

Simulación de eventos discretos aplicada al análisis de escenarios para el mejoramiento del servicio de urgencias en sistemas de salud.

Cristian Aliro Manzano Arévalo y Laura Patricia Martínez Martínez

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Industrial

Director

Edwin Alberto Garavito Hernández

Magister en Ingeniería Industrial

Codirector

Laura Yeraldín Escobar Rodríguez

Magister en Ingeniería Industrial

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Estudios Industriales y Empresariales

Bucaramanga

2022

### Dedicatoria

*A Dios, por darme las fuerzas para cumplir este sueño. Gracias por regalarme tranquilidad en los momentos de angustia, por escucharme y nunca dejarme solo.*

*A mis padres, por brindarme tanto amor y por ser voz de aliento ante cada momento de dificultad. Gracias por su esfuerzo y por ayudarme a culminar esta etapa en mi vida.*

*A mis hermanitos, por sus valiosos consejos y por enseñarme que con esfuerzo es posible llegar muy lejos.*

*A mis amigos Duban y Alejandro, por acompañarme y apoyarme durante esta etapa de mi vida, este triunfo también es de ustedes.*

***Cristian Aliro Manzano Arévalo***

*A Dios, por ser mi guía en cada paso de mi vida, por darme la sabiduría, habilidades, fortaleza y conocimiento necesarios. Gracias Dios porque sé que escuchaste cada una de mis oraciones.*

*A mi madre Yaqueline, por su apoyo incondicional, por ser mi amiga y mi soporte en momentos difíciles. Gracias por tus oraciones diarias, sé que soy el resultado de cada una de ellas.*

*A mi padre Héctor, por ser mi mayor ejemplo, por enseñarme a luchar por mis sueños y por motivarme a salir adelante en cada paso de la vida. Gracias por tu voz de aliento y por creer en mis capacidades.*

*A mi hermano Cesar, por darme las bases de la constancia y disciplina, por brindarme sus sabios consejos y por ser mi amigo. Gracias por tu paciencia y por motivarme a ser la mejor.*

*A mis amigos por compartir mis alegrías y mis apuros, por estar presentes en los momentos difíciles y por estar siempre prestos a colaborar.*

***Laura Patricia Martínez Martínez***

### Agradecimientos

*A Dios, por regalarnos la sabiduría, conocimiento y constancia necesaria para afrontar los desafíos del camino, por darnos la fortaleza en los días difíciles y por permitirnos culminar con éxito esta etapa de nuestras vidas.*

*Al profesor Edwin Alberto Garavito y la profesora Laura Yeraldín Escobar, por su acompañamiento y apoyo en todo el proceso del desarrollo del proyecto, por cada recomendación y consejo brindado.*

*Al profesor David Puentes, por el apoyo incondicional y conocimiento brindado en el desarrollo del proyecto. Por brindarnos su tiempo y sus valiosos consejos.*

*Al personal del hospital que hizo posible la realización de este estudio, por el apoyo e información brindada.*

*A nuestra familia, por ser nuestro motor diario y por estar presente en todo momento, por su comprensión, por motivarnos cada día a salir adelante y por ser soporte en los momentos de dificultad.*

*A todos y cada uno de nuestros amigos, por su acompañamiento y apoyo en cada etapa del camino, por motivarnos y alentarnos en el logro de este objetivo y sobre todo por brindarnos su amistad.*

## Contenido

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	16
1. Objetivos .....	19
1.1 Objetivo General .....	19
1.2 Objetivos Específicos.....	19
2. Planteamiento del Problema .....	20
3. Justificación .....	23
4. Metodología .....	24
4.1 Metodología para la revisión de literatura .....	24
4.2 Metodología propuesta para el modelado del servicio de urgencias .....	26
4.2.1 Caracterización del sistema.....	27
4.2.2 Recolección y Análisis de datos .....	28
4.2.3 Desarrollo y construcción del modelo en el software computacional .....	28
4.2.4 Verificación y validación del modelo .....	28
4.2.5 Experimentación .....	29
4.2.6 Evaluación de escenarios y análisis de resultados .....	30
5. Revisión de Literatura.....	30
5.1 Marco Teórico.....	31
5.1.1 Simulación .....	31
5.1.2 Simulación de eventos discretos .....	32

5.1.3 Sistemas de salud .....	34
5.1.4 Servicio de urgencias .....	36
5.2 Análisis de Literatura .....	37
5.2.1 Literatura científica .....	38
5.2.2 Literatura gris .....	43
6. Marco metodológico para el desarrollo de modelos de simulación enfocados en los sistemas de salud .....	45
6.1 Definición de Objetivos .....	47
6.2 Modelo Conceptual .....	50
6.2.1 Caracterización de las entidades .....	50
6.2.1.1 Definir las entidades del sistema .....	51
6.2.1.2 Elementos del modelo formal. ....	51
6.2.1.3 Recolección y análisis de datos .....	53
6.2.2 Caracterización de los procesos .....	55
6.2.3 Caracterización de los recursos .....	56
6.2.4 Supuestos del modelo de simulación .....	56
6.2.5 Modelo conceptual en Microsoft Visio .....	57
6.3 Modelo Computacional .....	60
6.3.1 Definir el modelo digital .....	61
6.3.2 La animación del modelo .....	63
6.3.3 Configurar “Arrivals” .....	65
6.3.4 Programación del flujo del proceso mediante la herramienta “Patient Flow” .....	67
6.3.5 Pruebas de corrida del modelo computacional .....	69

6.4 Verificación.....	69
6.5 Validación.....	72
6.6 Experimentación.....	77
7. Caso de estudio de un Sistema de Urgencias de un Hospital Regional.....	80
7.1 Definición de objetivos.....	80
7.1.1 Objetivo general.....	80
7.1.2 Objetivos específicos.....	81
7.2 Modelo Conceptual: Servicio de Urgencias de un Hospital Regional.....	81
7.2.1 Caracterización de las entidades.....	81
7.2.1.1 Definición de las entidades del sistema.....	81
7.2.1.2 Elementos del modelo formal.....	82
7.2.1.3 Recolección y análisis de los datos.....	85
7.2.1.3.1 Análisis de datos año 2019.....	86
7.2.1.3.2 Ajuste de datos a una distribución de probabilidad.....	92
7.2.2 Caracterización de los procesos.....	95
7.2.2.1 Descripción del proceso de atención.....	96
7.2.2.2 Diagrama de flujo del Sistema de Urgencias.....	98
7.2.2.3 Localizaciones.....	99
7.2.3 Caracterización de los recursos.....	101
7.2.3.1 Recursos Humanos.....	101
7.2.3.2 Recursos Físicos.....	104
7.2.4 Supuestos en el modelo de simulación.....	104
7.3 Modelo Computacional.....	106

7.3.1 Diseño de la animación del modelo .....	107
7.3.1.1 Location/Ubicaciones. ....	109
7.3.1.2 Staff/Personal.....	110
7.3.1.3 Transport/Transporte.....	112
7.3.1.4 Multilocation/Ubicación múltiple. ....	112
7.3.1.5 Waiting Line/ Línea de espera. ....	114
7.3.1.6 Props/Accesorios.....	115
7.3.2 Configuración del Arrivals para la llegada de los pacientes .....	116
7.3.3 Programación del flujo del proceso mediante el “Patient Flow” .....	122
7.3.4 Interfaz Gráfica de Usuario (GUI).....	127
7.4 Verificación.....	130
7.5 Cálculo del tiempo de precalentamiento y longitud de la corrida .....	131
7.6 Validación.....	134
7.7 Definición y evaluación de escenarios.....	137
7.7.1 Definición de escenarios .....	138
7.7.2 Evaluación de escenarios y análisis de resultados .....	138
7.7.2.1 Incremento del número de médicos en la zona de triage. ....	139
7.7.2.2 Incremento del número de médicos en la zona de consultorios médicos. ....	142
7.7.2.3 Médicos flexibles para la atención en triage, consulta médica y revaloración. ....	145
7.7.2.4 Eliminación de un paso prescindible en la prestación del servicio.....	150
8. Conclusiones .....	152
9. Recomendaciones .....	154
Referencias Bibliográficas .....	156

## Lista de Tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Cumplimiento de objetivos .....	19
Tabla 2. Metodología para la revisión de literatura .....	25
Tabla 3. Elementos de “Walk then Process” .....	68
Tabla 4. Medidas de desempeño .....	84
Tabla 5. Número y porcentaje de pacientes según trayectorias .....	89
Tabla 6. Trayectorias simplificadas para la construcción del modelo .....	91
Tabla 7. Distribución de probabilidad de los tiempos de servicio .....	92
Tabla 8. Distribuciones agregadas .....	94
Tabla 9. Tasa de llegada por hora a lo largo de un día .....	95
Tabla 10. Recursos físicos del área de urgencias del hospital .....	104
Tabla 11. Elementos utilizados del grupo Location.....	109
Tabla 12. Funciones del personal dentro del modelo de simulación .....	110
Tabla 13. Objetos MultiLocation considerados en el modelo .....	112
Tabla 14. HC Activity Sets del modelo .....	123
Tabla 15. Definición de escenarios.....	138
Tabla 16. Resultados obtenidos con el escenario 1.....	142
Tabla 17. Comparación de resultados de alternativa versus escenario actual .....	144
Tabla 18. Descripción de los escenarios .....	147

## Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Metodología para la implementación y análisis del modelo de simulación.....	27
Figura 2. Marco metodológico.....	46
Figura 3. Elementos de la caracterización de las entidades .....	51
Figura 4. Interfaz Process Flow .....	58
Figura 5. Configuración de un modelo conceptual con una fuente y una actividad.....	59
Figura 6. Estructura del Process Flow para el modelo ejemplo.....	60
Figura 7. Desarrollo modelo computacional.....	61
Figura 8. Librería de objetos visuales de FlexSim HealthCare .....	65
Figura 9. Ejemplo de llegadas de pacientes en el elemento “source”.....	66
Figura 10. Prueba de hipótesis de dos colas .....	75
Figura 11. Relación de la etapa de verificación y validación .....	76
Figura 12. Eventos dentro del sistema .....	83
Figura 13. Promedio de pacientes que ingresaron al sistema .....	86
Figura 14. Promedio de llegada pacientes por día y por rango de horas .....	87
Figura 15. Número de pacientes por mes.....	88
Figura 16. Flujo del paciente en el área de urgencias .....	98
Figura 17. Diagrama de flujo del paciente en el área de urgencias .....	99
Figura 18. Plano del departamento de urgencias con localizaciones.....	100
Figura 19. Personal Administrativo .....	101

Figura 20. Personal médico.....	102
Figura 21. Jefes de enfermería .....	103
Figura 22. Auxiliares de Enfermería.....	103
Figura 23. Interfaz FlexSim HC.....	107
Figura 24. Vista superior del plano en la interfaz de FlexSim HC .....	108
Figura 25. Etiqueta de tipo puntero para los médicos en consultorio .....	112
Figura 26. Modificación del número total de sillas .....	113
Figura 27. Subgrupos utilizados en el modelo de simulación .....	114
Figura 28. Visualización Waiting Line.....	115
Figura 29. Divisores utilizados en la simulación .....	116
Figura 30. Configuración Source .....	117
Figura 31. Configuración destination en Create Patient .....	118
Figura 32. Creación de la etiqueta “Admisiones”.....	119
Figura 33. Configuración en el campo “Label set”.....	120
Figura 34. Configuración Random Appearance .....	121
Figura 35. Sink.....	121
Figura 36. Configuración del primer Decide .....	125
Figura 37. Configuración del segundo Decide .....	126
Figura 38. Interfaz Gráfica de Usuario .....	128
Figura 39. Identificación del periodo de precalentamiento .....	133
Figura 40. Reporte de la duración promedio de estadía de los pacientes en el sistema.....	136
Figura 41. Configuración del horario del nuevo medico en el software FlexSim .....	140

Figura 42. Tiempo promedio del paciente en el sistema con la implementación del escenario 1 .....	141
Figura 43. Configuración de las horas de trabajo para los nuevos médicos .....	143
Figura 44. % de utilización de los médicos en consultorio: escenario actual vs escenario 1 .....	145
Figura 45. Horario asignado para los nuevos médicos en FlexSim HC .....	147
Figura 46. Tiempo promedio del paciente en el sistema para cada escenario .....	148
Figura 47. Tiempo promedio requerido para la atención médica en cada escenario .....	149
Figura 48. Tiempo promedio del paciente en el sistema real y escenario propuesto.....	151

### Lista de Apéndices

Ver documentos adjuntos y pueden ser visualizados en la Base de Datos de la Biblioteca de la UIS

- Apéndice A. Análisis bibliométrico
- Apéndice B. Toma de tiempos para el ajuste de distribuciones
- Apéndice C. Ingreso de pacientes-2019
- Apéndice D. Análisis de datos para los meses de julio y agosto
- Apéndice E. Modelo conceptual
- Apéndice F. Manual para la construcción de modelos de simulación de sistemas de salud.
- Apéndice G. Porcentaje de trayectorias de los pacientes
- Apéndice H. Evaluación del módulo Experfit
- Apéndice I. Proceso de atención
- Apéndice J. Modelo computacional con interfaz gráfica de usuario
- Apéndice K. Promedio del paciente en el sistema
- Apéndice L. Modelo computacional verificado y validado
- Apéndice M. Experimentación escenario 1
- Apéndice N. Experimentación escenario 2
- Apéndice O. Experimentación escenario 3
- Apéndice P. Experimentación escenario 4
- Apéndice Q. Artículo académico de carácter publicable

## Resumen

**Título:** Simulación de eventos discretos aplicada al análisis de escenarios para el mejoramiento del servicio de urgencias en sistemas de salud\*

**Autores:** Cristian Aliro Manzano Arévalo, Laura Patricia Martínez Martínez\*\*

**Palabras claves:** Simulación de eventos discretos, sistema de emergencia, tiempos de servicio.

### Descripción:

Los departamentos de urgencias de las entidades que prestan los servicios de salud en el mundo son sistemas muy complejos, los cuales cuentan con una serie de variables que se relacionan entre sí y que cambian a través del tiempo. A razón de la complejidad presentada en estas áreas, generalmente se experimentan problemas de hacinamiento debido a una mala planificación de los recursos y largos tiempos de espera. En este sentido, la aplicación de simulación de eventos discretos brinda la posibilidad de mejorar la calidad de los procesos, permitiendo evaluar el desempeño de un modelo generado y probado con sus comportamientos y procedimientos generales antes de la fase de aplicación real y además permite comparar varios escenarios sin interferir con el sistema organizacional presente en la institución.

La presente investigación desarrolla un modelo de simulación de eventos discretos de un servicio de urgencias de un hospital Regional en el Software FlexSim HealthCare, el cual pretende validar una propuesta metodológica para el apoyo del desarrollo de proyectos de mejoramiento de los sistemas de salud, donde por medio del análisis de datos secundarios se pueda representar el comportamiento real de las actividades de una sala de urgencia y contribuir en la identificación de los cuellos de botella que permitan mejorar los tiempos de espera de los pacientes durante su estancia. El modelo permite evaluar diferentes de escenarios para determinar las propuestas de mejora y de esta manera mejorar los rendimientos de las medidas de desempeño.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingeniería Físico Mecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. Director: Edwin Alberto Garavito Hernández, M.Sc. Ingeniería Industrial. Codirector: Laura Yeraldín Escobar Rodríguez, M.Sc. Ingeniería Industrial

### Abstract

**Title:** Discrete event simulation applied to the analysis of contexts for the improvement of the emergency service in health systems\*

**Authors:** Cristian Aliro Manzano Arévalo, Laura Patricia Martínez Martínez\*\*

**Keywords:** Discrete event simulation, emergency system, service times.

### Description:

The emergency departments of the institutions of health services in the world are very complex systems, these have a series of variables that are related to each other and that change over time. Because of the complexity presented in these areas, overcrowding problems are generally experienced because of the poor resource planning and long waiting times. Therefore, the discrete event simulation application offers the possibility of improving the quality of the processes, allowing to evaluate the performance of a model generated and tested with its behaviors and general procedures before the real application phase and also allows comparing several contexts without interfering with the organizational system on the institution.

This research develops a simulation model of discrete events of an emergency service of a Regional hospital in the FlexSim HealthCare Software, which aims to validate a methodological proposal to support the development of health systems improvement projects, By means of secondary data analysis, it is possible to represent the true behavior of the activities of an emergency room and contribute to the identification of bottlenecks that allow improving waiting times for patients during their stay. The model allows evaluating different contexts to determine the improvement proposals and as this way improve the performance of the functioning measures.

---

\* Bachelor thesis

\*\* Faculty of Physical Mechanical Engineering, School of Industrial and Business Studies. Advisor: Edwin Alberto Garavito Hernández, M.Sc. Industrial Engineering. Co-advisor: Laura Yeraldín Escobar Rodríguez, M.Sc. Industrial Engineering

## Introducción

A nivel mundial, los departamentos de emergencias marcan la pauta de los índices de calidad en los sistemas de salud, representando de esta manera una zona de trabajo de gran importancia para cualquier hospital. El servicio de urgencias abre la puerta a pacientes que no cuentan con consulta previa o no son programados, pues sus condiciones de entrada son por enfermedad o lesión leve o grave, que deben ser atendidas, diagnosticadas y tratadas de manera urgente. Desafortunadamente, este departamento se ha enfrentado con muchas dificultades con el pasar de los años y ha llegado a un 'punto de ruptura', el cual ha desencadenado el llamado problema de hacinamiento de las salas de urgencias (Chen et al., 2020).

El hacinamiento es resultado de varios factores críticos, y estos pueden ser internos como externos, entre lo más relevantes se encuentra el acceso insuficiente a las camas hospitalarias y la carencia de personal médico y de enfermería en los servicios de urgencias. El hacinamiento genera retrasos y aglomeraciones en zonas de trabajos específicas, cuando un proceso no es tratado a tiempo se derivan malos resultados en los pacientes y un aumento no deseado en la duración de la estancia (Di somma et al., 2015), logrando afectar la calidad y el acceso a la atención médica (Hoot & Aronsky, 2008), y por ende, el desempeño de emergencias comienza a presentarse con índices de atención muy bajos. Sin embargo, dado que el departamento de emergencias representa un papel único como el corazón palpitante del hospital, es importante señalar que aunque las condiciones de la gestión no sean las mejores, el servicio nunca se puede negar a los pacientes, pues se debe velar por brindar un tratamiento y servicio óptimo en función del tipo y gravedad de su condición (Sasanfar et al., 2020).

En Colombia, se ha analizado a nivel nacional desde varias perspectivas los servicios de urgencias, estudios realizados concuerdan en que la mayoría de las instituciones de urgencias ven colapsadas sus instalaciones, a causa de factores comunes como las barreras de acceso, y otros que se asocian a la institución y no están debidamente identificados (Castro Canoa et al., 2010). Como lo describe Velandia (2011); “la causa raíz de la congestión de los servicios de urgencias no ha sido establecida y existen múltiples factores que tienen un impacto individual y su combinación incide de manera sinérgica en la gravedad del problema”.

Por otra parte, un estudio de la Defensoría del Pueblo en Colombia revela que las sobreocupaciones en los departamentos de urgencias pueden llegar hasta un 244%. Según los resultados publicados, lo anterior se debe principalmente a que las instituciones no tienen servicios sanitarios adecuados en términos de acceso, recursos disponibles y seguridad que den cumplimiento a la norma. Lamentablemente, aquellos que cuentan con el talento humano especializado, no tienen la suficiente capacidad instalada para cumplir con la demanda y, por lo tanto, las aglomeraciones siguen frecuentando las entidades de salud (Fernández & Suárez, 2020).

