 (15,17) |
| 2 PM - 10 PM | GRUPO 1 (21,22,23,24,25) | | | | | GRUPO 3 | GRUPO 4 |
| 10 PM - 6 AM | GRUPO 2 (31,32,33,34,35) | | | | | GRUPO 3 (26,36) | GRUPO 4 (27,37) |

Nota: Datos tomados de (Análisis de datos, 2017)
Elaboración propia.

En la **Tabla 3**, se extiende la información presentada en la Figura 5 y se especifica que franjas pertenecen a cada grupo. Por ejemplo, el grupo 7 está conformado por los días lunes y sábados, en el intervalo de tiempo de 6 am a 2 pm, es decir, las franjas 11 y 16.

Estos grupos fueron formados a partir de la estadística descriptiva de los registros de los tiempos entre llegada de cada hospital representativo. En la **Tabla 4**, se muestra el análisis descriptivo de cada grupo de franjas horarias.

Tabla 4
Estadística descriptiva Grupos Chapinero

| TIEMPOS ENTRE LLEGADAS | | | | | | | | |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | Grupo 1 | Grupo 2 | Grupo 3 | Grupo 4 | Grupo 5 | Grupo 6 | Grupo 7 | Grupo 8 |
| Media (Min) | 4,10 | 5,39 | 7,60 | 9,20 | 14,35 | 15,39 | 17,41 | 18,87 |
| Error típico | 0,06 | 0,110 | 0,29 | 0,36 | 0,70 | 1,77 | 0,89 | 1,21 |
| Mediana (Min) | 2,50 | 3,067 | 3,68 | 4,85 | 9,00 | 9,00 | 11,50 | 11,00 |
| Moda (Min) | 1,07 | 0,000 | 0,00 | 0,32 | 1,00 | 4,00 | 1,00 | 4,00 |
| Desviación estándar | 5,68 | 8,496 | 11,00 | 12,53 | 14,77 | 26,36 | 18,28 | 26,75 |
| Varianza de la muestra | 32,31 | 72,178 | 121,03 | 156,94 | 218,05 | 694,93 | 334,21 | 715,64 |
| Curtosis | 37,61 | 53,920 | 17,36 | 12,69 | 5,24 | 59,15 | 5,40 | 25,76 |

| | | | | | | | | |
|----------------------------|----------|-----------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|
| Coefficiente de asimetría | 4,67 | 5,835 | 3,51 | 3,08 | 2,00 | 6,86 | 2,05 | 4,26 |
| Rango (Min) | 99,45 | 131,550 | 98,51 | 107,65 | 87,00 | 253,27 | 106,00 | 243,18 |
| Mínimo (Min) | 0,00 | 0,000 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Máximo (Min) | 99,45 | 131,550 | 98,52 | 107,65 | 87,00 | 253,27 | 106,00 | 243,18 |
| Suma (Min) | 38635,23 | 32240,467 | 10833,07 | 11172,03 | 6312,67 | 3402,10 | 7418,00 | 9283,47 |
| Nivel de confianza (95,0%) | 0,12 | 0,215 | 0,57 | 0,71 | 1,38 | 3,50 | 1,74 | 2,37 |

Nota: Datos tomados de (Análisis de datos, 2017)
Elaboración propia.

Para cada grupo, a través de la prueba de bondad de ajuste de Komogorov-Smirnov, se determinó el comportamiento que siguen los tiempos entre llegadas mediante una distribución de probabilidad. En la figura 5, se expresan los resultados de la prueba aplicada a los registros de tiempos entre llegadas del grupo 7, conformada por las franjas horarias 11 y 16.

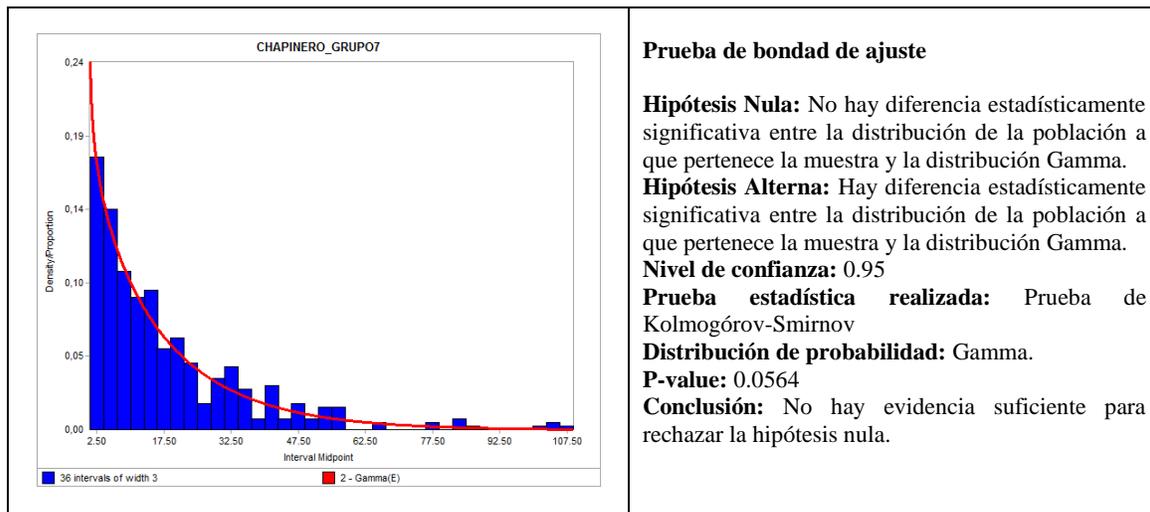


Figura 6. Diagrama de densidad -Histograma –Grupo 7 Hospital de Chapinero 2017. Elaboración propia.

En la figura 6, se puede observar que los tiempos entre llegadas del grupo 7 siguen una función de probabilidad Gamma, con un p-value asociado a la prueba de hipótesis de la distribución de 0,0564. Es decir, luego de comparar con más de 25 distribuciones de probabilidad, la función de probabilidad Gamma tiene menores diferencias estadísticas con los datos de la muestra analizada, todas las pruebas aplicadas por cada hospital se encuentran en el Anexo 4.

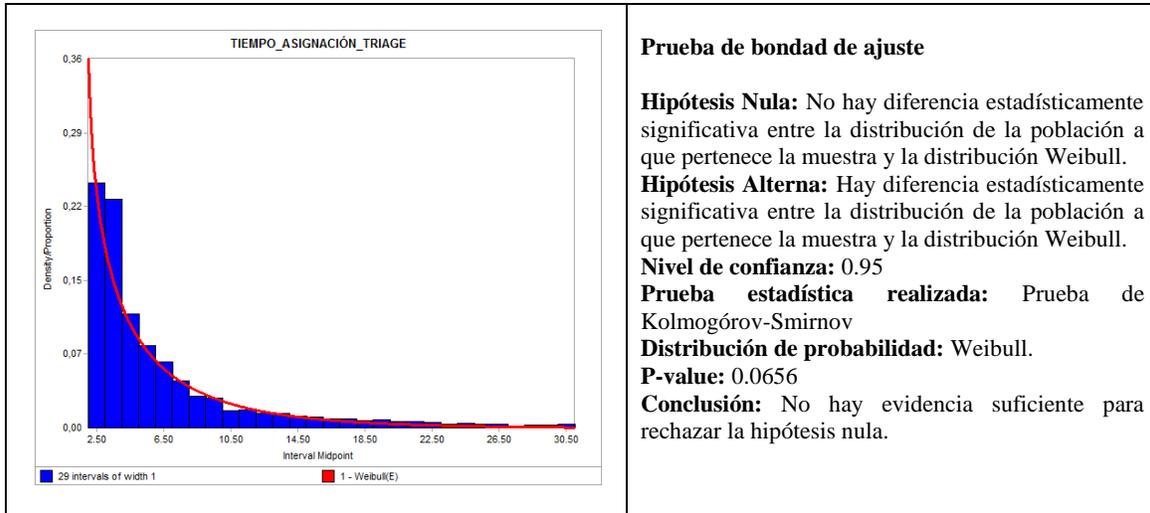
Por otro lado, en la variable de tiempo de asignación de triage, inicialmente se determinó la proporción de pacientes que eran asignados por cada nivel de triage, según la información de las bases de datos y como se sintetiza en la **Tabla 5**.