Debido a las diversas dificultades que presentan actualmente los sistemas de urgencias, se hace necesario intervenirlos, con el fin de mejorar las medidas de desempeño de estos. En ese sentido, la simulación de eventos discretos es una de las herramientas utilizadas para evaluar escenarios para la mejora de la calidad de los procesos (Benneyan, 1997), brindando la posibilidad de evaluar el desempeño de un modelo generado y probado con sus comportamientos y procedimientos generales antes de la fase de aplicación real y además permite comparar varios escenarios sin interferir con el sistema organizacional presente en la institución (Banks, 1999). Por otra parte, los modelos de simulación discretos representan eventos reales utilizando datos del sistema que se quiere representar, en el caso de las aplicaciones para el servicio de los sistemas de

salud, en el modelo se puede representar pacientes, personal médico y de enfermería, estudios de laboratorio, estudios de rayos x y sus recursos asociados (Connelly & Bair, 2008), permitiendo de esta manera, desarrollar el sistema lo más cercano a la realidad.

Dado lo anterior, la presente investigación tiene como objetivo crear un recurso experimental que permita realizar análisis de escenarios donde se evalúe el impacto de las estrategias que podrían aplicarse como solución a los diferentes problemas que enfrentan los sistemas de urgencias. Asimismo, este recurso permite valorar las estrategias de mejora antes de ser aplicadas en el sistema real, logrando de esta manera, obtener ahorros financieros potenciales, mejorar el rendimiento del sistema y aumentar la satisfacción de los pacientes.

En términos generales, este documento se encuentra estructurado de la siguiente manera: en el capítulo 1, 2 y 3, se presentan las especificaciones generales que enmarcan el desarrollo del presente proyecto; en el capítulo 4 se puede apreciar la metodología propuesta para la revisión de literatura y la construcción del modelo a realizar. En el capítulo 5 se presenta la respectiva revisión de literatura donde se muestran aplicaciones de simulación de eventos discretos en los servicios de urgencias de los sistemas de salud. Posteriormente, en el capítulo 6 se aborda el marco metodológico planteado para el desarrollo de modelos de simulación de sistemas de salud; en el capítulo 7 se presenta el desarrollo del caso de estudio, con su respectiva verificación, validación y análisis de los escenarios planteados y finalmente en el capítulo 8 y 9 se realizan las conclusiones y recomendaciones.

Teniendo en cuenta lo anterior, el cumplimiento de los objetivos planteados para la presente investigación se presenta en la Tabla 1.

**Tabla 1.***Cumplimiento de objetivos*

<b>Objetivo específico</b>	<b>Cumplimiento</b>
Identificar aplicaciones de simulación discreta en el mejoramiento del servicio en sistemas de salud, a partir de una revisión de literatura.	Capítulo 5
Caracterizar un sistema de urgencias a partir del análisis de datos e información de sus componentes.	Capítulo 7
Desarrollar el modelo de simulación en el software FlexSim	Capítulo 7
Evaluar escenarios para el mejoramiento del servicio de urgencias en sistemas de salud a partir de la experimentación y el análisis de los resultados de las medidas de desempeño seleccionadas	Capítulo 7
Elaborar un artículo académico de carácter publicable con base en los resultados obtenidos a partir de la investigación realizada	Apéndice Q

## 1. Objetivos

### 1.1 Objetivo General

Evaluar escenarios para el mejoramiento del servicio de urgencias en sistemas de salud a partir del desarrollo de modelos de simulación de eventos discretos

### 1.2 Objetivos Específicos

- Identificar aplicaciones de simulación discreta en el mejoramiento del servicio en sistemas de salud, a partir de una revisión de literatura.

- Caracterizar un sistema de urgencias a partir del análisis de datos e información de sus componentes.
- Desarrollar el modelo de simulación en el software FlexSim.
- Evaluar escenarios para el mejoramiento del servicio de urgencias en sistemas de salud a partir de la experimentación y el análisis de los resultados de las medidas de desempeño seleccionadas.
- Elaborar un artículo académico de carácter publicable con base en los resultados obtenidos a partir de la investigación realizada.

## 2. Planteamiento del Problema

Los servicios de urgencias, como un proveedor de los sistemas de salud, juegan una influencia significativa para la población beneficiaria, pues brindan servicios hospitalarios las 24 horas del día en los 365 días del año a un amplio y disperso grupo de pacientes que requieren atención rápida, eficiente y oportuna. Es por esta razón que los directores de estas instituciones buscan que sus decisiones sean asertivas, los procesos sean óptimos y los costos sean los adecuados, pues sin lugar a duda, al momento de salvar vidas, no debe haber cabida a errores o esperas extensas que pongan en riesgo la integridad de estos.

Con el pasar de los años, los sistemas de salud en el mundo ha sufrido grandes transformaciones , según Velásquez Restrepo y colaboradores (2011), esto se da debido principalmente a dos factores de crisis específicos: el crecimiento del gasto sanitario y una crisis

económica mundial. En los países latinoamericanos, la desproporción entre oferta y demanda de servicios de salud es un importante motivo de preocupación. Actualmente en Colombia, el sistema de salud atraviesa una crisis por la incontenible demanda de los servicios de salud, tanto así, que la mayoría de hospitales, clínicas y puestos de atención de salud registran niveles de ocupación promedio del 200 por ciento (Libertad, 2020) . Esta situación se ve también reflejada en la saturación de los servicios de urgencias, al punto de que los directivos se vean en la obligación de cancelar el servicio prestado al público. Por otra parte, es común ver pacientes sin atender en estas salas y esto se da principalmente a que urgencias tiene una alta tasa de ocupación, no en vano, el 70 y 75% de los ingresos totales hospitalarios provienen del departamento de emergencias (Ceballos Acevedo et al., 2014) y por tal motivo los procesos de atención suelen retrasarse.

Los sistemas de salud sean públicos o privados, enfrentan a menudo grandes desafíos, estos frecuentemente son causados por las elevadas demandas de servicio, gastos muy altos y recursos limitados. Dichos problemas presentados en estas organizaciones se ven reflejados principalmente en las salas de urgencias, por tanto, modelar el sistema real de esta área mediante técnicas de simulación es un método eficaz para la resolución de problemas de asignación de personal, disminución de costos, optimización de recursos y zonas de trabajo, entre otros, teniendo en cuenta que la simulación es una imitación de un sistema real en función del tiempo (Sasanfar et al., 2020).

Debido a la complejidad de gestionar todos los recursos en el área de emergencia de estas instituciones, se utiliza la simulación de eventos discretos como una herramienta para evaluar el desempeño de los procesos actuales y de posibles mejoras antes de la fase de una intervención real en el sistema, de igual manera. brinda oportunidades para comparar varios escenarios sin cambiar el sistema organizacional actual (Sasanfar et al., 2020).

El proyecto de investigación planteado es una contribución metodológica que apoya el desarrollo de proyectos de mejoramiento de los sistemas de salud. Teniendo en cuenta la situación de emergencia sanitaria que afronta el país y que dificulta las actividades de campo dentro de las instalaciones, se desencadena una serie de barreras para la aplicación y evaluación del impacto de las alternativas propuestas, por lo cual, se presenta una necesidad de profundizar en estrategias que fomenten la realización de este tipo de trabajos de investigación.

Por lo mencionado anteriormente, el proyecto planteado busca validar la metodología propuesta en un departamento de urgencias de un hospital regional, con el fin de contribuir por medio de la simulación de eventos discretos en la reducción de los problemas de hacinamiento que generalmente se presentan en los sistemas de salud. A su vez, el trabajo de investigación representa un valioso e importante aporte al desarrollo del sector de la salud en Santander puesto que el modelo propuesto cuenta con Interfaces Gráficas de Usuario (GUI) las cuales, al igual que el modelo de simulación representan un recurso experimental para el apoyo a la toma de decisiones. Esta herramienta permite el control del sistema de una manera más rápida y profesional, pues facilita el cambio de parámetros durante el proceso de prueba. Finalmente, se destaca que el modelo genérico desarrollado puede ser adaptado a otros contextos cuyas características puedan asemejarse a la propuesta y, además, representa para futuros estudiantes e investigadores del tema, la oportunidad de manipular componentes del modelo sin el requisito de tener experticia en la navegación del software.

### 3. Justificación

Los departamentos de urgencias de las entidades que prestan los servicios de salud en el mundo son sistemas muy complejos, los cuales cuentan con una serie de variables que se relacionan entre sí y que cambian a través del tiempo. A razón de la complejidad presentada en estas áreas, generalmente se experimentan problemas de hacinamiento debido a una mala planificación de los recursos y largos tiempos de espera.

Los servicios nacionales de salud necesitan herramientas de apoyo para la toma de decisiones basadas en técnicas de computación que faciliten la planeación y asignación de recursos (Hayden Duncan, 2010)

La simulación de atención médica no es solo una herramienta, es una solución que hace que una tarea tan abrumadora sea más fácil, requiera menos tiempo y, por consiguiente, un aprovechamiento eficiente de los recursos. Es el campo de pruebas ideal para un centro de atención médica, un entorno libre de riesgos en el que parte o la totalidad de un sistema de atención médica se puede modelar, probar y analizar para proporcionar información valiosa y precisa. (Why Simulation in Healthcare? It's All about Improving Patient Outcomes., n.d.)

En Colombia, según la Defensoría del Pueblo, los servicios de emergencia presentan sobreocupaciones que pueden llegar hasta el 244 por ciento y rangos de espera que alcanzan las nueve horas solamente en el triage (Fernández & Suárez, 2020), por lo que, la simulación aplicada en los departamentos de urgencias permite evaluar escenarios en los que se presenten mejoras, en términos de capacidad de atención a los pacientes, calidad en el servicio, entre otros, los cuales

pueden ser aprovechados por los hospitales y las Instituciones Prestadoras de Salud en el departamento de Santander y de todo el país.

Teniendo en cuenta la necesidad de resolver este tipo de problemas presentados en el área de urgencias del sistema de salud, el grupo de investigación OPALO se encarga de fortalecer conocimientos de trabajo relacionados con la simulación, la optimización, diseño de sistemas productivos, big data analytics, entre otros. Por este motivo, es importante resaltar la importancia del apoyo de este grupo para la realización del presente trabajo de investigación.

De esta manera, gracias al sin fin de beneficios que las herramientas de simulación brindan se puede mejorar las medidas de desempeño de los sistemas de urgencias, por tal razón, se plantea un proyecto de simulación con el objetivo de comprender los problemas críticos que se dan en el área de urgencias en los sistemas de salud, donde por medio del análisis de datos secundarios se pueda representar el comportamiento real de las actividades de una sala de urgencia y así generar estrategias que vuelvan más eficientes todos los procesos que la conforman.

## **4. Metodología**

### **4.1 Metodología para la revisión de literatura**

En la fase inicial del proyecto se desea profundizar en las investigaciones realizadas durante el paso de los años sobre simulación de eventos discretos aplicada al mejoramiento del servicio de urgencias en los sistemas de salud. Para llevar a cabo dicha revisión se plantea una

adaptación de la declaración PRISMA, la cual es una propuesta que mejora la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. A su vez, también cuenta con 7 cuadros que proporciona una explicación más detallada sobre aspectos claves para la metodología y la conducción de revisiones sistemáticas (Urrútia & Bonfill, 2010). En esta fase se propone una ecuación de búsqueda con la que se tiene una base de datos robusta relacionada con la temática de interés. Con los resultados obtenidos, se realiza un análisis bibliométrico a partir del software Vantage Point y se seleccionan los artículos considerando ciertos factores para ampliar conocimientos e identificar las aplicaciones que se han adaptado en diferentes sistemas de urgencias a lo largo de los años (Ver Tabla 2).

**Tabla 2.**

*Metodología para la revisión de literatura*

Fase		Descripción
Fuentes secundarias y contenido web		Realizar una búsqueda general en Google Académico sobre temas de simulación, con el fin de tener un acercamiento al tema en el cual se va a investigar,
Identificación de términos claves		Identificar los términos principales relacionados con los temas de la investigación
Revisión de literatura en instituciones y revistas especializadas		Seleccionar páginas web y registrar los artículos y documentos que puedan ser útiles para la presente investigación
Búsqueda de Tesoros y términos asociados		Seleccionar los tesauros que más se relacionen a las temáticas de la presente investigación.
Selección de términos y estructuración inicial de la ecuación de búsqueda		Estructurar la ecuación de búsqueda inicial en torno a los términos claves seleccionados.
Procedimiento de búsqueda	Selección base de datos	Estudiar detalladamente las bases de datos suministradas por la universidad y seleccionar la más adecuada para la investigación
	Estructura e implementación de la ecuación de búsqueda	Digitar la ecuación de búsqueda preliminar y realizar la respectiva búsqueda en la base de datos

Fase	Descripción
Análisis bibliométrico.	Realizar la descarga de los metadatos sobre los documentos clasificados para realizar análisis bibliométrico
Revisión preliminar de literatura	Realizar revisión preliminar de literatura de la producción científica encontrada para identificar aplicaciones de simulación en el mejoramiento de servicios de urgencias en sistemas de salud

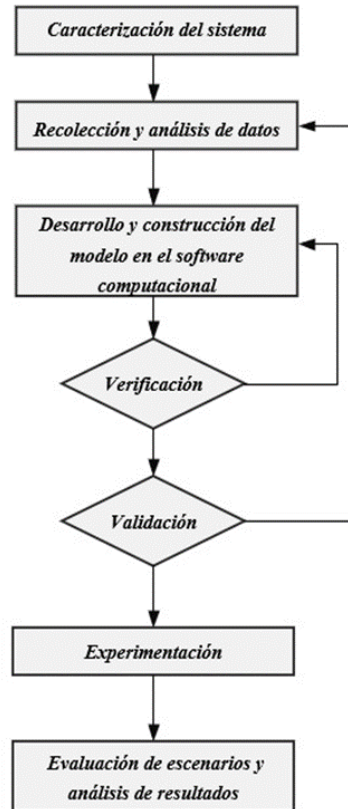
Nota: Adaptado de (Urrútia & Bonfill, 2010)

#### 4.2 Metodología propuesta para el modelado del servicio de urgencias

La metodología propuesta para la construcción y evaluación del modelo del servicio de urgencias tiene un enfoque similar a los estudios previos realizados por Duguay & Chetouane (2007) y Sánchez Sánchez et al. (2018). En estas investigaciones se evalúan escenarios a partir de la simulación de eventos discretos con el fin de mejorar los servicios de urgencias y presentan las etapas del proceso de un modelo de simulación las cuales servirán de guía para desarrollar el objetivo principal del presente proyecto.

**Figura 1.**

*Metodología para la implementación y análisis del modelo de simulación*



*Nota:* Adaptado de (Sánchez Sánchez et al., 2018).

#### **4.2.1 Caracterización del sistema**

La construcción de un modelo de simulación empieza con la definición del sistema, es decir, los objetivos que se buscan con el modelo y el conjunto de elementos que se van a incluir o excluir de este. Es así como en esta parte se limita el sistema según los objetivos a alcanzar, por lo tanto, la etapa de caracterización del sistema engloba el establecimiento de los objetivos, la

formulación y definición del problema y la identificación de las variables, atributos y las relaciones con otras variables (Sánchez Sánchez et al., 2018).

#### ***4.2.2 Recolección y Análisis de datos***

La elección y el tamaño de los datos a recopilar es fundamental para el diseño y validación del modelo (Duguay & Chetouane, 2007). Los datos son suministrados por parte del área de urgencias de un sistema de salud el cual cuenta con los registros históricos que sirven para la construcción y análisis del modelo a realizar. El análisis de datos incluye también el cálculo de funciones de distribuciones estadísticas las cuales se ajustan adecuadamente a la información suministrada, así como también promedios y tasas. Finalmente, el análisis de los datos realizados en esta parte junto con las mediciones necesarias del sistema real será utilizados en la correspondiente construcción del modelo en el software computacional.

#### ***4.2.3 Desarrollo y construcción del modelo en el software computacional***

El modelo será construido en el software FlexSim, esto con el fin de ver el sistema en tiempo real y observar los problemas que generan cuellos de botella dentro del área de urgencias. El uso de programas de simulación como FlexSim no solo permiten emular visualmente el funcionamiento de un sistema real, sino que también, facilita ciertos cálculos como tiempo de espera de los pacientes, tiempo de servicio, tasa de utilización del sistema y otras medidas de desempeño que servirán como apoyo al análisis de escenarios alternativos que permitan mejorar el servicio del departamento de urgencias estudiado.

#### ***4.2.4 Verificación y validación del modelo***

En esta etapa se garantiza una correcta programación del modelo a través de la verificación, de modo que este debe estar relacionado con respecto al modelo conceptual desarrollado en la caracterización del sistema. La verificación será realizada frecuentemente en la construcción del modelo, con el fin de corroborar que las variables almacenen los valores correctos, los diferentes elementos que representan los puestos de trabajo o de atención, entre otros (Sánchez Sánchez et al., 2018).

Por otra parte, en esta sección también se realiza la validación, con el objetivo de garantizar que el modelo presentado del servicio de urgencias sea lo más parecido al sistema real. Una vez validado el sistema se pueden plantear opciones de mejora para el posterior análisis de escenarios y toma de decisiones.

#### ***4.2.5 Experimentación***

Una vez validado el sistema se procede a la experimentación del modelo. Esta consiste en generar los datos deseados y en realizar los análisis de sensibilidad de los índices requeridos para el correcto análisis de escenarios (“Etapas de Simulación,” 1993). En esta etapa, se interpretan los resultados que ayuden a tomar decisiones para el mejoramiento del sistema.

#### *4.2.6 Evaluación de escenarios y análisis de resultados*

En esta fase, se procede a realizar las diferentes pruebas de escenarios, dichos eventos deben contribuir a solucionar problemas que se estén presentando actualmente en el sistema real. La etapa de evaluación de escenarios, por lo tanto, concluye con recomendaciones que aporten a la toma de decisiones asertivas para el mejoramiento del sistema (Sánchez Sánchez et al., 2018).

### **5. Revisión de Literatura**

En el presente capítulo se realiza la revisión de literatura de las principales aplicaciones de la simulación de eventos discretos en los servicios de emergencias de los sistemas de salud. La estructura de la revisión se divide en dos bloques, en el primer lugar se presenta el marco teórico relacionado con las temáticas de interés de la presente investigación y como segunda instancia se analiza la producción de literatura relacionada con el tema de investigación.

## 5.1 Marco Teórico

### 5.1.1 Simulación

La Simulación representa la estructura de un proceso dinámico mediante el desarrollo de un modelo, integrado valores condicionales iniciales, parámetros y variables exógenas, logrando de esta manera representar la conducta de un proceso a través del tiempo (Parra Garces, 1981).

En 1975, Thomas H. Naylor define a la simulación como:

Una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos periodos de tiempo (Naylor, 1975).

Por otra parte, la simulación implica construir un modelo muy cercano al sistema real, el cual puede ser usado para generar diferentes escenarios, de tal forma que permita identificar el comportamiento y la respuesta del sistema frente a situación que se desean programar antes de ser implementadas en el mundo real (Hoeger, n.d.)

Finalmente, de acuerdo con Fullana & Urquía (2009) la simulación permite proyectar, evaluar y contemplar los procesos actuales y futuros sin llegar a tomar riesgo por implementar cambios en un sistema real. Gracias a este privilegio que brinda esta herramienta, en muchas organizaciones se fundamentan en simular sus procesos para tomar decisiones más precisas, y de esta manera replantear y medir la satisfacción del cliente ante un nuevo proceso. Todas lo anterior, respalda la teoría de simulación como un instrumento ideal y veraz para un esfuerzo de replanteamiento de la empresa (p.2).