Tabla 5
Proporciones históricas de pacientes por triage

| Triage | Proporción de pacientes |
|--------|-------------------------|
| 1 | 0,60% |
| 2 | 36,32% |
| 3 | 44,64% |
| 4 | 17,77% |
| 5 | 0,67% |

Nota: Datos tomados de (Base de datos de producción SDS, 2016)

A la par, se aplicó una prueba de rangos múltiples de Duncan, en donde se concluyó que los tiempos de asignación de triage no dependen de la franja horaria, día y hospital. En este sentido, se realizó solo una prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov para toda la red de urgencias, obteniendo los siguientes resultados.



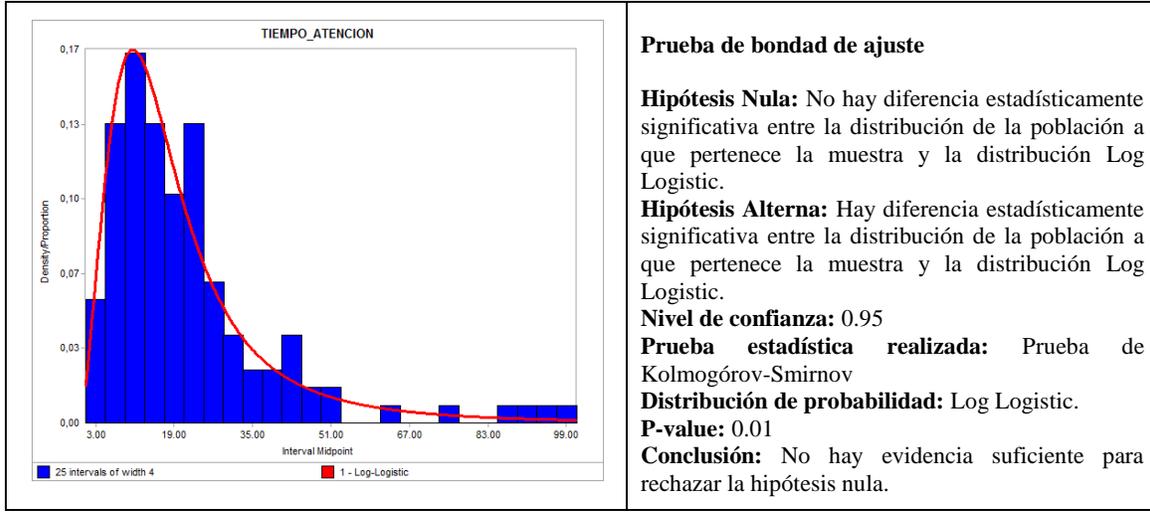
Prueba de bondad de ajuste

Hipótesis Nula: No hay diferencia estadísticamente significativa entre la distribución de la población a que pertenece la muestra y la distribución Weibull.
Hipótesis Alternativa: Hay diferencia estadísticamente significativa entre la distribución de la población a que pertenece la muestra y la distribución Weibull.
Nivel de confianza: 0.95
Prueba estadística realizada: Prueba de Kolmogórov-Smirnov
Distribución de probabilidad: Weibull.
P-value: 0.0656
Conclusión: No hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula.

Figura 7. Diagrama de densidad Histograma – Asignación de triage 2017. Elaboración propia.

En la figura 7, se observa que los tiempos de asignación de triage siguen una función de probabilidad Weibull, con un p-value asociado a la prueba de hipótesis de la distribución de 0,0656. Es decir, luego de comparar con más de 25 distribuciones de probabilidad, la función de probabilidad Weibull tiene las menores diferencias estadísticas con los datos de la muestra analizada.

En la variable de tiempos de atención de consulta, se realizó una prueba de múltiples rangos de Duncan, donde se determinó que las medias de los tiempos de atención no tienen diferencias significativas según nivel de triage de los pacientes, tipo de consulta o especialidad. También, se verificaron estas conclusiones con el equipo de expertos y lo estándares establecidos por la SDS.



Prueba de bondad de ajuste

Hipótesis Nula: No hay diferencia estadísticamente significativa entre la distribución de la población a que pertenece la muestra y la distribución Log Logistic.
Hipótesis Alternativa: Hay diferencia estadísticamente significativa entre la distribución de la población a que pertenece la muestra y la distribución Log Logistic.
Nivel de confianza: 0.95
Prueba estadística realizada: Prueba de Kolmogórov-Smirnov
Distribución de probabilidad: Log Logistic.
P-value: 0.01
Conclusión: No hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula.

Figura 8. Diagrama de densidad -Histograma – Tiempos de atención 2017. Elaboración propia.

En la figura 8, se observa que los tiempos de atención de consulta siguen una función de probabilidad Log Logistic, con un p-value asociado a la prueba de hipótesis de la distribución de 0,01. Es decir, luego de comparar con más de 25 distribuciones de probabilidad, la función de probabilidad Log Logistic tiene las menores diferencias estadísticas con los datos de la muestra analizada.

5. Componente de Diseño en ingeniería.

5.1. Declaración de Diseño:

Con base en la lógica de la sala de urgencias y las distribuciones de probabilidad encontradas, se construyó el modelo de simulación de la red de hospitales públicos de Bogotá, cuyo propósito principal es probar distintos escenarios que permitan sustentar decisiones para contribuir al descongestionamiento de las salas de urgencias de la red. La creación del modelo implicó una investigación detallada del comportamiento de los 3 hospitales representativos de cada conglomerado, que permitió representar y modelar la red completa de hospitales con sus respectivos CAPS asociados.

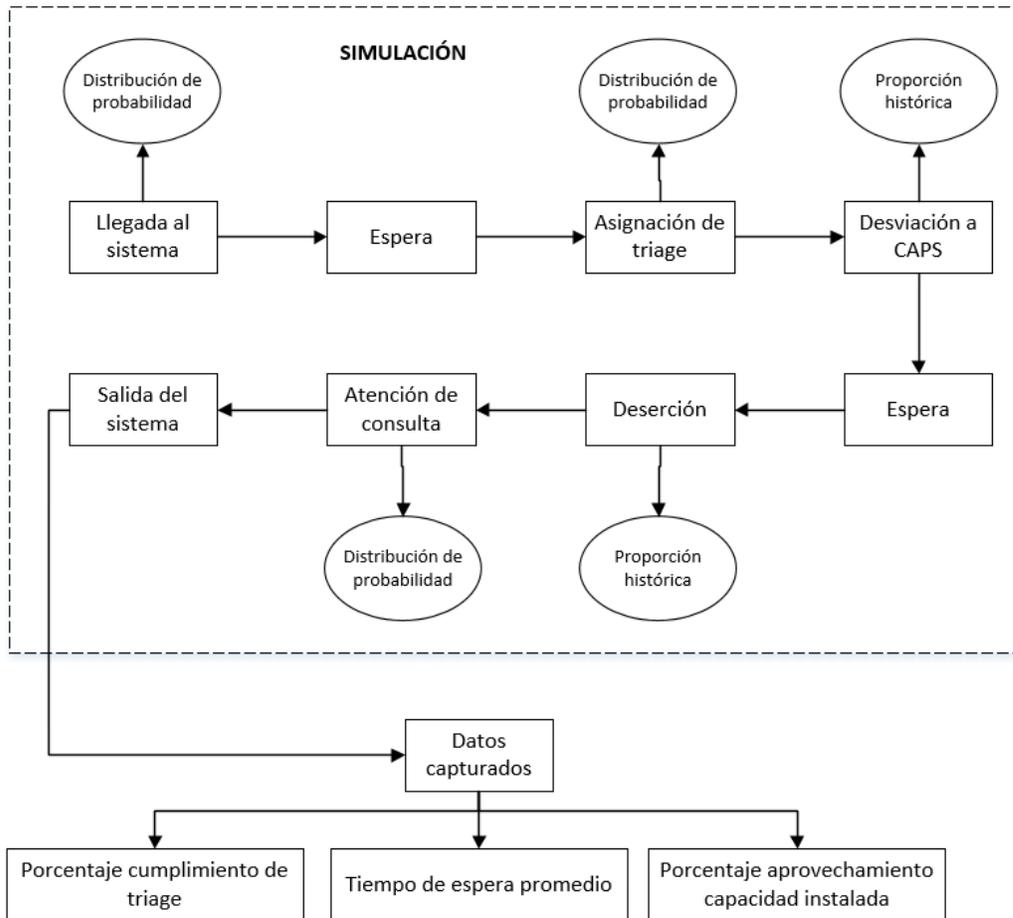


Figura 9. Flujo del modelo de simulación 2017. Elaboración propia.