### 5.1.2 Simulación de eventos discretos

Los sistemas de eventos discretos son actualmente los más estudiados e investigados por muchos estudiosos del tema. Su característica principal son las variables de estado, ya que estas definen el estado del sistema en todo momento y se modifica únicamente en un conjunto discreto de instantes de tiempo. El comportamiento discreto brinda la oportunidad de implementar en un software computacional mediante una lista de elementos necesario, estos son: sucesos futuros, un reloj que salte en el tiempo hacia el siguiente suceso y unos acumuladores estadísticos que actualicen las variables de estado y las de salida. Básicamente se crea una historia digital del sistema a partir de las simulaciones del modelo y de esta forma se compruebe el correcto funcionamiento del sistema (3 Simulación de Eventos Discretos, s.f, p.5).

Según (García Dunna et al., 2013) la simulación de eventos discretos consiste en:

Relacionar los diferentes eventos que pueden cambiar el estado de un sistema bajo estudio por medio de distribuciones de probabilidad y condiciones lógicas del problema que se esté analizando. Por ejemplo, un proceso de inspección donde sabemos estadísticamente que 0.2 % de los productos tiene algún tipo de defecto, puede simularse con facilidad mediante una simple hoja de cálculo, al considerar estadísticas de rechazos y productos sin defecto, y al asignar una distribución de probabilidad con 0.2 % de oportunidad de defecto para cada intento de inspección (p.15).

De igual manera, el autor afirma que la simulación de eventos discretos es “el conjunto de relaciones lógicas, matemáticas y probabilísticas que integran el comportamiento de un sistema bajo estudio cuando se presenta un evento determinado. El objetivo del modelo de simulación consiste en comprender, analizar y mejorar las condiciones del sistema de operación” (p.16)

Teniendo en cuenta la segunda edición del libro Simulación y Análisis de Sistemas con ProModel de Dunna, E. G., Reyes, H. G., & Barrón, L. E. C. (2006), se definirán los elementos importantes que se deben tener presentes al momento de realizar un modelo de simulación de eventos discretos.

Como primera instancia, un **sistema** es un conjunto de elementos que se interrelacionan para funcionar como un todo, desde un punto de vista de la simulación, tales elementos deben tener una frontera clara. Cada uno puede dividirse en elementos que son relevantes para la construcción de lo que será su modelo de simulación; entre ellos tenemos entidades, estado del sistema, eventos actuales y futuros, localizaciones, recursos, atributos, variables, y el reloj de la simulación, los cuales a continuación se describen:

- **Entidades:** representación de los flujos de entrada y salida en un sistema; al entrar a un sistema una entidad es el elemento responsable de que el estado del sistema cambie.
- **Estado del sistema:** condición que guarda el sistema bajo estudio en un momento de tiempo determinado; es como una fotografía de lo que está pasando en el sistema en cierto instante.
- **Evento:** cambio en el estado actual del sistema.
- **Eventos actuales y futuros:** los eventos actuales, son aquellos que están sucediendo en el sistema en un momento dado, y los eventos futuros, son los cambios que se presentarán en el sistema después del tiempo de simulación, de acuerdo con una programación específica.
- **Localizaciones:** lugares en los que la pieza puede detenerse para ser transformada o esperar a serlo
- **Recursos:** aquellos dispositivos — diferentes a las localizaciones— necesarios para llevar a cabo una operación

- **Atributos:** característica de una entidad. Por ejemplo, si la entidad es un motor, los atributos serían su color, peso, tamaño o cilindraje
- **Variables:** condiciones cuyos valores se crean y modifican por medio de ecuaciones matemáticas y relaciones lógicas.
- **Reloj de la simulación:** contador de tiempo de la simulación, su función consiste en responder preguntas tales como cuánto tiempo se ha utilizado el modelo en la simulación, y cuánto tiempo en total se quiere que dure esta última. (p.16-17)

### *5.1.3 Sistemas de salud*

Según la Organización Mundial de la Salud (2005) “Un sistema de salud es la suma de todas las organizaciones, instituciones y recursos cuyo objetivo principal consiste en mejorar la salud. Un sistema de salud necesita personal, financiación, información, suministros, transportes y comunicaciones, así como una orientación y una dirección general. Además, tiene que proporcionar buenos tratamientos y servicios que respondan a las necesidades de la población y sean justos desde el punto de vista financiero. El principal responsable del desempeño global del sistema de salud de un país es el Gobierno Nacional, pero también resulta fundamental la buena rectoría de las regiones, los municipios y cada una de las instituciones sanitarias” (p.1).

Además, tiene que proporcionar buenos tratamientos y servicios que respondan a las necesidades de la población y sean justos desde el punto de vista financiero. El principal responsable del desempeño global del sistema de salud de un país es el Gobierno Nacional, pero también resulta fundamental la buena rectoría de las regiones, los municipios y cada una de las instituciones sanitarias” (p.1).

De acuerdo con Díaz de León (2018, p.1) la OMS define que los sistemas de salud se organizan en cuatro funciones básicas: rectoría, financiamiento, generación de recursos y provisión de servicios de salud. Según Abrutzky et al. (2009, p.4) el sistema de servicios de salud está conformado por tres modelos: “El público, con financiación y provisión públicas; el de la seguridad social, que corresponde a las obras sociales nacionales; y el privado, que incluye el seguro voluntario prepago, organizado según los cálculos de riesgo actuarial”.

Por otro lado, es importante conocer el sistema de salud colombiano para el desarrollo del presente proyecto de investigación. De acuerdo con Guerrero et al. (2011) el sistema de salud colombiano está formado por un amplio sector de seguridad social y un reducido número de personas pertenecientes al sector privado. El eje central es el Sistema General de Seguridad Social en Salud (SGSSS) con sus dos regímenes, el régimen contributivo (RC) y el régimen subsidiado (RS). El régimen contributivo afilia a trabajadores asalariados y pensionados y a los trabajadores independientes con ingresos iguales o superiores a un salario mínimo. El régimen subsidiado afilia a personas que no tienen capacidad de pago, generalmente, personas de Sisbén bajo o de estratos bajos. En 2010 las coberturas fueron de 39.7% y 51.4% de la población total, respectivamente. Los Regímenes Especiales (RE) afilian a los trabajadores de las Fuerzas Militares, la Policía Nacional, la Empresa Colombiana de Petróleos (ECOPETROL), el Magisterio y las universidades públicas. En 2010 sólo 4.3% de la población permanecía fuera del sistema de seguridad social en salud. El RC opera con base en una cotización de sus afiliados. El RS opera con base en un subsidio cruzado del RC más otros fondos fiscales procedentes de impuestos generales (p.1).

#### 5.1.4 Servicio de urgencias

Según Bravo Corrales et al. (2008) servicio de urgencias “es la unidad que en forma independiente o dentro de una entidad que preste servicios de salud, cuenta con los recursos adecuados tanto humanos como físicos y de dotación que permitan la atención de personas con patología de urgencia, acorde con el nivel de atención y grado de complejidad previamente definidos por el Ministerio de Salud para esa unidad” (p.14).

La atención urgente debe ser respondida con un sistema integral de urgencias. Jiménez (2014) plantea que esta unidad representa el conjunto de actividades desarrolladas de manera coordinada por medio de manuales o protocolos de atención dirigidos a brindar la asistencia óptima y oportuna a los pacientes que se encuentran en estado crítico, desde el momento que llegan a las instalaciones solicitando un servicio hasta su hora de salida (p.46).

De acuerdo con el manual que propone el autor el servicio de urgencias comprende:

- La evaluación inicial de los pacientes para determinar los riesgos para su salud y de esta manera priorizar la asistencia sanitaria que precisen.
- La realización de diagnósticos precisos.
- La monitorización, observación y reevaluación de los pacientes
- Informar y asesor a los pacientes o, en su caso, a los acompañantes, sobre el estado de salud actual.
- El transporte sanitario, asistido o no asistido, según lo requiera la situación clínica

Una vez atendida la situación de urgencia se procederá al alta de los pacientes o al ingreso hospitalario (p.47).

De otra parte, Bibiano Guillén (2018) afirma que “los servicios de urgencias deben proporcionar una asistencia multidisciplinar. Tienen que cumplir una serie de requisitos

funcionales, estructurales y organizativos con el fin de garantizar la atención urgente y emergente, cumpliendo siempre unas condiciones de calidad, eficiencia y seguridad adecuadas”. (p.23)

De acuerdo con Bibiano Guillén el servicio de Urgencias comprende el Triage. Proceso en el cual son clasificados los pacientes con el fin de priorizar la asistencia sanitaria y asignar el recurso asistencial adecuado a los pacientes que acuden a las instalaciones. Los pacientes deben ser categorizados dependiendo su estado de entrar a las instalaciones, estos son:

- Atención de urgencia vital, categorizada como emergencia, politraumatizado, reanimación cardiopulmonar.

- Atención a la patología urgente clínicamente objetivable.

- Atención a la patología menos urgente y no urgente con respuesta adaptada a la solicitud.

- Observación clínica: en esta categoría se realiza observación detallada del paciente por un corto periodo de tiempo, seguido de este paso se procede a darle el tratamiento y la valoración de la evolución. Desde esta unidad se decide si el paciente puede ser dado de alta o debe ser ingresado la sala de urgencias.

## 5.2 Análisis de Literatura

En el presente capítulo se realiza la revisión de literatura de las aplicaciones de simulación discreta en el servicio de emergencias de sistemas de salud. La estructura de la revisión de los artículos se divide en dos bloques donde se analiza la producción de literatura científica y literatura gris respectivamente.

### 5.2.1 *Literatura científica*

Los servicios de urgencias (Velásquez Restrepo et al., 2011). A raíz de estos problemas, diversos investigadores han realizado muchos estudios utilizando simulación de eventos discretos para mejorar los sistemas de emergencia y la satisfacción de los pacientes.

Draeger (1992), emplea modelos de simulación en tres departamentos de emergencias del hospital de Bethesda (Estados Unidos) con el fin evaluar el desempeño del proceso y obtener una previsualización del impacto que tiene implementar un personal de enfermería alternativo en el flujo de pacientes del sistema. Dicho modelo incluye las siguientes medidas de desempeño: tiempo de espera del paciente, tiempo de servicio y la tasa de utilización del sistema. Años más tarde, Muñoz & Marcelo (2004) analizan diferentes escenarios para disminuir la estancia hospitalaria de los pacientes dentro del servicio de urgencias de un hospital regional de Chile a partir de la simulación de eventos discretos. El modelo de simulación muestra las salas de tratamiento que están siendo infrautilizadas por una categoría particular de pacientes, por lo que se plantea trasladarlas a otros pacientes con una tasa de utilización más alta. Esta estrategia permite disminuir el tiempo de espera del paciente en más de 70% sin necesidad de realizar grandes inversiones.

Un año después, los investigadores A. Komashie & Ali Mousavi (2005) desarrollan un modelo de simulación de eventos discretos para apoyar la toma de decisiones de los directores de un departamento de emergencias en Orlando, Florida modelando el comportamiento del sistema con el objetivo de conocer la zona de trabajo donde se está generando tiempos de espera excesivos. El modelo se desarrolla mediante el software Arena Simulation de Rockwell Automation y gracias a este estudio los administradores del hospital modifican algunos procesos del departamento.

Asimismo, Duguay & Chetouane (2007) con el fin de reducir los tiempos de espera de los pacientes, mejorar la prestación general de los servicios y el rendimiento del sistema del

departamento de emergencias en el Dr. Georges Hospital L. Dumont en Moncton (Canadá) utilizan la simulación discreta a través del software de simulación Arena. Gracias al modelo de simulación se diseñan alternativas basadas en la adicción de personal y salas de examen las cuales permiten aumentar la capacidad del sistema y apoyar a los directivos de la unidad de salud en la toma de decisiones. De igual manera, Xu y colaboradores (2008) desarrollan un modelo de simulación de eventos discretos en el departamento de emergencias del Centro Médico Foothills en la Región de Salud de Calgary, el cual comprende dos etapas cruciales, la primera relacionada con el flujo de pacientes y su interacción con los recursos del departamento y la segunda corresponde a simular las políticas operaciones. El modelo se construye mediante el software Arena utilizando registros de 24.714 pacientes que visitaron las instalaciones y los resultados de la simulación muestran el potencial de aumentar la capacidad médica y por consecuencia mejorar la eficiencia del sistema de urgencias.

Por otra parte, Raunak, Osterweil, Wise, Clarke & Henneman (2009) sugieren una arquitectura para apoyar las simulaciones de eventos discretos basada en procesos y recursos. Los resultados iniciales indican una considerable gama de enfoques para la mejora de los departamentos de emergencias y sugieren resultados alentadores de la simulación como herramienta predictiva para mejorar el desempeño de estos.

La simulación de eventos discretos mediante herramientas computacionales también se utiliza para preparar las áreas de urgencias ante cualquier fluctuación en la demanda. Holm & Dahl (2010) evalúan la significancia que tiene un aumento del 45% en el flujo de pacientes del departamento de emergencia del Hospital Universitario de Akershus ubicado en la Gran Región de Oslo, Noruega. El modelo de simulación discreta junto con el análisis de escenario muestra que aumentar la capacidad de ocho a nueve enfermeras y de ocho a doce médicos es suficiente para

satisfacer este posible caso de variación de la demanda dentro del departamento de emergencia del hospital. El modelo se desarrolla en el software de simulación FlexSim Healthcare y se evalúan diez escenarios diferentes relacionados con el número de salas de tratamiento y personal.

Gracias a los modelos de simulación de eventos discretos muchos departamentos de emergencias han mejorado sus procesos de atención y por lo tanto la satisfacción de los pacientes, como es el caso de Haas, Liu, Heragu, Evans & Price (2011), quienes, desarrollan un modelo del Departamento de Urgencias Hospitalarias de la Universidad de Louisville (UoFL) mediante Simulación de Plantas de Siemens Tecnomatix y emulan el flujo de pacientes real del sistema. En este estudio se tienen en cuenta tres medidas de desempeño claves: tiempo de procesamiento del paciente, número de camas del departamento de emergencias disponibles y el promedio de enfermeras disponibles. Después de analizar los resultados de los escenarios de mejora propuestos, los autores sostienen que implementar los cambios recomendados permiten disminuir significativamente el tiempo de procesamiento de los pacientes y por tanto aumentar la satisfacción del cliente.

Si bien es clara la cantidad de beneficios que brinda la simulación en los sistemas de urgencias, se utilizan también para evaluar las políticas de planificación de recursos de los departamentos de emergencias. De esta manera, Venugopal y colaboradores (2012) presentan un modelo de simulación por computadora para comprender el comportamiento del departamento de emergencias en Melbourne y obtener diferentes escenarios que les permita evaluar las actuales políticas de manejo de recursos del sistema. Los resultados muestran que el tiempo de servicio del paciente en el sistema de alternativas es significativamente diferente al actual por lo que se recomienda ajustar algunas políticas presentes en el departamento de emergencia. Así mismo, Carmen, Defraeye & Van Nieuwenhuyse (2015) en su artículo de investigación presentan un

sistema de apoyo de decisiones para mejorar el flujo de pacientes en los servicios de urgencias utilizando como caso de estudio un gran hospital regional de Bélgica. Dicho sistema de apoyo está basado en un modelo de simulación de eventos discretos el cual tiene como objetivo respaldar la planificación de la capacidad en el área de urgencias con el fin de controlar el tiempo en el cual es atendido el paciente. Como resultado, la dirección del hospital respalda el sistema como una fuente viable, veraz, útil y flexible para la toma de decisiones de planificación de recursos.

Uno de los problemas más graves que enfrentan diversos sistemas de urgencias alrededor del mundo es la incapacidad de brindar servicios hospitalarios de forma eficiente y rápida, ocasionando de esta manera posibles problemas de hacinamiento dentro de sus instalaciones. Los problemas de hacinamiento generan retrasos en los procesos de atención, bajos índices de calidad y tiempos de espera excesivos. Dada la creciente demanda de los sistemas de urgencias, el departamento del Centro Médico de la Universidad de Virginia (UVA) plantea construir una nueva torre de urgencias para mejorar su capacidad e incluyen un estudio de simulación de eventos discretos para la nueva instalación con los investigadores Cocke y colaboradores (2016) donde con las dos medidas de desempeño claves (duración total de la estadía del paciente y tiempo de llegada al proveedor) proponen en el futuro espacio de urgencias aumentar en un 25% el cronograma de personal. El objetivo principal de la propuesta es aliviar el problema de hacinamiento actual, reducir el tiempo de llegada al proveedor de salud y disminuir la estadía del paciente en el departamento de emergencias.

Día a día crecen las ayudas tecnológicas para las distintas unidades de salud, en especial de los departamentos de emergencias, buscando contribuir a la realización de procesos más rápidos y óptimos, reducir tiempos de espera y prevenir problemas de hacinamiento. Sin embargo, como lo afirman Hossain, DeBusk, Hasan, Jaradat & Khasawneh (2017) los pacientes se encuentran

frecuentemente a situaciones irritantes, pues muchos departamentos tienen serios problemas con las salas de espera, generando insatisfacción de los pacientes y como consecuencia implicando que sus instalaciones lleguen a una situación de hacinamiento. Por esta razón, Nahhas, Awaldi & Reggelin (2017) demuestran estrategias de solución basadas en simulación de eventos discretos para lidiar con problemas de hacinamiento para un centro de atención de urgencias. Los escenarios simulados informaron la cantidad de sala de procedimientos que se necesita realmente en el sistema, salas de examen y personal médico y por medio de estas soluciones aportar a la reducción del problema creciente de la saturación del sistema de urgencias.

Algunos autores han trabajado en conjunto combinando varias herramientas para reducir los tiempos de espera en los departamentos de emergencia. Por ejemplo, Lin & Chia (2017) en su artículo de investigación estudian las complejidades de disminuir los tiempos de espera de los pacientes de un servicio de urgencias mediante el uso de un enfoque de pronóstico ARIMA para las llegadas diarias de pacientes de urgencias y la simulación de eventos discretos del sistema. El número de pacientes pronosticado y los análisis de escenarios planteados se prueban mediante experimentos de simulación para determinar si existe una mejora significativa en el tiempo de espera de los pacientes. Como resultado de la simulación, se concluye que los métodos de previsión ARIMA junto con los modelos de simulación puede ser un método eficaz para optimizar la planificación de los médicos con la finalidad de disminuir los tiempos de espera de los pacientes.

Finalmente, la simulación de eventos discretos también se utiliza para resolver los problemas de asignación de personal médico. Marchesi, Hamacher & Fleck (2020) proponen un modelo de solución que respalda la dotación de personal médico y la programación en el servicio de urgencias, considerando las incertidumbres relacionadas con la llegada de los pacientes. Utilizan la simulación de eventos discretos con el objetivo de mejorar los tiempos de espera y de

cola alineando la capacidad del sistema con la demanda lo que permite que las condiciones operativas no sufran perturbaciones y por consiguiente la asignación del personal sea la más estratégica posible.

### ***5.2.2 Literatura gris***

A pesar de que los sistemas de urgencias alrededor del mundo pueden variar unos de otros dada su capacidad instalada, la mayoría de ellos tienen la probabilidad de sufrir problemas de hacinamiento en algún momento, derivado de factores externos como internos del sistema. Monterrosa & Canchila (2013) investigan en un hospital en Cartagena de Indias, Colombia las principales causas de congestión y desarrollan un modelo mediante la simulación de eventos discretos para hacer frente a los 82 min de espera que tienen a pasar los pacientes. Después de validar el modelo, los autores recomiendan asignar un nuevo servidor de triaje en el departamento de emergencias para disminuir los tiempos de atención y adicional recomiendan hacer un análisis de horarios del personal teniendo en cuenta la capacidad del sistema y la demanda de pacientes solicitada.

Los servicios de urgencias en Colombia se enfrentan frecuentemente a retos operacionales donde requieren mejorar su capacidad y rendimiento para satisfacer la demanda de la región establecida. Es por este motivo que en diversos hospitales a nivel nacional han desarrollado investigaciones que contribuyen al mejoramiento del servicio de urgencias y de esta manera aportan a la estabilidad de los servicios de salud. Una investigación realizada por Grimaldo, Silva, Espitia & Pan (2015) en el Hospital San Rafael Tunja, Boyacá presenta un modelo de simulación de eventos discretos específicamente para procesos mínimos o procesos ambulatorios utilizando el software FlexSim. Inicialmente realizan un diagnóstico del sistema para saber las condiciones

actuales y encontrar los cuellos de botella del sistema y finalmente proceden a identificar las alternativas de mejora. Según los autores, con el modelo propuesto se logra reducir en un 18,7% el tiempo de espera de los usuarios en el sistema, generando menos aglomeración en las instalaciones y por consiguiente satisfacción de los usuarios.

Por otra parte, Herrera, Ramírez & Amaya (2015) desarrollan una herramienta de apoyo que sirve para la toma de decisiones en la salas de urgencias de los hospitales. Para cumplir con el objetivo implementan un modelo de simulación de eventos discretos en el software Simio basado en datos recopilados de hospitales en Bogotá. Gracias a dicho modelo de simulación discreta, los directivos de los hospitales pueden ver el impacto de sus decisiones antes de ponerlas en marchas sin incurrir en altos costos.

Asimismo, Mendoza, González, Corcho & Berdugo (2016) evalúan el comportamiento actual de urgencias de una Institución Prestadora de Servicios en el departamento del Atlántico. El modelo se desarrolla por medio del software FlexSim 7 y se plantean simulaciones discretas con el objetivo de proponer alternativas de mejora que permitan reducir el número de pacientes remitidos a otras entidades debido a la aglomeración del sistema. Los escenarios propuestos abarcan desde implementar una nueva zona de triaje y asignar horarios específicos de médicos y especialistas. Según los resultados analizados los pacientes readmitidos a otras instituciones reducen significativamente, aumentando de esta manera los ingresos de la entidad prestadora de salud.

Posteriormente, Rodríguez Gil & Roa (2019) en su tesis de investigación plantean un modelo de simulación de eventos discretos con el fin de mejorar el acceso al sistema de urgencias y por consiguiente evitar la congestión en los centros de atención de la clínica Universidad de la Sabana. A su vez, contemplan el uso de la metodología Lean Six Sigma con la simulación discreta

para plantear tres escenarios de mejora en los procesos, los cuales permiten reducir en un 22% los tiempos de atención de los pacientes. Para cumplir con los objetivos se desarrolla el modelo en el software de simulación Simio y se toman como medidas de desempeño la cantidad de pacientes atendidos y el tiempo promedio en el sistema por paciente.

Teniendo en cuenta la revisión de literatura científica y gris de las aplicaciones de la simulación de eventos discretos a los servicios de urgencias, es claro mencionar que a través de los años se ha abarcado con más detalle las distintas medidas de desempeño con las cuales se puede trabajar un modelo de simulación de este tipo, permitiendo de esta manera descubrir herramientas y metodologías que contribuyan en el desarrollo de la presente investigación.

Para cerrar este capítulo, los sistemas de urgencias son instituciones de salud con procesos operacionales complejos, los cuales pueden ser analizados mediante herramientas de simulación de eventos discretos debido a que permiten evaluar alternativas y proponer escenarios de mejora con la finalidad de incrementar el rendimiento de la organización que está siendo estudiada. La simulación de eventos discretos le da un valor agregado a la toma de decisiones ya que reduce el riesgo de caer en inversiones muy altas pues permite evaluar con anterioridad el impacto sin interferir con el sistema real. Esta revisión de literatura incluye un análisis bibliométrico el cual se encuentra disponible en el Apéndice A.

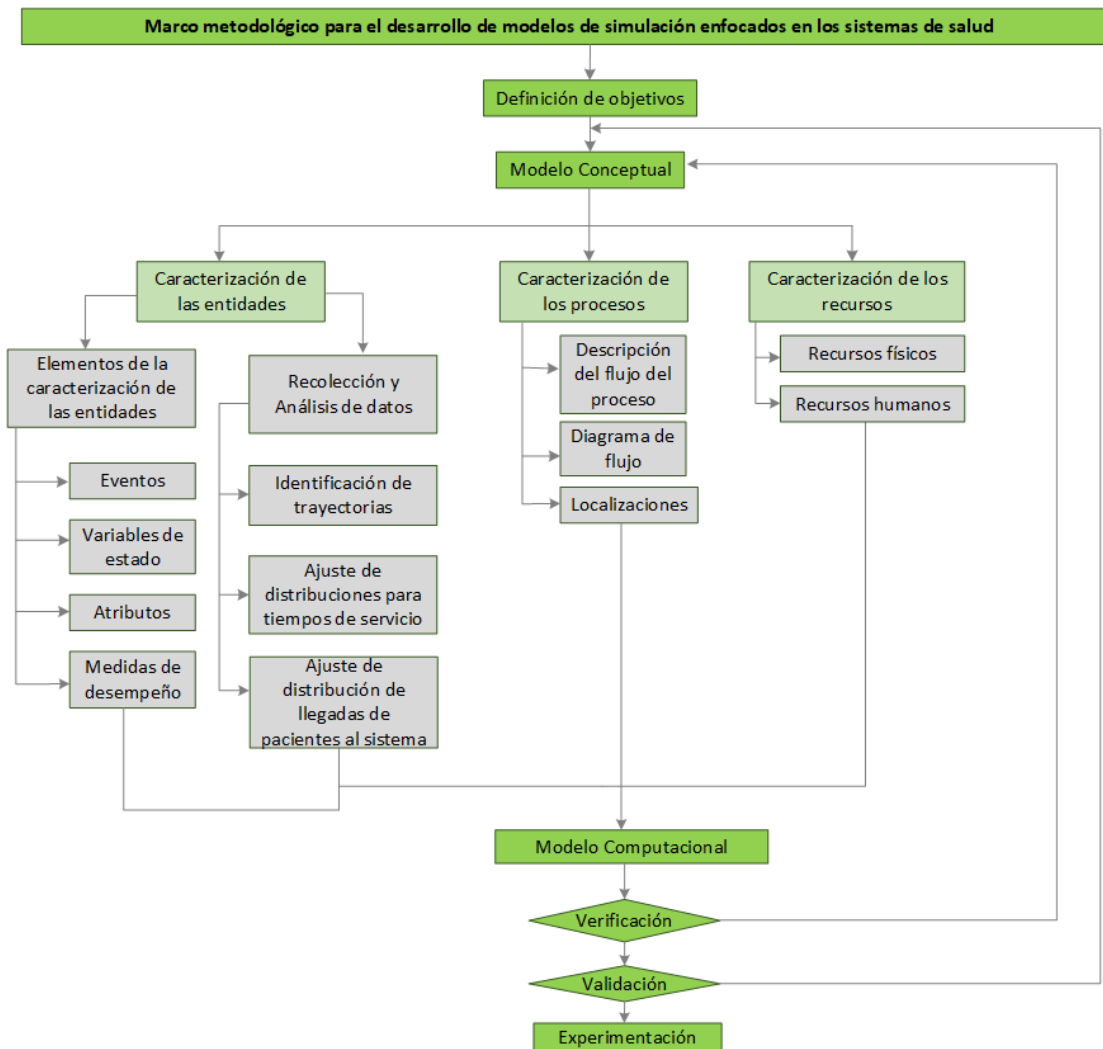
## **6. Marco metodológico para el desarrollo de modelos de simulación enfocados en los sistemas de salud**

El desarrollo de un proyecto de simulación enfocado en los sistemas de salud contempla varias etapas, las cuales están conectadas una a una con el fin de cumplir los objetivos trazados y

determinar posibles mejoras al sistema real que se esté modelando. En el presente capítulo se presenta un marco metodológico para el desarrollo de proyectos de simulación de sistemas de salud, que representa una guía para futuros trabajos que estén inmersos en la misma área. (Ver Figura 2)

**Figura 2.**

*Marco metodológico*



## 6.1 Definición de Objetivos

El desarrollo de un proyecto de simulación inicia principalmente con la definición de los objetivos que se quieren alcanzar, ya que de ellos depende el alcance al cual se desea llegar, los entregables a realizar y las etapas que se deben cumplir durante su ejecución; es importante aclarar que para el éxito del mismo es fundamental plantear objetivos precisos, razonables y alcanzables. Asimismo, los objetivos deben estar centrados en sacar provecho del modelo experimental para facilitar la construcción de escenarios donde se plantean alternativas de mejoras.

La definición de los objetivos para el desarrollo de un modelo de simulación es de suma importancia, debido a que con ellos se adecua la gestión de las actividades o etapas que se esperan culminar y se proyectan los alcances que se desean lograr.

Los objetivos que persiguen los modelos de simulación enfocados en sistemas de salud están relacionados con el estudio de uno o varios escenarios de mejora que permitan incrementar los rendimientos de los procesos de atención, donde por medio del logro de cada una de las etapas definidas como caracterización, construcción del modelo, verificación, entre otros, se permita llegar a la culminación del alcance trazado.

Los objetivos deben ser redactados como párrafos independientes y en lenguaje natural, se redactan en infinitivo utilizando verbos tales como analizar, identificar, construir, etc. Adicionalmente, se recomienda formular un objetivo general y desglosarlos en varios específicos, encaminando el primero hacia el resultado final que se desea obtener y los específicos al desglose de acciones que permitan llegar a la finalidad del objetivo general (Suárez et al., 2016). En el planteamiento del objetivo general se debe considerar el modelo de simulación como la estrategia que permite lograr su cumplimiento. De esta manera, dicho objetivo debe estar orientado a lo que se espera lograr con el desarrollo del recurso experimental; es decir, a las actividades que se pueden

ejecutar con el modelo de simulación realizado, como es la evaluación de escenarios de mejora, la comparación de alternativas, entre otras.

Para formular un objetivo se deben contemplar los siguientes elementos:

- El uso de verbos en infinitivo, con el fin de identificar de forma clara la acción a realizar.
- En la formulación se debe quedar expresado de forma clara y totalizada el resultado concreto, el cual debe ser ponderado en la solución del problema planteado. Estos deben estar dirigidos a conseguir datos, suministrar teorías, analizar información, entre otros.
- Los objetivos enfocados en simulación buscan de manera sistemática especificar la estructura del desarrollo del modelo a simular.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede plantear un objetivo general complementado con objetivos específicos. Por ejemplo, si se desea simular un sistema de urgencia para realizar un rediseño de sus instalaciones los objetivos pueden estar encaminados de la siguiente manera:

Objetivo general:

Evaluar el escenario de propuesta de mejora relacionada con el rediseño de un sistema de urgencias a partir del desarrollo de un modelo de simulación de eventos discretos.

Objetivos específicos:

- Caracterizar el sistema de urgencias a partir del análisis de la información.
- Desarrollar el modelo de simulación de eventos discretos en el software seleccionado.
- Verificar y validar el modelo del sistema.
- Evaluar la propuesta de rediseño planteada.

Finalmente, es importante señalar que la construcción de los objetivos depende de las necesidades que los autores identifiquen y se limitan según sean los recursos e información con la que se cuente para realizar la investigación.

## 6.2 Modelo Conceptual

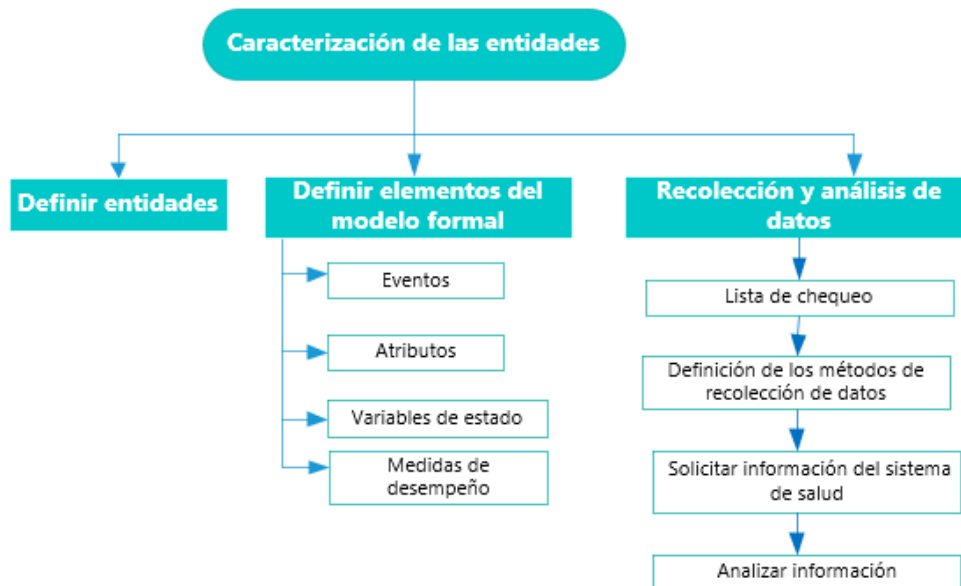
En esta etapa se contempla aspectos importantes que se deben definir para la construcción de un modelo de simulación, pues se describe las propiedades que se deben tener en cuenta en el modelo de una manera abstracta y clara, logrando especificar lo que se espera modelar. Esta etapa está conformada por 3 fases importantes:

### 6.2.1 Caracterización de las entidades

La caracterización de las entidades contempla varios elementos, donde cada uno de ellos deben ser definidos a detalle con el fin de realizar una representación idónea del sistema a simular. Dichas entidades transitan a través del modelo, cambian de estado y son afectadas según sea la trayectoria definida e influyen en las medidas de desempeño seleccionadas. Teniendo en cuenta lo anterior, en la figura 3 se pueden observar los elementos y pasos fundamentales que permiten integrar todos los detalles que complementa esta etapa.

**Figura 3.**

*Elementos de la caracterización de las entidades*



**6.2.1.1 Definir las entidades del sistema.** En primer lugar, en esta fase se establecen las entidades con las cuales se trabaja el modelo. Para los sistemas de salud la entidad que se define son los pacientes, los cuales según sea la necesidad del proyecto se pueden clasificar para diferenciar las rutas que siguen en el sistema. No obstante, la caracterización de dichas entidades está sujeta a criterio del modelador y a las necesidades que surgen a medida que se da la construcción del modelo.

**6.2.1.2 Elementos del modelo formal.** Una vez definida las entidades del modelo a construir, se establecen aquellos elementos que forman parte del modelo formal, como los son los eventos, atributos, variables de estado y las medidas de desempeño. Dichos componentes permiten conceptualizar el sistema de una forma más completa e integrar aquellos procesos claves que se

deben tener en cuenta en el momento del diseño y construcción del modelo computacional. A modo de detalle, cada uno de ellos representa:

- **Eventos:** son aquellos sucesos que pueden ocurrir durante la simulación en función del proceso que se esté estudiando, de tal forma que pueden ocurrir en un instante de tiempo determinado el cual tiene la particularidad de cambiar el estado del sistema, los atributos o las variables que lo componen. Estos pueden ser de dos tipos; endógenos si se dan por condiciones propias del modelo o exógenos si suceden por causas externas a los mismos. Algunos ejemplos pueden ser desde la llegada de un paciente al sistema, la finalización de un proceso de atención o la asignación de un recurso. (3 Simulación de Eventos Discretos, n.d.)

- **Atributos:** Son aquellas características de las entidades con las cuales se describen y se diferencian, cada atributo tiene un valor específico que puede diferir de una entidad a otra y que influye en el comportamiento o proceso que se tiene que hacer con ellas (Rodríguez Barrios et al., 2008). Por ejemplo, a los pacientes de un sistema de urgencias se les pueden asignar atributos referenciados con la edad, tipo de enfermedad, tipo de priorización de atención, tipo de trayectoria, entre otros.

- **Variables de estado:** Las variables de estado definen el modelo y reflejan alguna característica del sistema. Independiente de la cantidad de entidades definidas para el modelo, sus valores pueden cambiar durante el proceso de simulación. Además, pueden estar predefinidas por el software elegido o ser establecidas por el usuario. Algunos ejemplos de variables de estado pueden ser número total de pacientes atendidos en el sistema, número de consultorios disponibles, número de pacientes atendidos en triage, entre otros.

- **Medidas de desempeño:** son aquellas métricas útiles para la evaluación y comparación de alternativas. Estas están enfocadas en calcular aquellos valores que permitan realizar

comparaciones estadísticas para determinar el mejor escenario, medir el comportamiento del sistema y evaluar el desempeño de los procesos. Algunas medidas de desempeño son: número promedio de pacientes en el sistema, total de pacientes atendidos, tiempo promedio de estadía del paciente en el sistema, etc.

**6.2.1.3 Recolección y análisis de datos.** Por otra parte, dentro de la construcción de este tipo de proyectos es necesario definir los tiempos de atención de los procesos asignados a los pacientes a través de una respectiva recolección de datos, asimismo, se deben identificar los requerimientos de los recursos (cubículos de servicio, consultorios, personal, etc.) con los cuales se presta el servicio al paciente y de ser necesario caracterizar los requerimientos de transporte (camillas, silla de ruedas, etc.) con los que el paciente es trasladado por las diferentes trayectorias presentadas en los sistemas de urgencias en estudio.

La recolección de datos es una de las tareas más importantes para el desarrollo de un modelo de simulación, ya que principalmente se busca alimentar todos los procesos y actividades con los cuales se debe contextualizar el modelador. Para implementar una recolección de datos se disponen de diferentes métodos, estos están relacionados con entrevistas, cuestionarios, observaciones, toma de tiempos, entre otros, donde cada uno de ellos tiene la finalidad de complementarse mutuamente para asegurar que se reúna toda la información necesaria.

En esta etapa es de vital importancia involucrar los profesionales y departamentos que están relacionados con cada proceso de atención. Para el proceso de recolección de datos de un sistema de salud se integran los encargados del departamento del sistema de información, los cuales pueden brindar un repositorio de los históricos de los pacientes atendidos, de igual manera, se involucra el personal médico y de enfermería de cada área, con el fin de conocer a detalle las

actividades que ejecutan diariamente y adicionalmente se debe tener en cuenta las funciones de los profesionales que acompañan los procesos administrativos, pues de ellos depende todo el soporte relacionado con la documentación de cada paciente y facturación de servicio brindado.

Teniendo en cuenta lo anterior, se recomienda abarcar la recolección y análisis de datos en tres etapas: elaboración de una lista chequeo para identificar que métodos de recolección de datos podrían ser utilizados, seguidamente proceder a la solicitud de la información y finalmente analizar los datos para obtener los elementos de interés.

- **Lista de chequeo:** es el formato de control de la información a solicitar, se construye teniendo en cuenta todos los componentes que puede abarcar el sistema y permite identificar aquellos métodos con los cuales se puede obtener la información de interés. Ver ejemplo de lista de chequeo en el apéndice F.

- **Solicitud de la información:** Una vez identificado los elementos que se deben solicitar, se procede a realizar las actividades de la recolección de información, para ello se emplea los diferentes métodos definidos por los modeladores, como entrevistas, encuestas, observaciones o reuniones con los encargados de cada área.

- **Análisis de datos:** el análisis de datos dependerá principalmente de los datos recolectados, el propósito principal es examinar y extraer aquella información útil que permita contribuir en la construcción del modelo. Para un servicio de urgencias, lo ideal es identificar por medio de los históricos aquellas rutas o trayectorias por la cuales un paciente puede transitar dentro del sistema, adicionalmente, si se cuenta con información relacionada con la fecha y hora de los ingresos de los pacientes, es posible determinar el estilo de llegadas o ajustar los datos a una distribución de probabilidad que represente el comportamiento de llegadas al sistema. Por otro lado, si se relaciona información correspondiente a tiempos de procesamiento, lo recomendable es

ajustarlos a una distribución de probabilidad con el fin de poderlos utilizar en el software donde se desarrolle el modelo.