En la figura 9, se evidencia el flujo del modelo de simulación de los hospitales de la red. Primero, los pacientes llegan a un hospital en determinada franja horaria y día de la semana. Tras una espera, el personal médico les asigna un nivel de triage de acuerdo al grado de emergencia que conlleva su dolencia, a partir de este momento, una proporción de pacientes de triage 4 y 5 son desviados a los CAPS, y los demás esperan a ser atendidos en los consultorios médicos -esta espera depende del nivel de triage previamente asignado-. Cabe recordar que, el procedimiento para determinar las distribuciones de probabilidad de los tiempos utilizados en el modelo y las proporciones históricas fue explicado en el apartado de metodología.

Luego de simular la red durante una semana, se obtuvieron los datos de las siguientes variables de salida del sistema: porcentaje de cumplimiento de triage, tiempo de espera promedio y porcentaje de aprovechamiento de la capacidad instalada.

5.2. Proceso de Diseño

El modelo de simulación se realizó de acuerdo a la lógica mostrada en la figura 4 y al flujo de la figura 9. Se debe tener en cuenta que, en las salas de urgencias de los hospitales una persona es la encargada de asignar y priorizar manualmente los tiempos de espera de los pacientes antes de ser atendidos en consulta, por lo que, se creó una “espera obligatoria” para representar la función de esta persona en el modelo de simulación. Es decir, después de que el paciente es atendido en el consultorio de triage debe esperar un tiempo aproximado según el nivel de urgencia, de acuerdo a los tiempos establecidos por la SDS (Resolución 5596, 2015): triage 1 (0 minutos), triage 2 (30 minutos), triage 3 (180 minutos), triage 4 (360 minutos) y triage 5 (720 minutos). Sin embargo, los pacientes pueden ser atendidos inmediatamente si algún consultorio médico está desocupado y no hay ningún otro paciente esperando. De esta forma se garantiza que los pacientes con mayor nivel de urgencia, en promedio, son atendidos más rápidamente.

Luego de construir analíticamente el modelo, se representó gráficamente los hospitales representativos de cada conglomerado, a continuación se muestra el hospital de Chapinero:

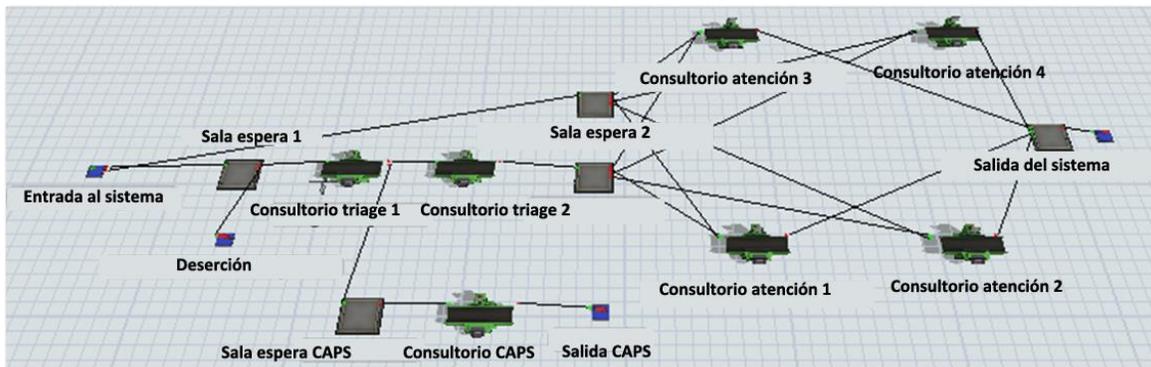


Figura 10. Representación gráfica del hospital de Chapinero. 2017. Elaboración propia.

En la figura 10 se observa los elementos que hacen parte del modelo del hospital de Chapinero, y que igualmente, son los componentes de los demás hospitales de la red simulada:

- Entrada del sistema: fuente de creación de objetos que representa la llegada de los pacientes al sistema.
- Sala de espera 1: los pacientes esperan hasta ser atendidos en los consultorios de triage.
- Deserción: algunos pacientes salen del sistema por decisión personal antes de ser atendidos.
- Consultorio de triage 1: se asigna el nivel de triage a cada paciente.
- Sala de espera CAPS: tiempo que transcurre antes de que sean atendidos en los CAPS asociados a ese hospital.
- Consultorio CAPS: atención de los pacientes triage 4 y 5 desviado a ese CAPS.
- Salida CAPS: finalización de la consulta médica del paciente.
- Consultorio triage 2: espera obligatoria que garantiza la priorización de los pacientes con mayor riesgo vital.
- Sala de espera 2: tiempo que transcurre antes de ser atendidos en los consultorios médicos.
- Consultorios de atención: atención de los pacientes.
- Salida del sistema: finalización de la consulta de los pacientes en la sala de urgencias.

Luego de validar los modelos de los hospitales representativos de cada conglomerado, se replicaron dichos sistemas para los 22 hospitales de la red de urgencias distrital de Bogotá, incluyendo los Centros de Atención Prioritaria de Salud (CAPS) que se encuentran actualmente en funcionamiento. En seguida, se muestra la representación gráfica del modelo de simulación de la red completa.

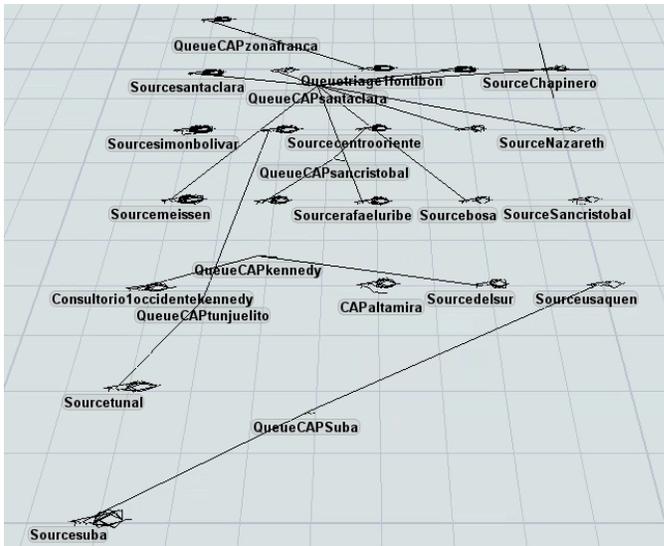


Figura 11. Simulación de la red de hospitales públicos de Bogotá. 2017. Elaboración propia.

En la figura 11, se observa el modelo de simulación de las salas de urgencias de los 22 hospitales de la red y las conexiones que tienen con los CAPS. Debido a la extensión del modelo y la capacidad computacional, la representación no contiene elementos complejos.

5.3. Requerimientos de desempeño:

- Medir el tiempo promedio de espera de los pacientes de las salas de urgencias en el escenario actual y propuesto.
- Verificar el nivel de cumplimiento en los tiempos de espera de cada paciente según su triage, en el escenario actual y el propuesto.
- Medir el porcentaje de ocupación de los recursos humanos en la red con el fin de determinar el aprovechamiento de la capacidad instalada.

5.4. Pruebas de rendimiento:

Para realizar la validación del modelo de simulación, se comparó el desempeño de las variables de salida (porcentaje de cumplimiento de triage y tiempo promedio de espera) con los resultados históricos de las mismas variables extraídos de las bases de datos iniciales. Esto, con el objetivo de determinar la validez del modelo con respecto a la realidad del sistema. A continuación, se muestra el resumen de dicha información.