### ***6.2.2 Caracterización de los procesos***

La caracterización contemplada en esta etapa contribuye a la comprensión mental y total de todos los elementos relacionados con el proceso de atención de los usuarios de un sistema de salud, donde se define y se describe a detalle cada una de las etapas de los procesos, las cuales deben definir las actividades de cada área de trabajo con sus respectivos profesionales responsables y roles a desempeñar, número de personal disponible, descripción de las rutas de recorrido de cada tipo de paciente desde su ingreso hasta su salida del sistema, entre otros.

Inicialmente, se recomienda iniciar esta etapa de caracterización con una sección donde se realice la descripción detallada del proceso atención, en el cual se estructure paso por paso los procedimientos o actividades que ejecuta los profesionales de cada área y las acciones que incurre un paciente dentro del sistema.

Por otra parte, una forma de complementar la caracterización de los procesos es por medio de los diagramas de flujo de procesos presentados en los sistemas. Gracias a los diagramas de flujo es posible obtener las trayectorias que sigue la entidad a lo largo de la simulación, sin embargo, estos deben ir acompañados en simultáneo con el análisis de la recolección de datos con el fin de validar los movimientos de las entidades dentro del plano del sistema real

Finalmente, para complementar la caracterización de los procesos es importante mencionar aquellas áreas o lugares con las cuales un paciente tiene contacto, para ello se puede presentar un pequeño croquis del plano, donde se señalen las zonas con las cuales contará el modelo y se agreguen, de ser necesario, observaciones importantes a considerar.

### ***6.2.3 Caracterización de los recursos***

Esta caracterización se define a partir de la previa identificación de aquellos recursos con los cuales hay interacción con las entidades. En los sistemas de salud, se presentan recursos tanto físicos como humanos a los que se les debe realizar un respectivo reconocimiento para su caracterización. De esta manera, los recursos forman una parte crucial para el modelo de simulación pues con ellos empieza la construcción del mismo.

Para un sistema de urgencias se encuentran dentro de sus recursos humanos los médicos, enfermeras y auxiliares de enfermería con los que tienen contacto directo un paciente dentro del sistema, así como también se deben incluir aquellas profesiones que acompañan los procesos administrativos y de gestión del proceso de atención. Para los recursos físicos se identifican todos los bienes con los cuales se garantiza la atención del paciente como lo son las camillas, consultorios, máquinas especializadas para exámenes, sillas de ruedas, etc.

### ***6.2.4 Supuestos del modelo de simulación***

En ciertos casos es necesario abarcar supuestos o consideraciones especiales, pues no siempre se puede simular el sistema con cada uno de los elementos reales que lo complementan, además, estos son importantes pues con ellos se establece con precisión los alcances y limitaciones con los que se construye el recurso experimental. Algunos supuestos pueden estar relacionados con horarios laborales, cantidad de recursos, ubicación de zonas de trabajo, entre otros.

### 6.2.5 Modelo conceptual en Microsoft Visio

Una vez abarcado cada uno de los elementos descritos en cada etapa del modelo conceptual, se procede a plasmar toda la información en una herramienta que haga fácil la tarea de verificación y validación del modelo dada la complejidad de los elementos utilizados para su construcción. Para ello se recomienda realizar una representación gráfica de todo el modelo formal en el Ms. Visio, donde se identifiquen previamente las configuraciones y propiedades especiales de la construcción del modelo y además permita contrastar todos los elementos definidos en el modelo conceptual.

Para representar el modelo conceptual en Ms. Visio se debe comprender la secuencia y la sintaxis del lenguaje de programación con la cual trabaje el software de simulación. En este caso se tiene en cuenta para el esquema del ajuste de parámetros las características especiales de los objetos visuales y recursos involucrados en el software FlexSim HealthCare, debido a que sus funciones y características permiten modelar un sistema de salud con todos sus elementos y recursos asociados.

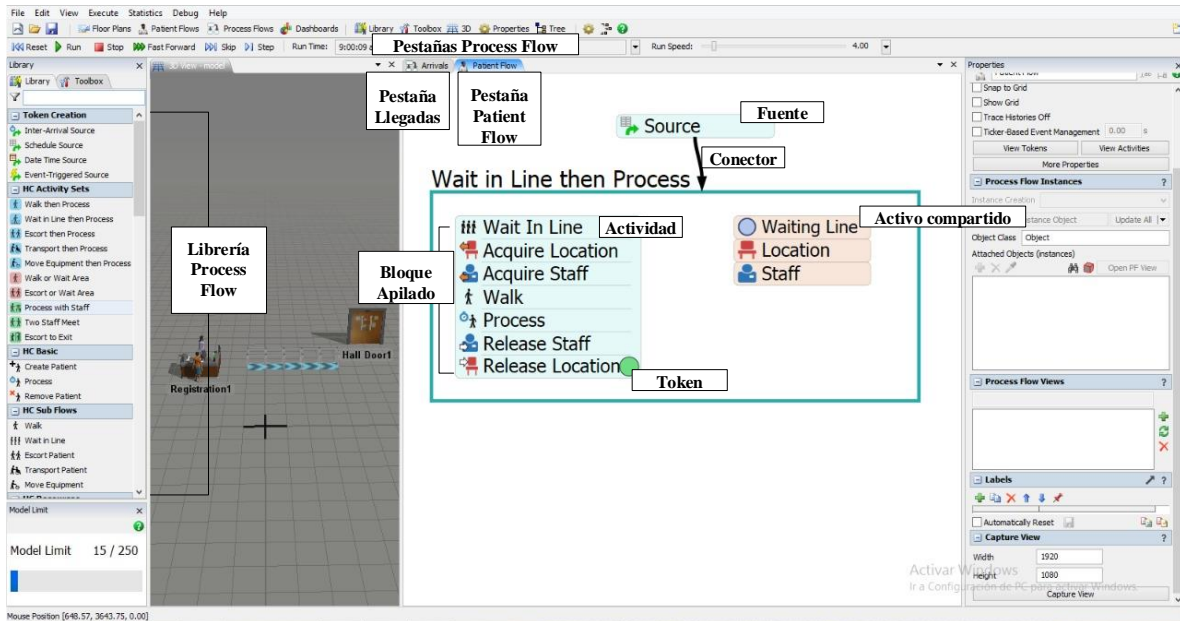
Para mayor entendimiento de la construcción del modelo conceptual, en el apéndice F se presenta un esquema con los elementos presentes en la configuración de algunas actividades con las cuales puede contener un modelo de simulación de sistemas de salud, donde cada proceso configurado se relaciona por medio de conectores que permitan comprender a detalle la programación utilizada en cada zona del flujo del proceso de atención de un paciente.

El modelo conceptual construido en Ms. Visio pretende desglosar toda la programación interna que contiene cada una de las actividades a ingresar en la herramienta “*Process Flow*”; y adicionalmente, tiene la función de soportar todo el prediseño del modelo a construir en el software. En la figura 4 se puede observar cada uno de los elementos presentes en la interfaz de

“*Process Flow*”, los cuales se encuentran explicados uno a uno en el apéndice F, específicamente en el capítulo **Interfaz Process Flow**.

**Figura 4.**

*Interfaz Process Flow*

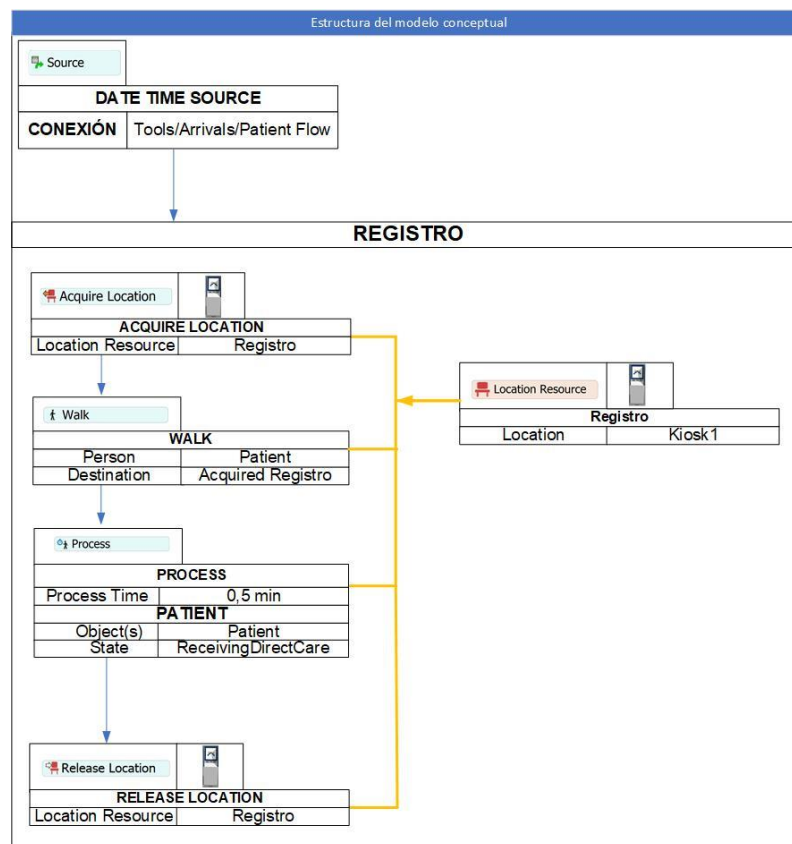


En la figura 5 se presenta un ejemplo de las configuraciones que puede llevar un modelo conceptual para la unión de una fuente “*source*” con una actividad de registro. Dicha unión representa el ingreso de un paciente a las instalaciones del sistema, seguidamente debe dirigirse a un digiturno para registrar sus datos y finalmente liberar el equipo para que el siguiente paciente pueda realizar su respectivo registro. Es importante aclarar que para estructurar el modelo conceptual es necesario conocer la programación interna de cada una de las actividades del “*Process Flow*”, pues con ello se garantiza que la configuración a desarrollar en el modelo conceptual sea acorde con los requerimientos del modelo computacional. Por ejemplo, cuando hay una actividad de caminar “*walk*” se incluyen dos propiedades importantes a configurar, la sección

de “*person*” y “*destination*”, donde la primera indica quien ejecutará la acción y la segunda define el lugar a donde debe caminar. En este sentido, el modelo conceptual representa el soporte de las configuraciones que se tienen en cuenta para la construcción del modelo de simulación y por ello cobra un alto grado de importancia en esta etapa.

**Figura 5.**

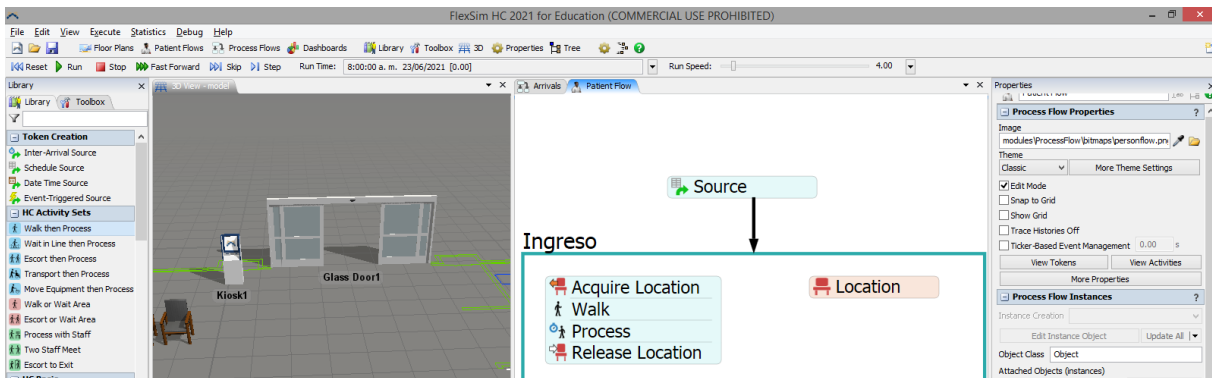
*Configuración de un modelo conceptual con una fuente y una actividad*



Una vez desglosado el modelo conceptual con todas sus configuraciones, se procede a construir dicho modelo de simulación con su respectivo flujo del proceso a través de la herramienta Process Flow. En la Figura 6 se presenta la estructura del “Process Flow” correspondiente al ejemplo del modelo conceptual de la Figura 5.

Figura 6.

*Estructura del Process Flow para el modelo ejemplo*



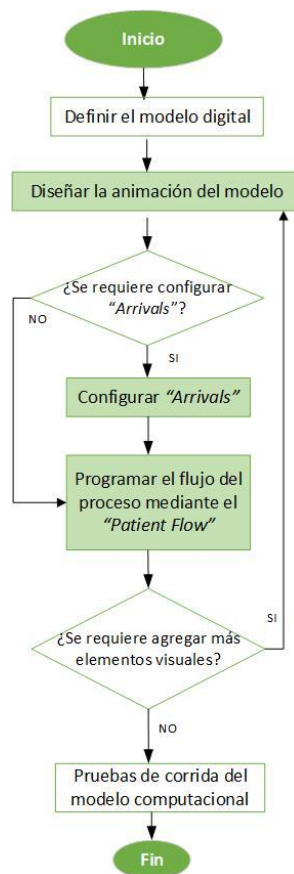
### 6.3 Modelo Computacional

Una vez descritos los elementos del modelo conceptual del sistema se procede a elaborar el modelo computacional en el software FlexSim en la interfaz **HealthCare**, la cual permite simular sistemas relacionados con el cuidado de la salud. El uso de esta herramienta computacional permite modelar visualmente el funcionamiento del sistema real y facilita los cálculos de los tiempos relacionados con la estadía del paciente en el sistema.

Para la creación del modelo computacional se utiliza el modelo conceptual realizado en Ms. Visio donde se evidencian los elementos importantes a tener en cuenta para la programación interna del cada proceso de atención. Teniendo en cuenta lo anterior, se plantea dividir el desarrollo del modelo computacional según el diagrama de la figura 7.

Figura 7.

*Desarrollo modelo computacional*



### 6.3.1 Definir el modelo digital

El desarrollo del modelo computacional inicia con la definición del espacio digital sobre el cual lleva a cabo la ubicación de los objetos visuales para la construcción del sistema a simular. Para definir dicho espacio, el software FlexSim permite realizar dos tipos de configuraciones, las cuales se mencionan y se explican a continuación:

- **Establecer un plano 2D como fondo de los objetos visuales:** Para utilizar esta opción es necesario tener previamente un plano formato .dwg de AutoCAD. La importación de este tipo de planos como fondo se realizan a través de la herramienta “*Floor Plans*” del software FlexSim

Healthcare, la cual permite cambiar la posición, las unidades del plano y la rotación del dibujo según sea las necesidades del modelo a realizar. Adicional, es importante resaltar que los planos como fondo tiene la particularidad de reducir la carga de la tarjeta gráfica y por lo tanto permite mayor celeridad a la hora del tratamiento del archivo del FlexSim. En apéndice F, en el paso 1 del capítulo “pasos para la construcción del modelo ejemplo” se observa un claro ejemplo de cómo implementar esta opción para definir el espacio digital.

- **Establecer un plano 2D o 3D como espacio digital a través de la librería de FlexSim HealthCare:** para la configuración de esta opción es necesario implementar un objeto plano de los objetos visuales de FlexSim, el cual se encuentra en la opción “*Props*” de la librería de los elementos 3D. Dicho objeto permite importar planos 2D o 3D según sean las necesidades del modelador. Los planos 2D se pueden importar a través de archivos previamente establecidos en formatos .png, .bmp, .jpg, .gif o .ico, los cuales pueden ser situados sobre el objeto visual “*plane*” que ya se ha agregado al modelo. Por otro lado, los planos 3D se pueden importar desde archivos que se han construido a través de SketchUp.

### 6.3.2 *La animación del modelo*

Esta etapa es la encargada de desarrollar todo el diseño y construcción de la animación del modelo computacional donde se busca estructurar de manera visual toda la distribución de la entidad de salud a simular, para la cual se deben incluir cada uno de los recursos claves que contribuyen al proceso de atención del paciente, como lo son las camas, personal médico y de enfermería, entre otros.

Los aspectos sobresalientes de la animación permiten ver el acumulamiento de las personas y sus movimientos entre áreas. En cuanto a los recursos, estos permanecen fijos en un área específica y contribuyen en la dinámica del proceso de atención.

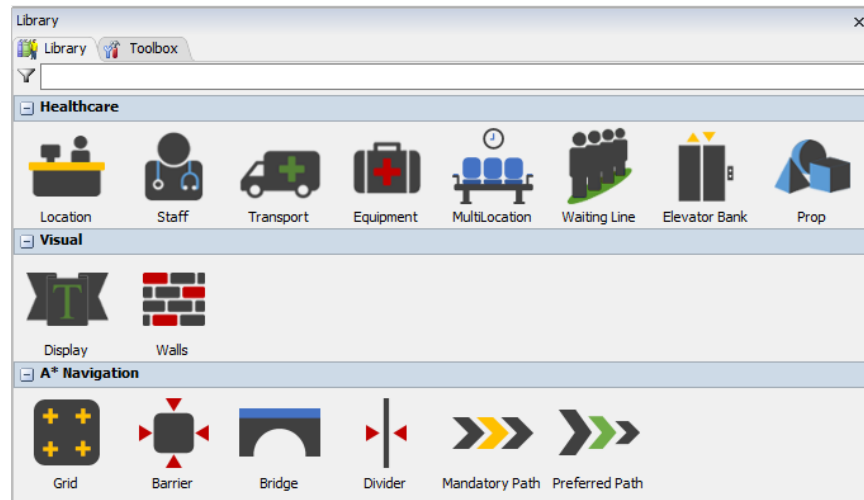
En esta sección se realiza la ubicación de los objetos visuales necesarios para la animación del modelo y para la simulación de cada uno de los eventos presentados en la entidad que se desea simular. Para su desarrollo se utilizan los elementos disponibles en la librería de FlexSim HealthCare, los cuales se mencionan a continuación:

- **Location/Ubicaciones:** son objetos relacionados con lugares que interactúa un paciente o un personal de una instalación sanitaria.
- **Staff/Personal:** dentro de este grupo se encuentra los objetos de personal médico y administrativo que usualmente dispone una entidad sanitaria. Estos objetos pueden interactuar con los pacientes realizando actividades como la simulación de registro, una consulta médica, transporte de un paciente en una silla de ruedas, entre otros.
- **Transport/Transporte:** Son objetos de transporte utilizados generalmente dentro y fuera de las instalaciones de una entidad de salud, tienen la función primordial de movilizar pacientes de un lugar a otro.

- **Equipment/Equipo:** Los objetos de equipo están diseñados para el cuidado del paciente y por lo general requiere que alguien del personal lo opere.
- **MultiLocation/Varias ubicaciones:** Son objetos utilizados para la ubicación de múltiples pacientes, estos son empleados para representar las salas de esperas o salas de observación que generalmente se encuentran en los servicios de urgencias.
- **Waiting Line/Líneas de espera:** Objeto utilizado para generar una fila de pacientes que esperan recibir un servicio.
- **Elevator Bank/Ascensor:** Utilizado para modelos de simulación en el que los pacientes y el personal se movilizan de un piso a otro.
- **Prop/Accesorios:** Son utilizados generalmente para agregar elementos visuales al modelo diferentes a los mencionados anteriormente. Se distinguen de los demás debido a que no cuentan con una función lógica incorporada en el “*Patient Flow*”.
- **Visual/Visual:** dentro de este grupo se disponen de dos elementos que aportan visualización en el modelo. La opción “*Display*” permite visualizar tableros con información relevante del modelo (medidas de desempeño, fecha y hora de corrida, entre otros) durante la ejecución del mismo. Por otra parte, con la opción “*Walls*” se puede incluir paredes sobre el plano que ya se encuentra establecido.
- **A\*Navegación/A\* Navegación:** Son objetos de navegación que se utilizan para demarcar y controlar el tránsito de los pacientes y del personal dentro de las instalaciones de una entidad de salud.