Tabla 6
Resumen tiempos de espera históricos vs simulados

| DESCRIPCIÓN | TRIAGE 2 | | TRIAGE 3 | | TRIAGE 4 | | TRIAGE 5 | |
|-------------------------------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
| | B. Datos | Simulados |
| Promedio del tiempo de espera | 56,63 | 38,35 | 58,3 | 55,1 | 108,71 | 110,66 | 117,08 | 39,89 |
| Mínimo | 1,63 | 0,06 | 3,6 | 0,07 | 8,9 | 0,07 | 24,92 | 0,17 |
| Máximo | 46,32 | 155,81 | 450,89 | 241,27 | 555,56 | 480,33 | 235,95 | 79,62 |
| Desviación | 124,15 | 35,86 | 126,88 | 45,91 | 226,57 | 118,45 | 108,02 | 39,26 |

| | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|
| <i>Tiempo de espera sugerido</i> | 30 | | 180 | | 360 | | 720 | |
| <i>% Cumplimiento del tiempo de espera</i> | 52% | 53% | 97% | 98% | 90% | 94% | 100% | 100% |
| L INF. INTER. CONF. (Alfa = 95%) | 56,11 | 34,89 | 57,99 | 51,14 | 104,22 | 89,29 | 113,17 | 0,63 |
| LÍM. SUP. INTER. CONF. (Alfa = 95%) | 57,15 | 41,81 | 58,61 | 58,56 | 113,2 | 114,12 | 120,99 | 79,15 |

*Nota: Datos tomados de Base de Datos Chapinero.
Elaboración propia.*

A partir de las **Tabla 6**, se corrobora la validez del modelo simulado frente a la realidad del sistema, puesto que, el promedio del tiempo de espera y el porcentaje de cumplimiento de los datos obtenidos de la simulación, son similares a los datos obtenidos de las bases de datos. Es importante anotar que, debido a que la cantidad de pacientes que asisten a urgencias siendo triage 4 y 5 es mucho menor que la cantidad de pacientes triage 1, 2 y 3, se puede observar una mayor variabilidad en los datos de los pacientes cuyo nivel de urgencia es menor, haciendo que aparezca un “ruido” en los datos del resultado final.

5.5 Restricciones.

A pesar de que los hospitales representativos seleccionados para ser analizados tenían sistema de digiturno y fácil acceso a las bases de datos, son sistemas relativamente nuevos en la red, por lo que, se encontraron en algunas bases de datos errores de digitación y del sistema. Razón por la cual, se retrasó la etapa de análisis de datos.

Por otro lado, debido a la extensión y complejidad de los datos obtenidos de los hospitales, el modelo de simulación estuvo limitado gráficamente por la capacidad computacional de los mismos.

5.5. Cumplimiento del estándar:

Tabla 7
Cumplimiento del estándar de simulación

| ACTIVIDAD | CUMPLIMIENTO |
|---------------------------------|--|
| Formulación del problema | Inicialmente se realizaron reuniones con el equipo de expertos de la SDS para comprender el funcionamiento de los hospitales de la red de urgencias. |
| Planeación del proyecto | Durante un semestre académico, se investigaron antecedentes y otras referencias, y se planeó cronológicamente las etapas del proyecto. |
| Definición del sistema | Con la información obtenida en la SDS se delimitó y simplificó el sistema del proyecto, segmentando los 22 hospitales en 3 grandes conglomerados. |
| Recolección de datos iniciales | Se realizaron visitas a cada hospital representativo de los conglomerados y se analizó la lógica del funcionamiento de las salas de urgencias. |
| Análisis de los datos iniciales | Con bases de datos obtenidas de las visitas a los hospitales representativos, se analizaron los parámetros de entrada (tiempos entre llegadas, asignación de triage y atención en consulta). |
| Creación modelo de simulación | A partir del modelo de los hospitales representativos se crearon los 22 hospitales de la red, además de las conexiones con los diferentes CAPS. |
| Verificación y validación | Se comparó el desempeño de las variables de tiempo promedio de espera y porcentaje de cumplimiento de triage del modelo de simulación, con las de los datos históricos. |
| Análisis de escenarios | Luego de la validación del modelo, se realizaron experimentos para analizar el impacto de las variables en el desempeño de la red. |
| Análisis de datos de salida | A partir del análisis de resultados y el impacto de los escenarios en los indicadores de desempeño de la red, se realizaron conclusiones puntuales. |
| Propuestas | A partir de las conclusiones, se realizan propuestas y recomendaciones a la SDS. |

*Nota: Datos tomados de Base de Datos Chapinero
Elaboración propia*

6. Resultados

A partir de la construcción del modelo de simulación se realizaron tres experimentos computacionales: variación del porcentaje de pacientes redirigidos a los CAPS, proyección del crecimiento demográfico y aumento de la capacidad instalada de los CAPS. En los cuales, se analizó el impacto de las siguientes variables de salida: tiempo promedio de espera en las salas de urgencia de la red, porcentaje de cumplimiento de tiempos de triage y aprovechamiento de la capacidad instalada de los hospitales. A continuación, se detallan los tres experimentos computacionales, donde se realizaron aproximadamente 100 réplicas por cada escenario.

Tabla 8

Experimento computacional 1. Variación del porcentaje de pacientes redirigidos a los CAPS

| Escenarios | Variación del porcentaje de pacientes triage 4 y 5 redirigidos a CAPS | | | | | | | | | |
|------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|--|
| | 0% | 20% | 40% | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% | 100% | |

2017. Elaboración propia.

Para el inicio del año 2017, en promedio el 50% de los pacientes que son asignados como triage 4 y 5 en los hospitales de la red de urgencias, son redirigidos para ser atendidos en los CAPS más cercanos de dicho hospital. En el experimento computacional que se detalla en la **Tabla 8**, se realizaron 9 escenarios con diferentes porcentajes de pacientes redirigidos, principalmente, para analizar el impacto que tienen estas variaciones sobre las 3 variables de salida.

a) Tiempo promedio de espera en las salas de urgencias

En primera instancia, se demostró el impacto que tiene el tiempo promedio de espera de los pacientes en la red, según la proporción de pacientes que, cuando se encuentran en las salas de urgencias son redirigidos a los CAPS.

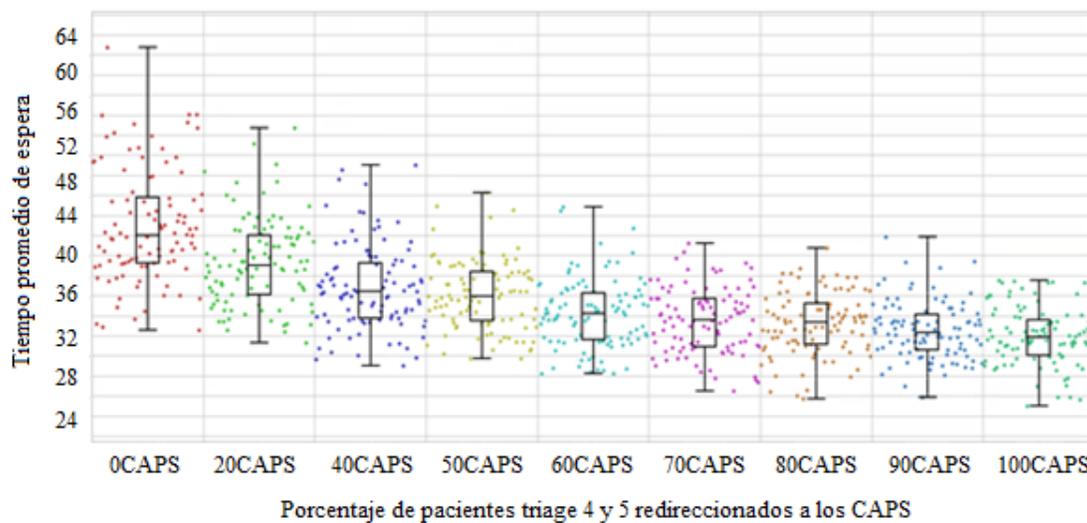


Figura 12. Diagrama de cajas y bigotes- porcentaje de pacientes enviados a los CAPS.

2017. Elaboración propia.

En el diagrama de cajas y bigotes de la figura 12, se puede observar que el tiempo promedio de espera disminuye a medida que el porcentaje de pacientes triage 4 y 5 redirigidos a los CAPS aumenta, por ejemplo, el tiempo promedio de espera de un paciente en el hospital disminuye aproximadamente en 10 minutos cuando se aumenta de 0% a 60% el porcentaje de pacientes de nivel triage 4 y 5 redirigidos a los CAPS. Además, se puede evidenciar que a partir del 70% del total de pacientes redirigidos, los tiempos promedio de espera en el sistema no presentan disminuciones significativas.

b) Porcentaje de cumplimiento de tiempos de triage

Esta variable, determina en qué medida se cumple con los tiempos sugeridos por la SDS para cada nivel de triage. Entre mayor sea el porcentaje de cumplimiento, mejores serán los tiempos de respuesta y por lo tanto el servicio prestado. En seguida, se evidencia el impacto que tiene dicha variable cuando se aumenta el porcentaje de pacientes triage 4 y 5 que son redirigidos a los CAPS.

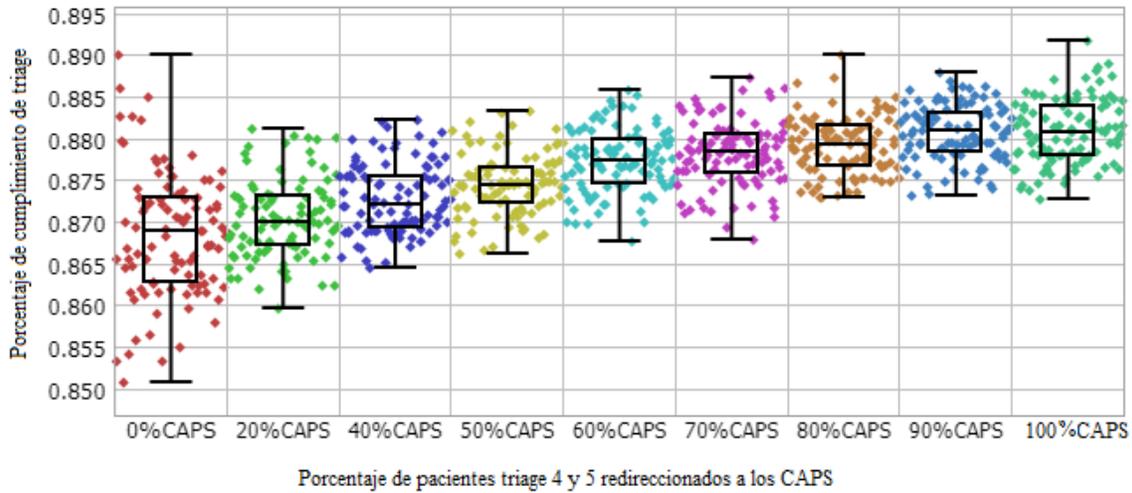


Figura 13. Diagrama de cajas y bigotes – Porcentaje de cumplimiento vs Porcentaje de pacientes redirigidos. 2017. Elaboración propia.

Según la figura 13, la dispersión de los datos obtenidos en las réplicas se reduce a medida que aumenta el porcentaje de pacientes triage 4 y 5 redirigidos a los CAPS, lo que determina un mayor control sobre los mismos. Por otro lado, se observa que por cada 10% de pacientes adicionales que se redirigen a los CAPS, aumenta aproximadamente un 2,03% el porcentaje de cumplimiento de la red de urgencias en general.

También se evidencia que, si se aumenta el porcentaje de estos pacientes, de la proporción actual (50%) a la totalidad de pacientes (100%), el porcentaje de cumplimiento de triage de la red aumenta aproximadamente un 2% con respecto a los tiempos sugeridos por la SDS.

c) Aprovechamiento de la capacidad instalada

Esta variable determina el aprovechamiento de los consultorios de los hospitales de la red de urgencias distrital de Bogotá. Se debe tener en cuenta que, el porcentaje de aprovechamiento de la capacidad instalada se midió como un promedio de toda la red y todas las franjas horarias de la semana. En otras palabras, entre mayor sea el porcentaje de aprovechamiento, mayor será la congestión en los servicios de urgencias.

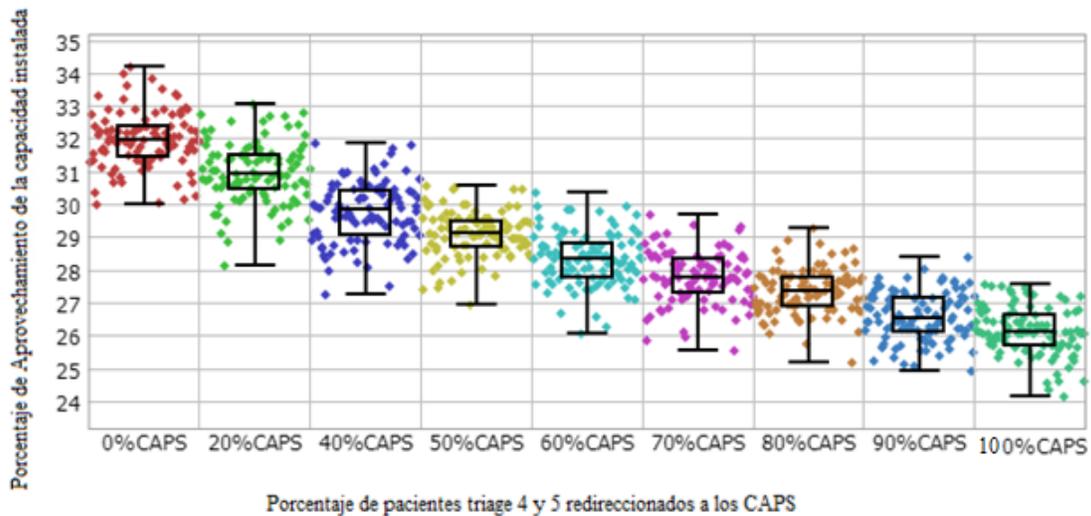


Figura 14. Diagrama de cajas y bigotes – Porcentaje de aprovechamiento vs Porcentaje de pacientes redirigidos. 2017. Elaboración propia.

Según el diagrama de cajas y bigotes de la figura 14, a medida que la cantidad de pacientes redirigidos a los CAPS aumenta, el aprovechamiento de la capacidad instalada en la red de hospitales disminuye. Actualmente la red tiene un porcentaje de aprovechamiento de capacidad instalada del 33%. Esto, debido a que existen hospitales con muy poco aprovechamiento de su capacidad instalada y otros colapsados, sin embargo, se puede observar un impacto en el descongestionamiento del 18,5% al enviar el cien por ciento de los pacientes triage 4 y 5.

Tabla 9

Experimento computacional 2. Proyección del crecimiento demográfico

| Escenarios | Proyección del crecimiento demográfico | | | | | | | | |
|------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | 2017 sin CAPS | 2017 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 |
| Habitantes | 8.688.450 | 8.799.488 | 8.911.945 | 9.025.840 | 9.141.190 | 9.258.014 | 9.376.332 | 9.864.917 | 10.350.352 |

2017. Elaboración propia.

En la **Tabla 9** se presenta el segundo experimento computacional, donde se hacen variaciones en las demandas de los hospitales según la cantidad de habitantes de Bogotá por año (Dane, 2010). En este experimento computacional se realiza la simulación de la red de urgencias para los próximos 15 años, con el propósito de determinar hasta qué año las políticas distritales actuales de descongestionamiento son viables. A continuación, se presenta el impacto del crecimiento demográfico en cada una de las variables de salida.

a) Tiempo promedio de espera en las salas de urgencias:

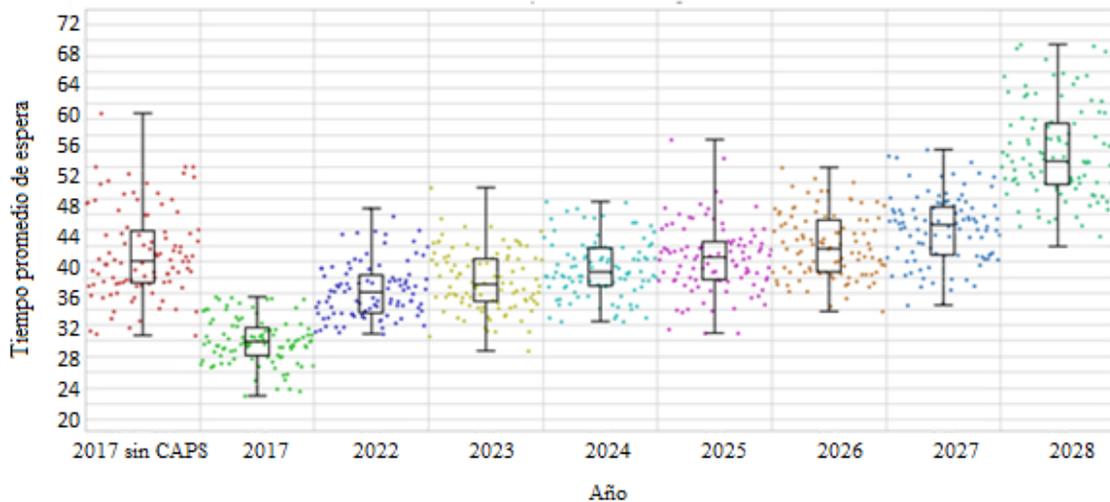


Figura 15. Diagrama de cajas de bigotes - Crecimiento demográfico
2017. Elaboración propia.