**Figura 8.**

*Librería de objetos visuales de FlexSim HealthCare*



### 6.3.3 Configurar “Arrivals”

En esta sección se configura la creación y la forma de llegada de pacientes al sistema. Para ello la pestaña “Arrivals” cuenta con un bloque apilado, el cual se crea por defecto una vez se procede a iniciar la creación del “Patient Flow”. Dentro del bloque apilado se encuentra cuatro elementos los cuales se configuran según sean las necesidades del sistema de salud a simular. En primer lugar, se dispone con un panel de fuente “Source” el cual tiene la función de definir el estilo o forma de llegadas de los pacientes al sistema. Esta opción permite agregar el número de pacientes que ingresan al sistema dentro de un intervalo de tiempo específico (fecha y hora). Para ello se dispone de una tabla preestablecida que permite editar manualmente el estilo de llegadas, o en efecto; importar por medio de la interfaz de Excel una hoja de cálculo con la información de las llegadas de clientes.

En la figura 9 se puede apreciar un ejemplo que muestra un posible horario de llegada en una actividad de origen de fecha y hora, adicionalmente; se puede observar las dos posibles formas de configurar la cantidad de pacientes que se quieren ingresar al sistema a simular.

### Figura 9.

*Ejemplo de llegadas de pacientes en el elemento “source”*

Start (DD:)HH:MM:SS	End (DD:)HH:MM:SS	Quantity	Name
08:00:00	08:30:00	10	patient
08:30:00	09:00:00	poisson(5)	patient
09:00:00	09:30:00	5	patient

La figura anterior presenta la cantidad de pacientes que pueden llegar en ciertos intervalos de tiempo. Como se puede observar, la cantidad de clientes a ingresar al sistema pueden ser definidas de forma determinística o puede ser ajustado su comportamiento a una distribución de probabilidad. Por otra parte, los horarios de llegada se pueden configurar con una frecuencia personalizada, donde el modelador define la periodicidad de los intervalos de tiempo según las necesidades que requiera el modelo. Además, dentro de sus opciones se dispone del campo “*Repeat Interval*” el cual permite determinar que dichas llegadas se repitan diariamente, semanalmente, a cada hora o en efecto que no se repitan.

En segundo lugar, el bloque apilado contiene el elemento “*Create Patient*” el cual tiene como función crear un paciente en el modelo 3D y adicionalmente tiene la particularidad de unir la pestaña de “*Arrivals*” con la pestaña de “*Patient Flow*”.

Por otra parte, el bloque apilado dispone del panel “*Random Appearance*”, el cual tiene la función de aleatorizar la apariencia de los pacientes con el objetivo de poder visualizar a hombres y mujeres con diferente vestimenta, color de piel, aspecto físico, entre otros.

Finalmente, es importante resaltar que para marcar el final de una serie de actividades los elementos de la pestaña de “*Arrivals*” deben finalizar con un “*sink*” que permita eliminar los tokens que se han creado dentro del sistema.

#### ***6.3.4 Programación del flujo del proceso mediante la herramienta “Patient Flow”***

El comportamiento y la lógica del proceso de atención del modelo 3D son controlados y definidos por los flujos de actividades que se agregan al diagrama lógico de la pestaña “*Patient Flow*”, donde es posible estructurar el flujo de atención en un sistema de salud con las distintas trayectorias que sigue un paciente desde que ingresa al sistema hasta que finalmente se retira del centro de atención médico.

La función principal de un flujo de proceso es controlar la lógica básica del modelo de simulación. En este sentido, las herramientas de la librería del “*Patient Flow*” dispone de un conjunto de elementos donde permite agregar al flujo del proceso aquellos componentes como fuentes, actividades, etiquetas, acciones relacionadas con mover elementos, escoltar pacientes, asignar tiempos de proceso, factores de decisión, crear objetos, cargar objetos, entre otros. En el capítulo titulado “componentes de la interfaz de *Process Flow*” del apéndice F se relaciona información correspondiente a la librería del “*Process Flow*” con sus elementos y características especiales a tener en cuenta.

Para construir la lógica del modelo de simulación se deben agregar conjuntos de actividades que permitan dirigir el paciente a través del modelo. Para ello, FlexSim HealthCare contiene diferentes grupos predeterminados de actividades que se pueden utilizar para programar las tareas lógicas más comunes presentes en este tipo de modelos. Sin embargo, si el modelador lo requiere, es posible construir estas actividades de forma personalizada, pues en algunas

instituciones existen procesos especiales que deben ser programados según los requerimientos del sistema a modelar. Teniendo en cuenta lo anterior, en la tabla 1 del apéndice F se presenta dichas actividades disponibles en la librería de “*Process Flow*”.

Las actividades preconfiguradas de la librería de “*Process Flow*” contienen tareas lógicas que permiten programar diferentes procesos de atención. A modo de ejemplo, para la actividad camine y luego procese “*Walk then Process*” permite a una persona adquirir una ubicación, trasladarse a dicho a lugar, procesar un tiempo necesario allí y finalmente liberar la ubicación para que otro paciente pueda hacer la misma lógica. A continuación, se presenta en la tabla 3 la descripción de cada uno de los elementos que acompaña dicha actividad.

**Tabla 3.**

*Elementos de “Walk then Process”*

<b>Elemento</b>	<b>Activad o bloque compartido</b>	<b>Descripción</b>
Location	Localización	Representa el objeto del modelo 3D al cual debe dirigirse una persona
Acquire Location	Adquirir ubicación	Representa la acción donde el token adquiere la ubicación
Walk	Caminar	Acción de caminar hacía la ubicación adquirida
Process	Proceso	Elemento que permite a una persona procesar un tiempo determinado en la ubicación
Release Location	Liberar ubicación	Liberar la ubicación para que pueda ingresar un nuevo token

### ***6.3.5 Pruebas de corrida del modelo computacional***

Para corroborar que el modelo de simulación está funcionando correctamente, un modelador debe ejecutar pruebas de corrida con el objetivo de ir examinando proceso a proceso si los pacientes realizan las tareas lógicas de manera apropiada a la programación establecida, donde por medio de estas corridas se corrigen errores de lógica existentes dentro del modelo y por ende se logra monitorear frecuentemente la construcción del flujo del proceso.

## **6.4 Verificación**

La verificación consiste en comprobar que el modelo se está ejecutando de acuerdo con todas las especificaciones planteadas en el modelo conceptual. De esta manera, en esta etapa de verificación se evalúa la coherencia y consistencia de los resultados arrojados por cada proceso del modelo en la implementación y modelo general. Por ejemplo, se verifica que las etiquetas y variables almacenen los valores correctos, se presenten colas en los sectores adecuados, los pacientes sigan las rutas reales, etc (Sánchez Sánchez et al., 2018).

A través de la verificación también se pretende remover errores no intencionales en la lógica del modelo ya que FlexSim no detecta todos los errores de lógica (Garavito, 2017). Los errores de lógica no detectables pueden producir resultados erróneos los cuales no permiten obtener los resultados deseados, por tal razón, se debe optar por utilizar estrategias que permitan realizar la verificación total del modelo. Dichas estrategias pueden ser la detección de errores de bloqueo, revisión de la animación, verificación del modelo por parte de una persona que no tiene ninguna relación con el modelo y que pueda adaptar una posición crítica, etc.

La verificación es el contraste entre el modelo conceptual y el modelo construido en el lenguaje formal, es decir, cuando se implementa el modelo computacional se debe realizar un cruce

con la caracterización plasmada en el modelo conceptual de tal manera que se corrobore que los elementos definidos se encuentran en los dos modelos. Vale aclarar, que el modelo corra no significa que esté correcto, por ello es necesario realizar diferentes ejercicios de verificación para corroborar que hay suficiencia confianza para aceptar el modelo.

Existen diferentes métodos para desarrollar esta etapa, la principal de ellos corresponde a una verificación constante o por fases, la cual consiste en ir ejecutando el modelo cada vez que sea agregado un objeto o una línea de programación, con la intención de detectar errores de lógica, de programación o de sintaxis.

En la identificación de errores se encuentra primeramente aquellos que están relacionados con los datos, donde se contrasta que las cifras de entrada no contengan dígitos o decimales extras que alteren la simulación. En segundo lugar, se revisa que las unidades de dichos datos se encuentren expresados de forma correcta, pues de lo contrario se correría el riesgo de obtener valores defectuosos en los resultados esperados.

Por otra parte, dentro de los errores comunes se encuentra aquellos relacionados con los bloqueos, los cuales no permiten liberar entidades pues se encuentran ligadas a un recurso que impide que el flujo del proceso corra de manera correcta, generalmente este tipo de bloqueos tienen la particularidad de solucionarse agregando filas o líneas de espera en los lugares donde se requiere.

El ejercicio de verificación busca realmente aislar el modelo de errores, sin embargo, existe una alta probabilidad de encontrar aquellos que no son detectables fácilmente y que por lo tanto representan un alto nivel de riesgo pues el compilador no los reconoce. Para inspeccionar si el modelo cuenta con dichos errores se debe ejecutar la simulación y analizar paso por paso los movimientos efectuados por cada objeto, así como también en simultaneo se recomienda ir

verificando que las estadísticas y resultados arrojados sean consistentes y congruentes en sus cálculos.

Otro tipo de errores son aquellos que ocurren cuando una variable o un atributo contiene errores de escritura, los cuales afectan la sintaxis de la programación del flujo del proceso y por consecuencia no serán leídos de forma correcta por el software. Es importante aclarar que para reducir dichos errores es fundamental comprender los comandos funcionales del simulador, donde se tenga suficiente claridad del funcionamiento práctico del lenguaje formal de programación.

Por otro lado, también es posible verificar los modelos de simulación utilizando valores constantes, de tal manera que se corra la simulación en una versión determinística y se verifiquen las cifras y los valores que están siendo entregados en los resultados.

Adicionalmente, gracias a la animación del modelo que brinda Flexsim se puede implementar una estrategia de verificación basada en los movimientos de los objetos 3D, donde más que buscar una animación correcta se examina que todo el video de la simulación concuerde con cada detalle la configuración plasmada.

De igual manera se puede incurrir en una verificación donde se incorporen personas que no tengan ninguna relación con el modelo, debido a que para ellos no existe un vínculo sentimental y por lo tanto pueden identificar errores que para el modelador no han sido detectados. Generalmente esta persona suele ser la que tiene experticia en el software y adicional cuenta con conocimiento del sistema a simular, por ende, puede realizar una verificación técnica y completa del modelo de simulación.

## 6.5 Validación

La etapa de validación tiene como objetivo garantizar que el modelo represente el sistema real en los aspectos de interés relacionados con el objetivo y definidos en la etapa de conceptualización, por tal razón, se deben comparar los resultados de las variables de salida del sistema simulado contra los del sistema real. Dicha validación se da a través de las medidas de desempeño que se pueden presentar en los sistemas de salud, como por ejemplo, la duración promedio de la estancia de un paciente, el tiempo promedio de espera de los pacientes, % de utilización de los recursos, etc. No obstante, es importante aclarar que la selección de las medidas de desempeño a validar depende de la calidad de los datos reales que se toman durante la recolección de datos.

Es importante señalar que un modelo pasa por un proceso de validación con el fin de desarrollar un nivel aceptable de confianza en su capacidad de reproducir y representar el sistema real, pues una vez finalizado el proceso se busca realizar la respectiva experimentación y por ende las inferencias sacadas del desempeño del modelo deben ser coherentes y congruentes para ser aplicadas al sistema real.

Los modelos de simulación pueden ser validados dependiendo del escenario en el cual se desarrolle. Como un primer escenario se encuentran aquellos modelos donde el mundo del sistema real existe y es accesible y por lo tanto permiten hacer experimentación directa de las alternativas simuladas en el modelo computacional. El escenario dos representa los modelos donde el sistema real es operacional, pero no permite realizar una experimentación directa, para lo cual lo ideal es que cada modelador realice observaciones y toma de tiempos al sistema para validar los resultados de la simulación. Por último, se encuentran aquellos modelos que no pertenecen a un sistema real

y que por consecuencia la validación se debe realizar basada en datos encontrados en la Big Data que estén relacionados con los procesos que se están simulando.

Existen varios métodos de validación que se pueden implementar en los modelos de simulación. Entre ellos se encuentra la prueba de continuidad, la cual busca realizar pequeños cambios en los parámetros para provocar pequeñas variaciones en los resultados de la simulación. Si llega a existir cambios desproporcionales en los resultados, el modelador debe analizar los comportamientos para encontrar las posibles causas de dichos resultados.

Otros métodos para realizar la validación de un modelo de simulación se encuentran limitados según sea la información que se recolecte o con la que se cuente del sistema. Por tanto, dependiendo de la información recolectada se puede realizar pruebas estadísticas de las medidas de desempeño seleccionadas del sistema real con respecto al actual. Sin embargo, en ciertos escenarios, dicha información no permite realizar las pruebas y por ende es necesario utilizar otro método. Dicho método consiste en comparar los datos limitados que se tienen del sistema con los resultados arrojados por el “*Experimenter*” del software FlexSim. Por ejemplo, en algunas ocasiones solo se dispone de datos relacionados con el tiempo promedio del paciente en el sistema, el cual ya ha sido previamente calculado por el personal del servicio de urgencia a estudiar. Para validar el escenario planteado anteriormente, se debe comprobar que la medida de desempeño previamente calculada se encuentre dentro del intervalo de confianza arrojado por el “*Experimenter*” para el tiempo promedio del paciente en el sistema. Una vez comprobada esta información, se puede afirmar que el modelo de simulación es confiable para analizar escenarios que puedan brindar mejoras en el sistema real.

Ahora bien, cuando se cuenta con información robusta del sistema actual, es posible plantear pruebas estadísticas para el ejercicio de validación. Este método es el más convincente y

eficaz pues se basa en el comportamiento del modelo en relación con el sistema referente, es decir, consiste en comparar por medio de tests estadísticos dos conjuntos de datos, uno procedente del sistema real y el otro del modelo de simulación con el fin de determinar si son representativos los resultados de la simulación. Teniendo en cuenta lo anterior, las pruebas estadísticas que se pueden aplicar para la comparación de los datos son los test de Chi-Square, Kolmogorov-Smirnov, t de student, desigualdad de Theil, Hotelling para 2 muestras T2, Turing, entre otros. Dichas pruebas permiten agregar un componente estocástico que soporte el nivel de aceptación del modelo.

Dentro de las pruebas más utilizadas se encuentra la prueba t de student de dos muestras la cual está diseñada para comparar si las medias de dos grupos de población son diferentes. Para el desarrollo de este tipo de prueba se debe considerar en primer lugar que las observaciones se lleven a cabo de manera independiente o aleatoria. En segunda instancia se debe definir si las varianzas poblacionales se asumen con supuesto de igualdad o desigualdad, para ello se debe analizar la dispersión de los datos, si estos se encuentran con una dispersión diferente se puede considerar las varianzas desiguales. Finalmente, como es habitual, se debe someter el estadístico a una hipótesis nula ( $H_0$ ) la cual establece que un parámetro de población (como la media, la desviación estándar, etc.) es igual a un valor hipotético, mientras que la hipótesis alternativa ( $H_1$ ) indica que un parámetro de población es mayor o menor al valor indicado en la hipótesis nula.

A modo de ejemplo, en un modelo de simulación se puede trabajar con dos muestras poblacionales, donde la primera puede estar relacionada con datos observados en el sistema real y la segunda muestra con los resultados arrojados por el recurso experimental. A partir de lo anterior, se asume la prueba de hipótesis:

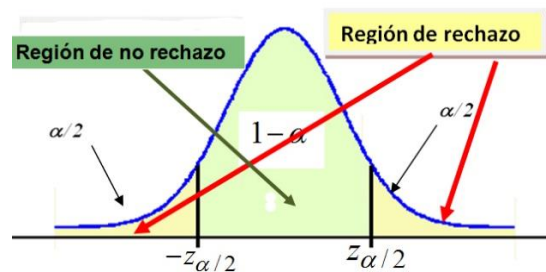
- $H_0 = \mu_1 = \mu_2$  ; en la que se afirma que la diferencia entre las medias aritméticas no existe ( $p > 0.05$ )

- $H_1 = \mu_1 \neq \mu_2$ ; en la que se afirma que la diferencia entre las medias aritméticas sí existe ( $p < 0.05$ ).

Teniendo en cuenta todas las herramientas que brinda Excel, el cálculo del estadístico se puede realizar por medio de la función “análisis de datos” donde se puede realizar la prueba de t de student asumiendo varianzas iguales o desiguales. Adicionalmente, para desarrollar la prueba en su totalidad se debe considerar un nivel de confianza, la cual generalmente es ( $\alpha$ ) igual 0,05. Una vez calculado los valores estadísticos (valor crítico t, valor estadístico t y p-valor) se procede a analizar los resultados. Si el p-valor  $> 0.05$  se puede concluir que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula, es decir hay diferencia significativa entre las dos muestras. De igual manera, también se puede corroborar la conclusión anterior contrastando el valor del estadístico t con el valor crítico de t (dos colas). De tal manera que, si el valor estadístico t se encuentra dentro de la región de aceptación, se puede concluir que no hay evidencia para rechazar la hipótesis nula, es decir, no hay diferencia significativa entre los resultados del modelo y los del sistema real.

### Figura 10.

*Prueba de hipótesis de dos colas*



*Nota.* Tomado de: Molina Muñoz & Lara Porras, 2018

Es importante resaltar que la etapa de validación trabaja en conjunto con el proceso de verificación, donde cada fase aporta credibilidad al modelo de simulación iniciando desde la conceptualización del sistema hasta la implementación computacional y final aceptación del mismo, permitiendo de esta manera que el proceso de experimentación sea consistente en los escenarios que se planteen para el mejoramiento del sistema. Según (Barceló, 1996a) existe una relación muy importante en cada una de estas etapas mencionadas y depende de ellas si el modelo pasa a la fase de aceptación. En la figura 11 se puede observar la relación de cada una de las etapas.

**Figura 11.**

*Relación de la etapa de verificación y validación*



*Nota.* Tomado de: Barceló, 1996

Por otro lado, es importante mencionar que para realizar el proceso de validación se debe considerar que los departamentos de urgencias se caracterizan por ser sistemas no terminales, pues no involucran una ocurrencia en el tiempo en el que tenga que finalizar su funcionamiento. Esto se debe a que prestan sus servicios durante las 24 horas de todos los días del año. Teniendo en cuenta lo anterior, se debe establecer en el modelo de simulación un periodo de calentamiento

“*Warmup time*” y una longitud de corrida con el fin de obtener un valor confiable de las variables de respuesta.

Según (Niño & Prada, 2012) para el periodo de calentamiento se debe definir una longitud suficiente con el fin de asegurar que el modelo esté en una condición de estado estable. Teniendo en cuenta lo que el autor menciona, los métodos que se disponen para identificar el sesgo de la inicialización y posteriormente determinar el periodo de calentamiento son:

- Métodos gráficos: método que involucra la inspección visual de series de tiempo de los datos de salida, en el cual se puede detectar si los valores siguen un patrón o tendencia.
- Métodos estadísticos: utilización de pruebas estadísticas para determinar el periodo de calentamiento.

Finalmente, una vez culminado el proceso de verificación, definición del periodo de calentamiento y validación, se puede considerar que el modelo se encuentra en condiciones ideales para iniciar el proceso de experimentación que contribuya en la toma de decisiones relacionadas con el mejoramiento del sistema.