Según el diagrama de cajas y bigotes de la figura 15, la implementación de los CAPS en el año 2017 genera una disminución del 23% en el tiempo promedio de espera de la red. Adicionalmente, se establece que en el año 2025 el tiempo promedio de espera será de 42 minutos, que es igual al tiempo promedio de espera del año 2017 sin implementar las políticas de descongestionamiento. Es decir, para ese año se volverá a percibir sobreocupación en el sistema y será necesario reevaluar dichas políticas.

b) Porcentaje de cumplimiento de tiempos de triage

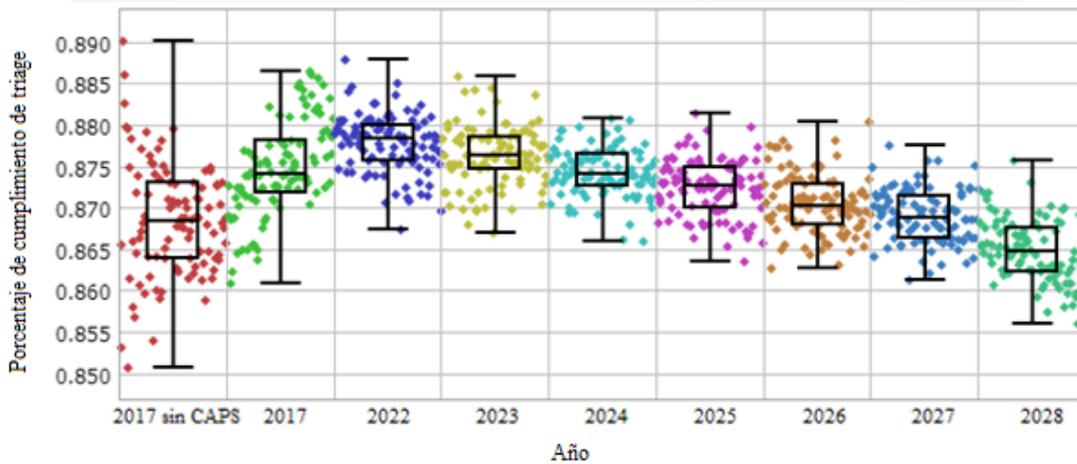


Figura 16. Diagrama de cajas de bigotes – Porcentaje de cumplimiento vs Tiempo en años 2017. Elaboración propia.

En el diagrama de cajas y bigotes de la figura 16, se observa que después de 5 años de aplicar la política de CAPS, el porcentaje de cumplimiento de triage con respecto al tiempo sugerido por SDS alcanza su mayor valor con 87,8% aproximadamente. Del mismo modo, después del año 2022 la política tendrá efectos negativos en la variable de proporción de cumplimiento de triage. Alcanzando en el año 2028 un porcentaje de cumplimiento del 85,4% aproximadamente.

a) Aprovechamiento de la capacidad instalada de los hospitales

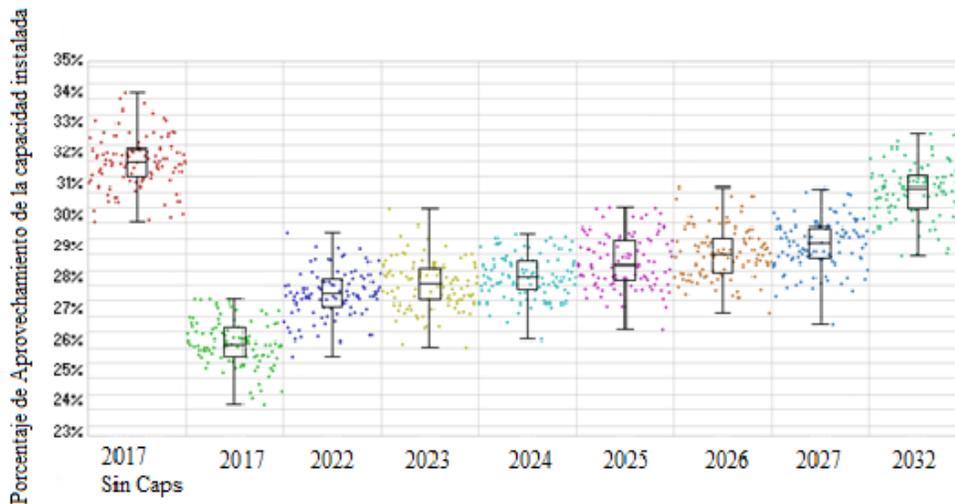


Figura 17. Diagrama de cajas de bigotes - Porcentaje de aprovechamiento vs proyección de crecimiento demográfico 2017. Elaboración propia.

En la figura 17, se evidencia una disminución aproximadamente del 18,75% en el porcentaje de aprovechamiento de la capacidad instalada, luego de aplicar la política de CAPS en el año 2017. Además, se proyecta un aumento generalizado del porcentaje de aprovechamiento en los siguientes años de la implementación de los CAPS. Por otro lado, el mayor impacto en la variable previamente analizada se determina en el año 2022, donde se aumenta aproximadamente un 1,5% el aprovechamiento de la capacidad instalada.

Tabla 10*Experimento computacional 3. Aumento de la capacidad instalada de los CAPS*

| Aumento de la capacidad instalada en CAPS | | | | | | |
|---|----|----|----|----|----|----|
| Escenarios (# Consultorios) | 50 | 59 | 68 | 77 | 86 | 95 |

2017. Elaboración propia

En la **Tabla 10** se detalla el tercer experimento computacional. Se debe tener en cuenta que en el año 2016, cuando se recolectaron los datos, existían 9 CAPS en funcionamiento en la ciudad de Bogotá con aproximadamente 50 consultorios, en este sentido, se realizó este experimento aumentando 9 consultorios en la red para cada escenario. Principalmente, se pretende analizar el impacto que tiene dicho aumento de la capacidad instalada en CAPS sobre las variables de desempeño de tiempo promedio de espera en las salas de urgencias, como se muestra a continuación.

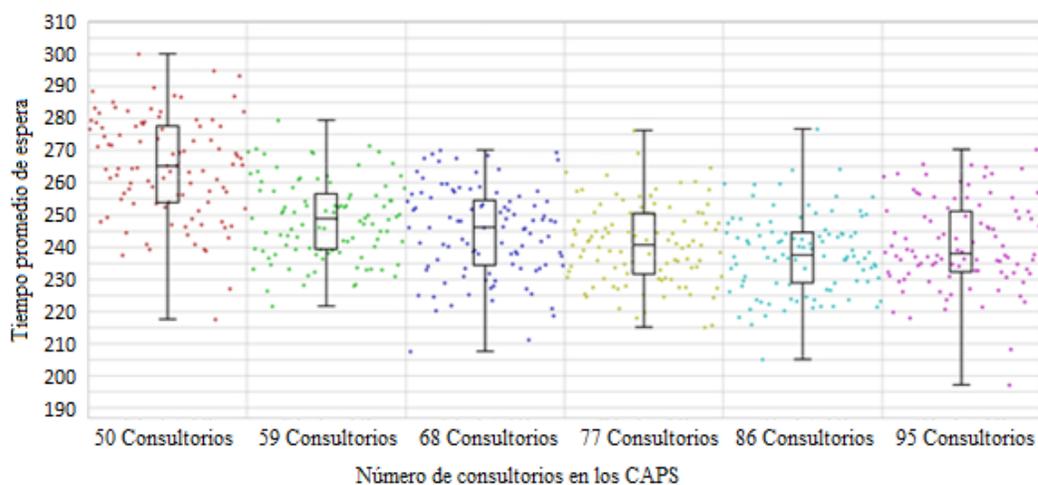


Figura 18. Diagrama de cajas de bigotes- Tiempo de espera en CAPS vs Capacidad instalada 2017. Elaboración propia.

En la figura 18 se observa que, si se aumenta la capacidad instalada de la red de urgencias a 77 consultorios y aproximadamente 15 CAPS activos, existe una disminución de aproximadamente 15 minutos en el tiempo de espera promedio de los pacientes en la red. También se interpreta que, para la demanda actual del sistema, no son necesarios más de 77 consultorios para atender a los pacientes triage 4 y 5 provenientes de los hospitales.

Finalmente, además de los resultados obtenidos en los experimentos computacionales, se creó un sistema para asignar los CAPS a determinados hospitales, teniendo en cuenta: la cercanía geográfica y el número de consultorios en funcionamiento. De esta forma, dicha asignación se adapta a las condiciones reales del sistema, permitiendo un proceso de descongestión más eficiente. En seguida, se muestra el resultado de la asignación con las condiciones actuales del sistema: 9 CAPS, 50 consultorios distribuidos en dichos CAPS y 22 hospitales.

Tabla 11*Asignación de CAPS por hospital.*

| # | HOSPITAL | LOCALIDAD | CAPS |
|---|--------------------------------|------------|---------------|
| 1 | Ese hospital bosa ii nivel | Bosa | Santa clara |
| 2 | Ese hospital centro oriente | Santa fe | San cristobal |
| 3 | Ese hospital chapinero | Chapinero | Santa clara |
| 4 | Hospital del sur e.s.e. | Kennedy | Kennedy |
| 5 | Ese hospital el tunal | Tunjuelito | Tunjuelito |
| 6 | Hospital engativa ii nivel ese | Engativa | Zona franca |
| 7 | Hospital fontibon ese | Fontibon | Zona franca |

| | | | |
|----|----------------------------------|--------------------|---------------|
| 8 | Ese hospital la victoria | San cristobal | Santa clara |
| 9 | Hospital meissen ii nivel ese | Ciudad bolivar | Santa clara |
| 10 | Hospital nazareth i nivel ese | Ciudad bolivar | Santa clara |
| 11 | Hospital occidente de Kennedy | Kennedy | Kennedy |
| 12 | Hospital pablo vi bosa | Bosa | Santa clara |
| 13 | Hospital rafael uribe uribe | Rafael uribe uribe | Santa clara |
| 14 | Hospital san blas- ii nivel ese | San cristobal | Altamira |
| 15 | Ese san cristobal | San cristobal | Olaya |
| 16 | Ese hospital santa clara | Antonio nariño | Santa clara |
| 17 | Ese hospital simon bolivar | Usaquen | Candelaria |
| 18 | Hospital de suba ese ii nivel | Suba | Suba |
| 19 | Hospital tunjuelito ii nivel ese | Tunjuelito | Tunjuelito |
| 20 | Ese hospital de usaquen i nivel | Usaquen | Suba |
| 21 | Ese hospital de usme i nivel | Usme | San cristobal |
| 22 | Ese hospital vista hermosa | Ciudad bolivar | Santa clara |

2017. *Elaboración propia.*

7. Conclusiones y recomendaciones.

En este proyecto se determinó el impacto que tienen los siguientes experimentos: la variación del porcentaje de pacientes redirigidos a los CAPS, proyección del crecimiento demográfico, y aumento de la capacidad instalada de los CAPS. En cada una de las siguientes variables de desempeño del modelo de simulación: tiempo promedio de espera en las salas de urgencia de la red, porcentaje de cumplimiento de tiempos de triage y aprovechamiento de la capacidad instalada de los hospitales.

De esta forma, se determinó que si en los hospitales de la red se redirige el 100% de pacientes triage 4 y 5 a los Centros de Atención Prioritaria de Salud (CAPS) asociados, disminuiría en 10 minutos el tiempo promedio de espera de los pacientes en los hospitales. Además, el porcentaje de cumplimiento de triage aumentaría un 2.01% aproximadamente y el aprovechamiento de la capacidad instalada en los hospitales disminuiría un 5% aproximadamente.

También se estableció que, con las condiciones actuales de la política de descongestionamiento de la red de urgencias, la política de implementación de CAPS tendrá un horizonte de aplicabilidad hasta el año 2025, puesto que, el tiempo promedio de espera aumentará a 42 minutos, el mismo que tenía la red en el año 2016 sin la implementación de dicha política.

En cuanto al aumento de los consultorios de CAPS, se proyectó que para las condiciones actuales de la red, se deben tener 77 consultorios para un funcionamiento óptimo de dicha red, es decir, alrededor de 6 CAPS adicionales de los que se encuentran actualmente funcionando.

Por otro lado, para la asignación de los CAPS a los respectivos hospitales, se determinó un sistema teniendo en cuenta la ubicación geográfica y la capacidad instalada de los mismos, lo que facilita y mejora el proceso para redirigir los pacientes triage 4 y 5. El resumen de esta asignación se encuentra en la Tabla 11.

Estos resultados se lograron a partir de la construcción del modelo de simulación, para la cual, se realizaron reuniones con el equipo de expertos de la SDS, se realizaron visitas de campo a tres hospitales representativos, y se analizaron las bases de datos históricas de la red de urgencias.

De forma general, se logró diseñar un modelo de simulación de la red de urgencias distrital de Bogotá, el cual permitió evaluar y analizar el impacto de diferentes políticas de asignación de recursos en el desempeño de la red. Para ello, se recolectaron y analizar los tiempos entre llegada, de espera *Door to doctor* y de atención, del hospital más representativo de cada conglomerado. Además, se diseñó el modelo de la simulación de forma analítica y gráfica de la red de urgencias distrital de Bogotá. Y, por último, se analizó el impacto que tiene la implementación de los escenarios en el aprovechamiento de la capacidad instalada y el cumplimiento en los tiempos establecidos por cada triage, considerando el plan de descongestionamiento distrital de la red de urgencias de Bogotá.

En el campo de investigación de la salud pública de Bogotá, se tienen registros de estudios, proyectos y simulaciones, de unidades hospitalarias de forma individual. Por ende, es la primera vez que se realiza un modelo de simulación de una red urgencias en la ciudad de Bogotá.

De este modo, es importante que se sigan realizando investigaciones de la red de urgencias pública de Bogotá, puesto que, como se hizo en este proyecto, se pueden encontrar hallazgos que faciliten la toma de decisiones en el sistema. Mismas decisiones que si se direccionan adecuadamente pueden mejorar la vida de miles de personas en la ciudad.

Recomendaciones

Inicialmente, se recomienda realizar mejoras en el sistema de digiturnos y recolección de información en las salas de urgencias de los hospitales de la red, ya que, a pesar de que en este proyecto se utilizó la información de los hospitales con mejor acceso a las bases de datos, se evidenciaron fallas en el sistema que sesgaban la información.

También se recomienda tener en cuenta los resultados en este proyecto para tomar decisiones acerca de la política de descongestionamiento que se está implementando. Por ejemplo, se requieren instalar 77 consultorios en aproximadamente 11 CAPS en toda la red, es decir, esta es la cantidad óptima de consultorios que se deben implementar.

El aumento de la instalación de CAPS no supone una mejora inmediata, se recomienda evaluar detalladamente los hospitales y las condiciones de los mismos, para determinar la correcta asignación de CAPS en la red. Adicionalmente, se debe tener en cuenta que todas las recomendaciones realizadas en este proyecto se hicieron bajo las condiciones y supuestos del año 2017. Por lo que, se requiere más investigaciones para tomar decisiones en los siguientes años.

Finalmente, se invita evaluar el proyecto a largo plazo, de modo que, al mediano plazo la política sea funcional y eficiente para la realidad de la ciudad. Para la continuidad de este proyecto, se recomienda incluir variables como la densidad poblacional de las zonas de la ciudad, demanda de acuerdo a especialidades e impacto de las mismas en el desempeño de la red. Así mismo, es necesario profundizar en el nivel de detalle del proyecto, y de esta forma, se podrían obtener conclusiones más cercanas a la realidad.