## 6.6 Experimentación

En esta etapa se deben plantear los escenarios de mejora para su respectiva evaluación en el software de simulación establecido. La cantidad de escenarios a utilizar en la experimentación son definidas a criterio del evaluador y estos deben estar encaminados a la búsqueda de las mejoras de las medidas de desempeño identificadas. Los análisis de resultados de las evaluaciones de escenarios deben hacerse con base en cálculos de valores medios de las variables de salida del modelo, intervalos de confianza y probabilidades asociadas al funcionamiento del sistema (Sánchez Sánchez et al., 2018). La herramienta “*Experimenter*” proporcionada por FlexSim

permite realizar la formulación de escenarios para su respectivo análisis a través de la ejecución del modelo con un número adecuado de réplicas.

El propósito principal de la etapa de experimentación es obtener información del comportamiento del sistema una vez este sea sometido a cambios sustanciales que permitan incrementar el rendimiento y desempeño de todos los recursos asociados a la entidad en estudio. Los escenarios alternativos para un sistema de urgencias están enfocados en contribuir de una u otra forma a los problemas que enfrenta el sistema real, como lo son los tiempos de espera muy largos, desaprovechamiento de los recursos físicos, mala planificación de los recursos humanos, etc.

Los escenarios alternativos se pueden diseñar considerando factores controlables en los que se les puede analizar el impacto que genera sus cambios en el sistema. En ciertas ocasiones, dichos factores controlables pueden estar asociados con los recursos físicos y humanos con los que se cuenta, sin embargo, estos también se relacionan con la eliminación de procesos innecesarios los cuales no involucran cambios en la asignación de recursos. De esta manera, las alternativas planteadas generalmente se encuentran vinculadas con el impacto que genera la alteración de los recursos, por ejemplo, si se identifica que el departamento de urgencias requiere un mayor número de enfermeras para satisfacer la demanda de pacientes que pasan por procedimientos, se debe proceder a evaluar la cantidad óptima que se requiere, donde se analiza el impacto de agregar uno, dos, tres o más profesionales al área. Dicha evaluación tiene gran valor, pues en ella se analiza los resultados de las medidas de desempeño seleccionadas, en la cual se compara los efectos significativos en cada escenario y se determina si son viables para su implementación.

La comparación de las diferentes simulaciones puede estar basada en una o más medidas de desempeño, tales como los porcentajes de utilización de los recursos, tiempo promedio de un

paciente dentro del sistema, promedio de pacientes en espera por atención, entre otros. Para garantizar que las medidas de desempeño son analizadas de forma correcta, los resultados se deben soportar en una correcta ejecución del modelo con un número adecuado de repeticiones, las cuales generalmente se efectúan a criterios del modelador. De esta manera, se afianza que la interpretación de los resultados arrojados por los modelos planteados sea más acertada, pues por medio de los resultados entregados por las réplicas se puede establecer intervalos de confianza para ciertas variables de salida y de esta manera comparar y determinar el mejor resultado de cada una de las alternativas.

Al momento de explorar e investigar cuales son los escenarios alternativos que permitan mejorar el desempeño del sistema se pueden encontrar tres casos de comparación de alternativas (García Sanchez & Ortega Mier, 2006).

- Comparación de dos alternativas
- Comparación de varias alternativas con una de referencia
- Comparación de varias alternativas y selección de la mejor de ellas

Finalmente, la etapa de experimentación culmina con recomendaciones extraídas de los análisis de resultados, las cuales permiten dar una previsualización de los impactos que podrían pasar si son implementados dichas alternativas al sistema real y por consiguiente guiar a los directivos del hospital en la toma decisiones.

## **7. Caso de estudio de un Sistema de Urgencias de un Hospital Regional**

El presente estudio se lleva a cabo con el fin de mejorar el proceso de atención del sistema de urgencias de un hospital regional dedicado a brindar servicios de mediana y alta complejidad. El análisis de los datos necesarios para la investigación se lleva a cabo a través de la información suministrada para el año 2019 por la entidad de salud en estudio, la cual prestó su servicio a más de 40000 pacientes para ese año.

### **7.1 Definición de objetivos**

En esta sección se presentan los objetivos para el éxito del desarrollo del caso de estudio. Dichos objetivos se plantean con el fin de sacar el máximo provecho del recurso experimental a realizar y se encuentran ampliamente relacionadas con cada una de las fases mostradas en el marco metodológico para el desarrollo de modelos de simulación enfocados en los sistemas de salud.

#### ***7.1.1 Objetivo general***

Evaluar escenarios para el mejoramiento del servicio del departamento de urgencias de un Hospital Regional a partir del desarrollo de un modelo de simulación de eventos discretos.

### 7.1.2 *Objetivos específicos*

- Caracterizar el sistema de urgencias del Hospital Regional a partir del análisis de datos e información de sus componentes.
- Desarrollar el modelo de simulación en el software FlexSim HealthCare
- Evaluar escenarios para el mejoramiento del servicio de urgencias del Hospital Regional a partir de la experimentación y el análisis de los resultados de las medidas de desempeño seleccionadas.

## 7.2 **Modelo Conceptual: Servicio de Urgencias de un Hospital Regional**

La caracterización del modelo conceptual se puede observar a detalle en el Apéndice E el cual se realiza en Ms. Visio. El modelo conceptual permite observar todos los procesos y los recursos utilizados en el modelo, así como también visualizar las configuraciones especiales de la programación realizada en FlexSim.

### 7.2.1 *Caracterización de las entidades*

**7.2.1.1 Definición de las entidades del sistema.** El hospital en estudio cuenta con la capacidad de ofrecer servicios médicos de media y alta complejidad. Para la construcción del modelo se define como **entidad dinámica a los pacientes** que ingresan al sistema de urgencias. Dicha entidad tiene diferente apariencia física, esta es brindada por la programación del software y permite visualizar la llegada de cualquier tipo de paciente. Para efectos del modelo, se asume que los pacientes ingresan y transitan por urgencias sin acompañantes.

Para garantizar el servicio, el hospital cuenta con médicos, enfermeras y personal de apoyo para cada una de las áreas de urgencias. Asimismo, cuenta con las zonas requeridas para brindar

consultas y procedimientos necesarios para cada tipo de paciente que ingresa con patologías y necesidades diferentes.

**7.2.1.2 Elementos del modelo formal.** Por otra parte, es importante incluir en esta etapa los elementos importantes que forman parte del modelo formal que se usa para el diseño y construcción del modelo de simulación:

- **Eventos.** Son múltiples los eventos que existen en un área de urgencias y aunque estos se encuentran estandarizados a nivel mundial, depende de cada unidad de salud y de sus necesidades. Para el hospital en estudio existen eventos que modifican el estado del sistema, razón por la cual es necesario identificarlos. En la construcción del modelo se tienen en cuenta los eventos descritos en la figura 12, los cuales cambian según sea la condición del paciente y su respectivo triage.

**Figura 12.***Eventos dentro del sistema*

Eventos	Descripción del evento
<b>Eventos generales de los pacientes</b>	Instante de llegada del paciente al sistema de urgencias
	La enfermera Jefe finaliza el proceso de registro del paciente
	Llegada del paciente al consultorio de Triage
	El médico de turno finaliza el Triage
<b>Eventos de los pacientes según la ruta asignada</b>	Llegada del paciente a la zona de admisiones
	El personal encargado finaliza la admisión del paciente
	Llegada del paciente al consultorio médico
	El médico de turno finaliza la consulta
	Llegada del paciente a la zona de facturación de procedimientos
	El personal encargado finaliza la facturación de procedimientos
	Llegada del paciente a la zona del procedimiento asignado
	El personal encargado finaliza el procedimiento
	Llegada del paciente al consultorio de revaloración
	El médico de turno finaliza la revaloración
	Llegada del paciente a observación urgencias
	El personal encargado finaliza la observación del paciente
	Llegada del paciente a la zona de facturación salida
	El personal encargado finaliza la facturación del paciente

• **Atributos.** Son aquellas características que pertenecen a los pacientes durante la estadía en el sistema. Para el modelo se consideran los siguientes atributos:

- Tipo de tratamiento o ruta del paciente a seguir.
- Instante de llegada del paciente al sistema.
- Instante de llegada del paciente a cada una de las áreas donde se le brinda atención.
- Instante de salida del paciente a cada una de las áreas donde se le brinda atención.
- Instante de salida del paciente del sistema.

• **Variables de estado del sistema.** Para poder definir con detalle que está pasando en el sistema en ciertos momentos específicos, se consideran las siguientes variables de estado:

- Estado de cada miembro del personal de urgencias (ocupado, desocupado).
- Número de personas atendidas en cada área.

- Número total de pacientes atendidos en el sistema.
- Estado de cada una de las áreas de atención al paciente (ocupado, desocupado).
- Número de salas de procedimientos disponibles.
- Número de consultorios disponibles.
- Número de camas disponibles en observación.
- Número de personal disponible en cada una de las áreas de atención.
- Número promedio de pacientes en salas de espera

• **Medidas de desempeño.** Para el cumplimiento de uno de los objetivos es necesario medir el impacto de los posibles escenarios alternativos por medio de las medidas de desempeño. Una vez realizada la simulación, estas son analizadas con el fin de conocer si dichos escenarios planteados son negativos, positivos o insignificantes. Las medidas de desempeño consideradas para el modelo se encuentran en la siguiente tabla:

**Tabla 4.**

*Medidas de desempeño*

Elemento	Medidas de desempeño
<b>Paciente</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiempo promedio del paciente en el sistema ( tiempo promedio que surge entre la llegada del paciente al sistema hasta su salida)</li> <li>- Tiempo promedio requerido para la atención médica ( tiempo promedio que surge entre la llegada del paciente al sistema hasta la consulta médica)</li> <li>- Tiempo promedio de un paciente desde el registro hasta el triage</li> <li>- Tiempo promedio de un paciente desde el triage hasta la consulta</li> </ul>
<b>Recursos Humanos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para el personal administrativo, médico, auxiliares de enfermería, jefes de enfermería, radiólogos y camilleros:(%) de utilización</li> </ul>
<b>Recursos Físicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para la zona de registro, cubículos de admisión/facturación, consultorio de triage, consultorios médicos, salas de procedimientos y observación: (%) de utilización</li> </ul>
<b>Otros Recursos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- (%) de utilización de las camas en observación</li> <li>- (%) porcentaje promedio de ocupación de sala de espera</li> </ul>

**7.2.1.3 Recolección y análisis de los datos.** En esta etapa se llevan a cabo las siguientes actividades con el fin de obtener una buena recolección de datos para la construcción del modelo:

- **Identificación de la información requerida para la construcción del modelo.** En esta etapa se identifican los datos requeridos y se realiza una lista preliminar basada en los diferentes trabajos de investigación relacionados con la simulación de eventos discretos en los sistemas de emergencia. De manera resumida los datos identificados son: llegada de pacientes, tiempos de procesos, registro de hora de inicio y finalización de las diferentes actividades del paciente a lo largo del sistema, posibles trayectorias del paciente dentro del área de urgencia; y recursos físicos y humanos disponibles.

- **Recolección de datos.** La principal fuente de datos es suministrada por el sistema de información del hospital en estudio. Algunos datos complementarios son recopilados manualmente en el período de una semana en la jornada de 7:00 a.m.- 5:00 p.m. Dicha actividad se lleva a cabo con el fin de rastrear el proceso de flujo de pacientes y realizar una toma de tiempos a las actividades que el sistema de información no puede brindar (Ver apéndice B). Adicional, se lleva a cabo varias reuniones con el personal del departamento de urgencias para comprender totalmente el proceso de atención y conocer la ubicación de los eventos, así como también la dotación del personal, los recursos disponibles en cada área, etc.

Los datos que se solicitan al sistema de información del hospital son del año 2019, teniendo en cuenta que para ese período de tiempo urgencias prestaba atención en condiciones distintas a las que se brindan actualmente, las cuales fueron modificadas dada la situación de emergencia sanitaria que se presenta en el país.

**7.2.1.3.1 Análisis de datos año 2019.** El análisis de datos se divide en dos fases. En la fase 1, se recibe un documento Excel el cual contiene la fecha y hora de llegada de 40.744 pacientes provenientes del sistema de información del Hospital para el año 2019 (Ver apéndice C). Con esta información, se procede a realizar un análisis de tiempos de llegada con el fin de identificar los meses, días y horas de mayor afluencia en el año.

El análisis de los siguientes datos muestra el promedio de pacientes que ingresan al sistema de urgencias por rango de horas y por día específico de la semana (Ver figura 13).

**Figura 13.**

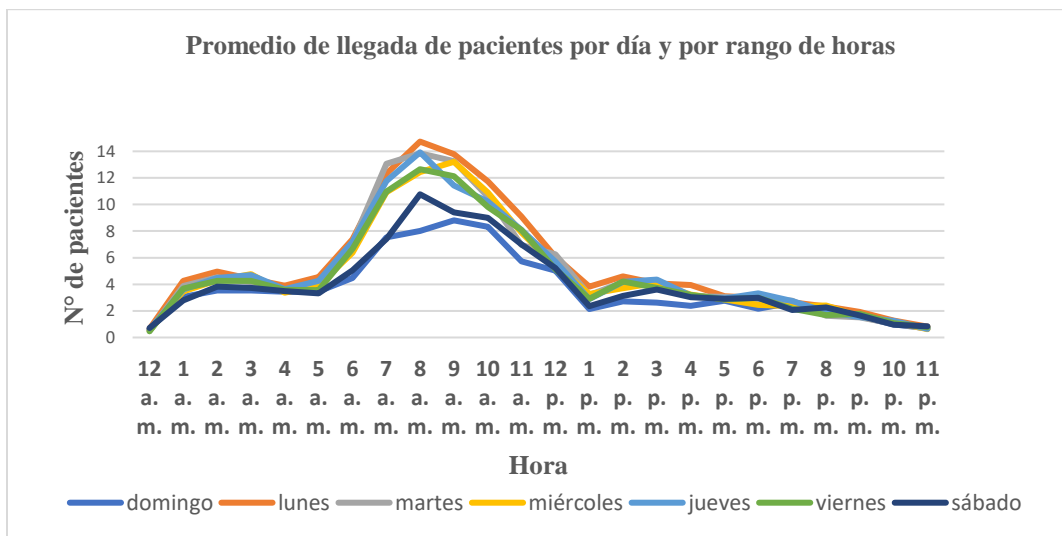
*Promedio de pacientes que ingresaron al sistema*

Promedio de llegada de pacientes por rango de hora y día específico de la semana							
Hora	domingo	lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	sábado
12 a. m.	0.635	0.654	0.491	0.538	0.596	0.462	0.712
1 a. m.	3.058	4.250	3.868	3.462	3.615	3.673	2.788
2 a. m.	3.538	4.962	4.528	4.308	4.462	4.250	3.827
3 a. m.	3.538	4.404	4.170	4.769	4.692	4.250	3.731
4 a. m.	3.442	3.885	3.547	3.365	3.635	3.577	3.481
5 a. m.	3.462	4.538	4.038	3.923	4.250	3.558	3.308
6 a. m.	4.462	7.385	7.151	6.385	7.192	6.673	5.058
7 a. m.	7.519	12.327	13.057	10.923	11.769	10.981	7.404
8 a. m.	8.019	14.731	13.849	12.442	13.923	12.654	10.769
9 a. m.	8.808	13.788	13.264	13.212	11.423	12.135	9.404
10 a. m.	8.327	11.750	10.585	10.904	10.231	9.808	9.000
11 a. m.	5.731	9.096	6.962	7.885	8.077	8.077	7.000
12 p. m.	5.019	6.058	6.245	5.423	5.692	5.115	5.231
1 p. m.	2.135	3.827	3.189	3.269	2.885	2.904	2.346
2 p. m.	2.712	4.596	4.132	3.692	4.173	4.212	3.115
3 p. m.	2.615	4.058	4.113	4.115	4.346	3.731	3.596
4 p. m.	2.385	3.942	3.113	3.212	3.154	3.192	3.038
5 p. m.	2.769	3.096	3.057	2.865	2.942	2.865	2.904
6 p. m.	2.154	2.981	2.887	2.442	3.327	2.981	2.981
7 p. m.	2.615	2.635	2.774	2.346	2.750	2.154	2.058
8 p. m.	2.038	2.327	1.623	2.404	1.942	1.692	2.250
9 p. m.	1.596	1.923	1.509	1.596	1.538	1.769	1.654
10 p. m.	0.981	1.269	1.038	1.173	1.250	1.077	0.962
11 p. m.	0.692	0.808	0.679	0.635	0.654	0.769	0.846
Total general	88.250	129.288	119.868	115.288	118.519	112.558	97.462

De los datos anteriores se realiza la gráfica de promedio de pacientes para cada uno de los días de la semana del año como se observa en la figura 14.

**Figura 14.**

*Promedio de llegada pacientes por día y por rango de horas*



De la figura anterior se puede obtener las siguientes conclusiones:

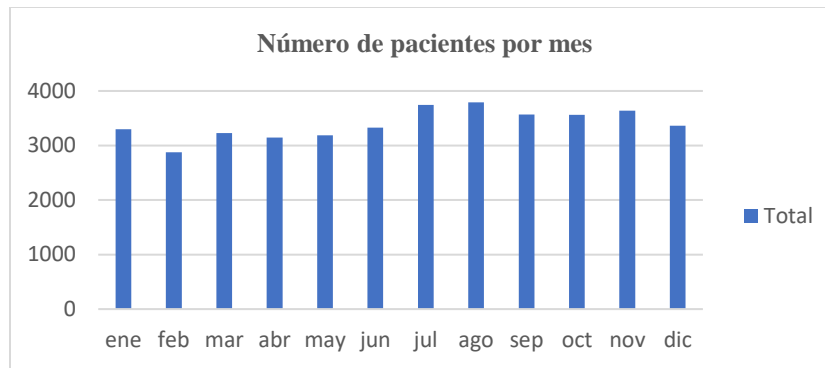
- La tendencia del comportamiento de las gráficas es similar durante el transcurso del día.
- Los días con mayor flujo de pacientes son el lunes con un promedio de 15 y martes y jueves con un promedio de 14, con picos de llegada de pacientes en la jornada horaria de las 8:00 a.m.
- El comportamiento de los días lunes, martes, jueves, viernes y sábados presentan un pico de llegada de pacientes a las 8 de la mañana.
- En los días sábado y domingo se observa un menor flujo de pacientes, sin embargo, también presentan el pico máximo en entre la jornada de las 8:00 a.m. a 10:00 a.m.

Por otra parte, en esta fase también es importante analizar los meses del año con mayor tráfico de pacientes con el fin de poder reducir la muestra y focalizar la atención en aquellos

períodos del año donde el sistema presenta momentos críticos dada la saturación del mismo. En la figura 15 se muestra la entrada de pacientes por mes para el año 2019:

**Figura 15.**

*Número de pacientes por mes*



Del anterior gráfico se puede concluir que:

- El mes con mayor flujo de entrada de pacientes es agosto con un total de 3790 pacientes.
- El mes de menos flujo de entrada de pacientes es febrero con un total de 2877 pacientes
- La tendencia del comportamiento de entrada de flujo de pacientes del mes de julio y agosto es muy cercana entre ellos.
- En promedio ingresaron 3395 pacientes por mes.

Para la fase 2, se solicita al hospital los siguientes elementos de los meses de **julio y agosto**, debido a que es el bimestre con mayor saturación de pacientes (Ver apéndice D):

- Fecha y hora de llegada de pacientes.
- Nivel de triage.

- Horarios de algunos eventos con el fin de calcular los tiempos de atención (triage, admisión, consulta, orden de procedimiento, observación).

- Trayectoria que sigue el paciente luego de ser atendido en triage.