8. Glosario

- CAPS: Centros de Atención Prioritaria, permitirán descongestionar los hospitales de la red pública atendiendo a los pacientes que tengan triage 4 y 5, cuya urgencia no sea crítica (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2016).
- Tiempo “Door to doctor”: Término utilizado en los centros de urgencias, hace referencia al número de minutos que transcurren desde la llegada de un paciente hasta que es atendido por el doctor (Welch, Reese, Asplin, & Owens, 2006).
- Simulación: Es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a cabo experiencias con él, con la finalidad de aprender el comportamiento del sistema o de evaluar diversas estrategias para el funcionamiento del sistema (Shannon, 1988).
- Triage: Es el proceso mediante el cual un paciente es valorado a su llegada para determinar la urgencia del problema y asignar el recurso de salud apropiado para el cuidado del problema identificado; el paciente es clasificado de acuerdo con prioridades (Cook, 1997).
- Horizonte temporal: En este documento el horizonte temporal determina la proyección de la demanda de la población según la temporalidad, es decir, a corto, mediano y largo plazo.
- Diagrama de entidades: Un diagrama de entidad-relación – conocido de otra forma como DER – es una técnica de modelado de datos que crea una ilustración de las entidades de un sistema de información y las relaciones entre las entidades (Chart, 2015).
- Indicadores de desempeño: Son una herramienta importante para el establecimiento de un sistema de calidad, pues si no se puede evaluar el desempeño, el funcionamiento en concreto, no se pueden tomar medidas para alcanzar niveles superiores en la gestión de las organizaciones (OECD/CAD, 2002).
- Congestionamiento: Obstruir o entorpecer el paso, la circulación o el movimiento de algo (Real Academia Española, 2001).
- Atención prioritaria: En este documento consideramos la atención prioritaria como un servicio de consulta inmediata realizada a adultos y niños por médicos generales o pediatras. Su objetivo es atender a aquellos pacientes que requieran una atención prioritaria y así resolver rápidamente situaciones de enfermedad o de trauma leve.
- Arena 10.0: Software para realizar simulación de eventos discretos

9. Tabla de Anexos o Apéndices

| No. Anexo | Nombre | Desarrollo | Tipo de Archivo | Enlace corto (https://goo.gl/) | Relevancia para el documento (1-5) |
|-----------|--------|------------|-----------------|--|------------------------------------|
|-----------|--------|------------|-----------------|--|------------------------------------|

| | | | | | |
|---|--|----------|-------|---|---|
| 1 | Bases de datos de hospitales representativos | Terceros | Excel | Enlace al archivo en su carpeta de Google Drive | 3 |
| 2 | Análisis de datos | Propio | Excel | Enlace al archivo en su carpeta de Google Drive | 4 |
| 3 | Reporte de modelo de simulación | Propio | HTML | Enlace al archivo en su carpeta de Google Drive | 5 |

10. Referencias

- Chung, C. A. (2003). *Simulation Modeling Handbook: A practical Approach*. New York: Taylor & Francis.
- Jorgepgf. (2017, Marzo 28). Wikipedia. Retrieved Octubre 10, 2016, from <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=K-means&action=history>
- A Fletcher, D. H. (2007). The DH Accident and Emergency Department model:. *The Journal of the Operational Research Society*, 1555 - 1562.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (07 de Marzo de 2016). *Así funcionarán los Centros de Atención Prioritaria de Salud que propone Peñalosa*. Recuperado el 02 de Octubre de 2016, de Alcaldía Mayor de Bogotá: www.bogota.gov.co
- Anderson, C., Butcher, C., & Moreno, A. (16 de 12 de 2010). Emergency Department Patient Flow Simulation at. *Worcester Polytechnic Institute*, 10-15. Obtenido de https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-121610-130904/unrestricted/UMass_ED_Simulation_MQP.pdf
- Base de datos de producción SDS. (03 de 07 de 2016). Base de datos de produccion. Bogotá D.C, Cundinamarca, Colombia.
- Brailsford , S. C. (2007). ADVANCES AND CHALLENGES IN HEALTHCARE SIMULATION MODELING. *Winter Simulation Conference*, 1446.
- Chung, C. A. (2003). *Simulation Modeling Handbook: A practical Approach*. New York: Taylor & Francis Group.
- Cook, S. (1997). Emergency department triage: A program assessment using the tools of continuous quality improvement. *The Journal of Emergency Medicine*, 889-894.
- Correa, A. M. (3 de 10 de 2016). Colapso en las salas de urgencias de Bogotá. *EL espectador*, págs. 1-2.
- Duncan Stainsby, H. (2010). Simulación de un departamento de urgencias empleando un modelo basado en agentes. *Universidad Autonoma de Barcelona*, 40.
- Equipo interdirecciones secretaría de salud. (28 de 09 de 2016). INFORME CONSOLIDAD I SEMESTRE. *EQUIPO DE INTERDIRECCIONES*, 5-6.
- F. Vanegas, C. A. (4 de 12 de 2007). Simulación de la sala de urgencias en el Hospital. *Universidad de los Andes*, 50-62. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/238791992_Simulacion_de_la_sala_de_urgencias_en_el_hospital_El_Tunal_para_caracterizar_los_problemas_de_flujo_en_los_procesos
- Garzón Henao, A. M., Reina Neira, L. V., & Suárez Venegas, D. R. (2015). Efecto en el desempeño de la programación automática de salas de cirugía superiores a la duración esperada (Tesis de pregrado). *Universidad Javeriana, Bogotá* , 2-6.
- Jaén-Posada, J., Rodríguez Quintero, A. K., & Velásquez Restrepo, P. A. (2011). Metodologías cuantitativas para la optimización del servicio de urgencias: una revisión de la literatura. *Gerencia, Política y Salud*, Vol 10.
- Komashie, A., & Mousav, A. (2005). MODELING EMERGENCY DEPARTMENTS USING DISCRETE EVENT SIMULATION TECHNIQUES. *Winter Simulation Conference*, 5.
- Lopez Sevillano, A. M., & Aparicio Pico, L. E. (2015). Prestación de servicios de salud - red de urgencias en el. *Tesis pregrado*, 2-3.

- Moreno Triana, Y. M., & Sánchez Morales, J. A. (05 de 03 de 2012). CARACTERIZACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS DEL HOSPITAL VISTA (Tesis de pregrado). *Universidad Distrital, Bogotá*, 22-23. Obtenido de <http://www.udistrital.edu.co:8080/documents/138588/3094588/Entrega+Final+V.15.pdf>
- OECD/CAD. (2002). Glosario de los principales términos sobre evaluación y. *Evaluation and Aid Effectiveness*, 24-28.
- Oróstegui Restrepo, O., Mogollón Barbosa, C. A., Rueda Echeverría, M. L., Medina Rojas, M. A., Russi Cortés, J., & Vinasco González, I. (09 de 2013). *Informe de calidad de vida de Bogotá*. Cundinamarca. Bogotá: Punto a parte. Recuperado el 2016 de 10 de 31, de www.bogotacomovamos.org
- Paredes, G. D. (30 de Marzo de 2016). Hacinamiento en salas de urgencias de Bogotá asciende al 250%. 2. (R. Bogotá, Entrevistador)
- Personería de Bogotá. (22 de 06 de 2012). *Personería de Bogotá, D.C.* Recuperado el 03 de 10 de 2016, de <http://personeriabogota.gov.co/archivo-2012/item/164-en-la-lupa-servicio-de-urgencias-de-la-red-de-hospitales-del-distrito>
- Real Academia Española. (12 de Septiembre de 2001). *Diccionario de la lengua española*. Recuperado el 4 de Noviembre de 2016, de <http://www.rae.es/rae.html>
- Redacción Bogotá. (21 de Julio de 2016). Prorrogarán emergencia sanitaria en Bogotá por crisis de servicios de urgencias. *Salud Bogotá*, pág. 2.
- Salud Capital. (08 de 07 de 2016). *Top 10 de los logros del sector salud*. Recuperado el 02 de 10 de 2016, de http://www.saludcapital.gov.co/Paginas2/Logros_en_Salud.aspx
- Shannon, R. E. (1988). *Simulación de Sistemas. Diseño, desarrollo e implementación*. (F. A. Bernal, Ed.) México D.F, México: Trillas.
- Welch, S., Reese, C., Asplin, B., & Owens, P. (2006). Emergency Department Performance Measures and Benchmarking Summit. *American College of Emergency Physicians*, 6-8.