Una vez se reciben los datos se procede analizar la información de cada ítem anteriormente mencionado. A raíz de este análisis, se descarta información relacionada con la duración de los tiempos de atención puesto que no existe consistencia en un gran porcentaje de datos, esto se genera a consecuencia de diferentes factores como el no cierre del triage o consulta del paciente en el momento indicado. Sin embargo, el análisis de los datos del apéndice D permite identificar una lista preliminar de las posibles trayectorias que siguen los pacientes y que proporción sigue cada una de ellas. Los datos analizados corresponden a 7537 pacientes, los cuales son filtrados y observados rigurosamente con el fin de descartar datos inválidos. Teniendo en cuenta lo anterior, se rechazan 106 valores de la muestra inicial obteniendo como resultado una muestra final de **7431** pacientes a tratar. El número y porcentaje de pacientes de cada trayectoria se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 5.**

*Número y porcentaje de pacientes según trayectorias*

<b>Porcentaje de las posibles Trayectoria de un Paciente</b>	<b>N° de Pacientes</b>	<b>%</b>
Registro-Triage-De alta	2603	35.029%
Registro-Triage-Abandono del sistema	4	0.054%
Registro-Triage-Consulta médica-De alta	633	8.518%
Registro-Triage-Consulta médica-Observación-De alta	39	0.5248%
Registro-Triage-Consulta médica-Observación-Hospitalización	14	0.1884%
Registro-Triage-Consulta médica-Observación-Remisión a otra entidad	10	0.1346%
Registro-Triage-Consulta médica-Observación-Cirugía	25	0.3364%

Porcentaje de las posibles Trayectoria de un Paciente			N° de Pacientes	%
Registro-Triage-Consulta	médica-Procedimiento-Revaloración-		329	4.427%
De alta				
Registro-Triage-Consulta	médica-Radiología-Revaloración-De		1096	14.749%
alta				
Registro-Triage-Consulta	médica-Laboratorio	clínico-	1796	24.169%
Revaloración-De alta				
Registro-Triage-Consulta	médica-Procedimiento-Revaloración-		7	0.0942%
Observación-De alta				
Registro-Triage-Consulta	médica-Procedimiento-Revaloración-		4	0.0538%
Observación-Hospitalización				
Registro-Triage-Consulta	médica-Procedimiento-Revaloración-		1	0.0135%
Observación-Remitidos a otra entidad				
Registro-Triage-Consulta	médica-Laboratorio	clínico-	146	1.965%
Revaloración-Observación-De alta				
Registro-Triage-Consulta	médica-Laboratorio	clínico-	174	2.342%
Revaloración-Observación-Hospitalización				
Registro-Triage-Consulta	médica-Laboratorio	clínico-	17	0.229%
Revaloración-Observación-Remitidos a otra entidad				
Registro-Triage-Consulta	médica-Radiología-Revaloración-		188	2.530%
Observación-De alta				
Registro-Triage-Consulta	médica-Radiología-Revaloración-		203	2.732%
Observación-Hospitalización				
Registro-Triage-Consulta	médica-Radiología-Revaloración-		30	0.404%
Observación-Remitidos a otra Entidad				
Registro-Triage-Consulta	médica-Radiología-Revaloración-		1	0.013%
Observación-Cirugía				
Registro-Triage-Consulta	médica-Cirugía		90	1.211%
Registro-Triage-Consulta	médica-Hospitalización		21	0.2826%

La tabla 5 muestra que 7431 pacientes acudieron al servicio de urgencias en los meses de julio y agosto. 2603 fueron dados de alta después de su respectivo triage, 4 abandonaron el sistema por posibles esperas excesivas y 4824 recibieron consulta por un médico. De los 4824 pacientes que recibieron consulta, 859 requieren ingresar a la zona de observación, 3221 fueron dados de

alta después de recibir un procedimiento, 90 pasan directamente a cirugía después de la consulta médica y 21 demandan hospitalización.

En vista a lo anterior, es posible agrupar en una misma trayectoria las rutas que siguen un comportamiento equivalente y que al final coinciden con la salida de paciente del sistema. Por tal razón, a continuación, se presenta la tabla simplificada de las trayectorias que siguen los pacientes en el sistema para efectos de la elaboración del modelo de simulación.

**Tabla 6.**

*Trayectorias simplificadas para la construcción del modelo*

<b>Porcentaje de las posibles Trayectoria de un Paciente</b>	<b>N° de pacientes</b>	<b>%</b>
Registro-Triage-De alta	2603	35.029%
Registro-Triage-Abandono del sistema	4	0.054%
Registro-Triage-Consulta médica- Salida	744	10.012% %
Registro-Triage-Consulta médica-Observación-Salida	88	1.184%
Registro-Triage-Consulta médica-Procedimiento-Revaloración-Salida	329	4.427%
Registro-Triage-Consulta médica-Radiología-Revaloración-Salida	1096	14.749%
Registro-Triage-Consulta médica-Laboratorio clínico-Revaloración-Salida	1796	24.169%
Registro-Triage-Consulta médica-Procedimiento-Revaloración-Observación-Salida	12	0.161%
Registro-Triage-Consulta médica-Laboratorio clínico-Revaloración-Observación-Salida	337	4.535%
Registro-Triage-Consulta médica-Radiología-Revaloración-Observación-Salida	422	5.679%
<b>Total</b>	<b>7431</b>	<b>100%</b>

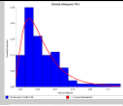
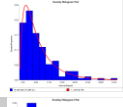
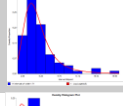
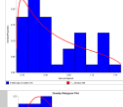
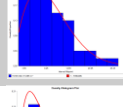
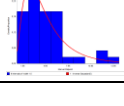
De la tabla mostrada anteriormente, es importante mencionar que la trayectoria Registro-Triage-Abandono del sistema no se tendrá en cuenta en el modelo ya que se asume que una vez el paciente ingresa al departamento de urgencias este no abandona el sistema por esperas excesivas

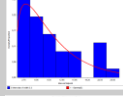
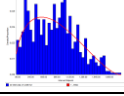
y además el porcentaje de pacientes que siguen esta ruta es muy bajo con respecto a la muestra total.

**7.2.1.3.2 Ajuste de datos a una distribución de probabilidad.** Cada uno de los datos correspondiente a los tiempos de servicio se analizan y se ajustan a una distribución de probabilidad teórica o empírica para su posterior uso en el modelo (Ver apéndice H). Dicho ajuste se realiza utilizando la herramienta ExperFit la cual viene incluida en el software FlexSim. ExperFit muestra los porcentajes relativos para los ajustes de cada distribución, así como también los resultados de las pruebas Anderson-Darling, Kolmogorov-Smirnov y Chi-cuadrado para determinar la diferencia entre las distribuciones observadas y teóricas (Ver tabla 7).

**Tabla 7.**

*Distribución de probabilidad de los tiempos de servicio*

Zona de atención	Distribución de probabilidad		Histograma de densidad
<b>Registro</b>	Inversegaussian	(0.120072, 0.353293, 1.028974)	
<b>Triage</b>	Johnsonbounded	(0.902659, 2.632732, 1.077632), 65.962711,	
<b>Admisiones</b>	Loglogistic	(0.722467, 4.616711, 3.231399)	
<b>Facturación procedimiento</b>	Johnsonbounded	(0.073623, 0.608867, 0.664246), 1.629451,	
<b>Facturación salida</b>	Weibull	(1.331734, 10.033181, 1.725400)	
<b>Procedimientos</b>	Inversegaussian	(0.217162, 11.681034), 4.753223,	

Zona de atención	Distribución de probabilidad	Histograma de densidad
<b>Revaloración</b>	Gamma( 0.800906, 6.688717, 1.371601)	
<b>Observación</b>	beta( 22.889313, 2116.901097, 1.539025, 2.543657)	

Los tiempos de procesamiento en consulta no se pueden ajustar a una distribución de probabilidad teniendo en cuenta que actualmente el servicio de urgencias del hospital presenta momentos en los que el personal médico ve la necesidad de realizar el proceso de triage y consulta al mismo tiempo, dificultando la posibilidad de identificar inicialización y finalización de la consulta médica. La ocurrencia de los eventos donde se identifica la consulta no son suficientes para ajustarlo a una distribución de probabilidad, por tanto, se opta por referenciar este proceso tomando una distribución de probabilidad de la investigación de Grimaldo León, Silva Rodríguez, Espitia-García, et al.( 2015) en el cual desarrollan un modelo de simulación para un departamento de urgencias del Hospital Regional de San Rafael de Tunja. Es posible realizar esta consideración teniendo en cuenta que el proceso de consulta se encuentra estandarizado internacionalmente. Asimismo, se presenta barreras para la toma de tiempos en la zona de rayos x, teniendo en cuenta que la realización de este proceso la brinda una entidad externa que está inscrita en el hospital ( proceso tercerizado) la cual no permite que se le realice toma de tiempos a este proceso pues consideran los resultados como confidenciales; por tal motivo, se toma como referencia el ajuste de distribución proporcionado de la investigación realizada por He y colaboradores ( 2020) donde se cuenta con esta información. Finalmente, la distribución de probabilidad ajustada al proceso de examen es tomada del trabajo realizado por (Herrera et al., 2015) ya que la ocurrencia de los eventos en el momento del registro de datos no es suficiente para realizar su ajuste. En este sentido, las distribuciones adoptadas son:

**Tabla 8.***Distribuciones agregadas*

<b>Zona de atención</b>	<b>Distribución de probabilidad</b>
Consulta	normal(13.72, 5.98)
Rayos X	triangular(5, 7, 6,)
Examen	triangular(6, 15.4, 8.6)

De forma especial, las llegadas de los pacientes se ajustan a una distribución de Poisson ya que la variabilidad en los intervalos de llegada de los pacientes a menudo se describe por medio de una curva de distribución de Poisson, la cual especifica la probabilidad de que  $n$  clientes lleguen en  $T$  períodos de tiempo. A su vez, la distribución de Poisson es una distribución discreta, es decir, las probabilidades corresponde a un número específicos de llegadas por unidad de tiempo (Carro Paz & Gonzáles Gómez, n.d.).

Para calcular la media de las distribuciones de Poisson por hora, se halla la cantidad de pacientes que llegan para cada uno de los días de los meses de julio y agosto. Luego, se procede a calcular estadísticas básicas como promedio, desviación estándar, mínimo, máximo y moda con el fin de conocer información que ayude a aclarar el comportamiento de las llegadas. Posteriormente, se analizan las horas donde se presenta las horas pico del servicio a través del cálculo de porcentaje de los pacientes por hora que entran el sistema. Teniendo los datos anteriores, se toma como criterio para el cálculo de la media, el promedio de los pacientes que entran durante un día, es decir, el promedio de las estadísticas básicas halladas anteriormente. Dicho promedio, se multiplica por el porcentaje de pacientes que ingresan por hora obteniendo como resultado final la media o parámetro al cual se va a ajustar la distribución de Poisson (para mayor claridad del procedimiento anterior, ver el apéndice D). La tabla 9 muestra el resultado del proceso anterior para cada una de las llegadas por hora.

**Tabla 9.***Tasa de llegada por hora a lo largo de un día*

<b>Start</b> <b>(DD:)HH:MM:SS</b>	<b>End</b> <b>(DD:)HH:MM:SS</b>	<b>Quantity</b>	<b>Name</b>
0:00:00	1:00:00	poisson(0.983870967741936)	patient
1:00:00	2:00:00	poisson(0.935483870967742)	patient
2:00:00	3:00:00	poisson(0.838709677419355)	patient
3:00:00	4:00:00	poisson(0.870967741935484)	patient
4:00:00	5:00:00	poisson(0.741935483870968)	patient
5:00:00	6:00:00	poisson(1.45161290322581)	patient
6:00:00	7:00:00	poisson(4.41935483870968)	patient
7:00:00	8:00:00	poisson(8.98387096774194)	patient
8:00:00	9:00:00	poisson(11.1451612903226)	patient
9:00:00	10:00:00	poisson(11.2903225806452)	patient
10:00:00	11:00:00	poisson(9.37096774193548)	patient
11:00:00	12:00:00	poisson(7.53225806451613)	patient
12:00:00	13:00:00	poisson(5.32258064516129)	patient
13:00:00	14:00:00	poisson(5.91935483870968)	patient
14:00:00	15:00:00	poisson(8.14516129032258)	patient
15:00:00	16:00:00	poisson(7.35483870967742)	patient
16:00:00	17:00:00	poisson(6.53225806451613)	patient
17:00:00	18:00:00	poisson(5.88709677419355)	patient
18:00:00	19:00:00	poisson(6.19354838709677)	patient
19:00:00	20:00:00	poisson(5.08064516129032)	patient
20:00:00	21:00:00	poisson(4.38709677419355)	patient
21:00:00	22:00:00	poisson(3.45161290322581)	patient
22:00:00	23:00:00	poisson(2.08064516129032)	patient
23:00:00	01:00:00:00	poisson(0.935483870967742)	patient

### 7.2.2 Caracterización de los procesos

El proceso particular de atención de pacientes en el servicio de urgencias se presenta en el apéndice I el cual es tenido en cuenta para la realización del modelo de simulación con el fin de que dicho modelo se parezca en lo más posible al sistema real.

**7.2.2.1 Descripción del proceso de atención.** En este sistema, el proceso de atención inicia con la llegada de los pacientes a la sala de urgencias. Estos ingresos se dan a una tasa determinada de pacientes por horas y su posterior clasificación de la atención puede ser triage I, II, III, IV, V. Los pacientes son recibidos en la puerta principal por el personal de seguridad donde este le indica el lugar de la zona de registro, sin embargo, si el paciente ingresa en un estado crítico, se permite su paso de inmediato con el fin de atender el padecimiento lo más rápido posible, dichos pacientes son catalogados como triage I y para efectos del desarrollo del modelo no se tienen en cuenta. No obstante, existen pacientes Triage I que no requieren atención inmediata y por ende su trayectoria se comporta como la de un paciente típico que entra a urgencias, siendo este último grupo considerado en el modelo.

En la zona de registro, el paciente suministra su documentación e información básica a la enfermera jefe de turno, la cual ingresa los datos al sistema de información para que el paciente sea llamado por el médico de turno al consultorio de triage.

En la siguiente estación el paciente es ingresado al consultorio de triage, donde dependiendo sus criterios de gravedad es clasificado con un nivel de los mencionados anteriormente. Después de la debida asignación, el paciente debe recibir atención médica de acuerdo con la necesidad que requiere el estado en el que se encuentra.

En caso de ser pacientes triage I, generalmente estos son enviados a sala de reanimación dada su condición de estado crítico para luego ser remitidos a sala de observación, hospitalización o cirugía según lo requiera, sin embargo, existe la posibilidad de que algunos puedan morir en el momento de la reanimación. No obstante, como se mencionó anteriormente, algunos pacientes de esta clasificación ingresan y realizan la ruta de un paciente regular donde usualmente al final son enviados a sala de observación, hospitalización, cirugía o remisión. En caso de ser asignados como

pacientes triage II y III, estos son enviados a admisiones para abrir la historia clínica relacionada con su patología. Los pacientes clasificados como Triage IV y V son remitos a consulta externa prioritaria según disponibilidad de EPS y por tanto salen del sistema.

Una vez abierta la historia clínica en admisiones para pacientes triage I II y III, estos deben esperar para ser llamados a consultorio. Luego de un tiempo en sala de espera, el paciente es atendido en consultorio por el médico de turno donde dependiendo de su diagnóstico se derivan dos canales de salida: Dado de alta o es catalogado como paciente ambulatorio.

Los pacientes que son catalogados como ambulatorios, después del diagnóstico preliminar se les determina las siguientes posibles rutas de salida: realización de procedimientos dependiendo su cuadro sintomático (examen, radiología o procedimientos generales), dado de alta o enviado a observación. El paciente asignado a procedimientos va a zona de facturación para autorizar el tratamiento enviado por el médico, luego va a sala de espera y después de cierto tiempo es llamado por el personal de turno para realizar el procedimiento.

Seguido a la realización del procedimiento, el paciente regresa a sala de espera, y una vez el médico esté disponible se le hace el llamado para su correspondiente revaloración médica, donde sus rutas de salida pueden ser: De alta, hospitalización, observación, remisión o cirugía. Si los pacientes asignados con triage I, II Y III son enviados a observación, estos pueden tener las siguientes rutas de salida: De alta, remisión, hospitalización, cirugía o fallecimiento. Para efectos del modelo se considera que salen del sistema (abandonar el área de urgencias) los pacientes dados de alta, hospitalizados, remitidos a otra entidad o enviados a salas de cirugía.

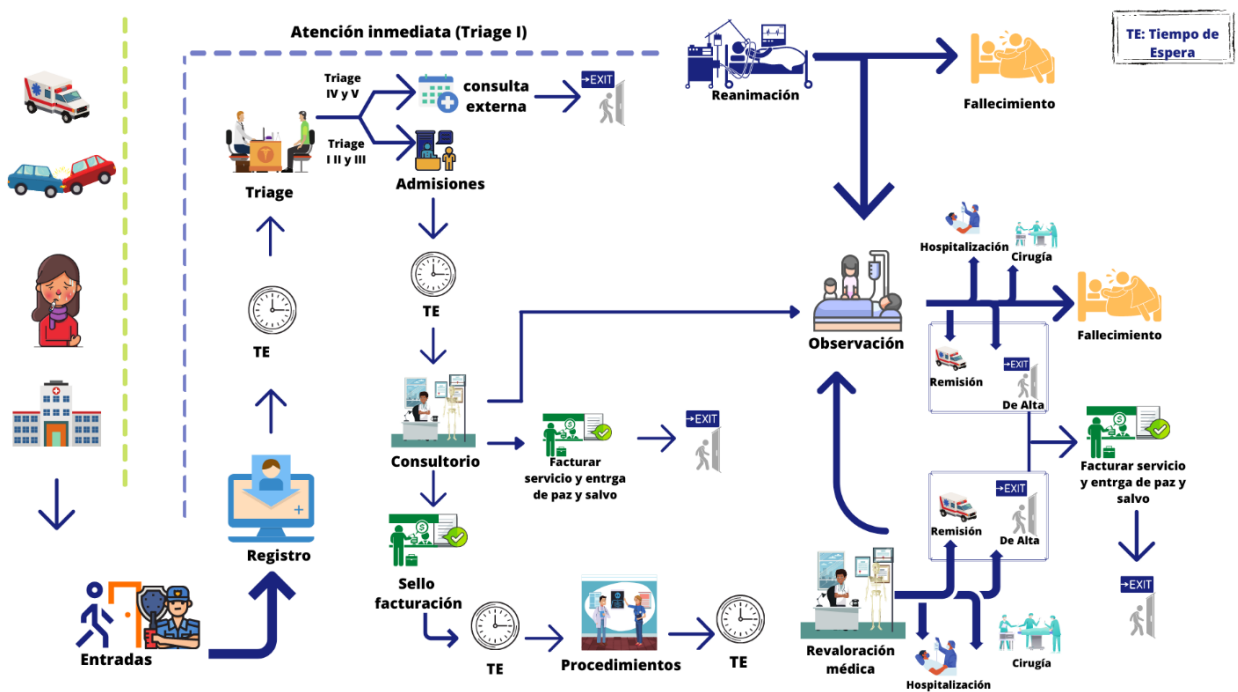
Los pacientes que son dados de alta se dirigen al cubículo de facturación para realizar los respectivos pagos por parte de la EPS o entidad asociada, en donde en ciertos casos la cancelación

del servicio la realiza el paciente. Finalmente, se entrega paz y salvo para su posterior salida del sistema.

Como se puede apreciar en la figura 16, en ciertas etapas de la trayectoria del paciente se presentan tiempos de espera, los cuales ocasionan saturación y por consiguiente insatisfacción del paciente. Estas esperas se generan en cada una de las etapas del servicio y es ahí donde se pueden adoptar estrategias de solución a esta problemática.

Figura 16.

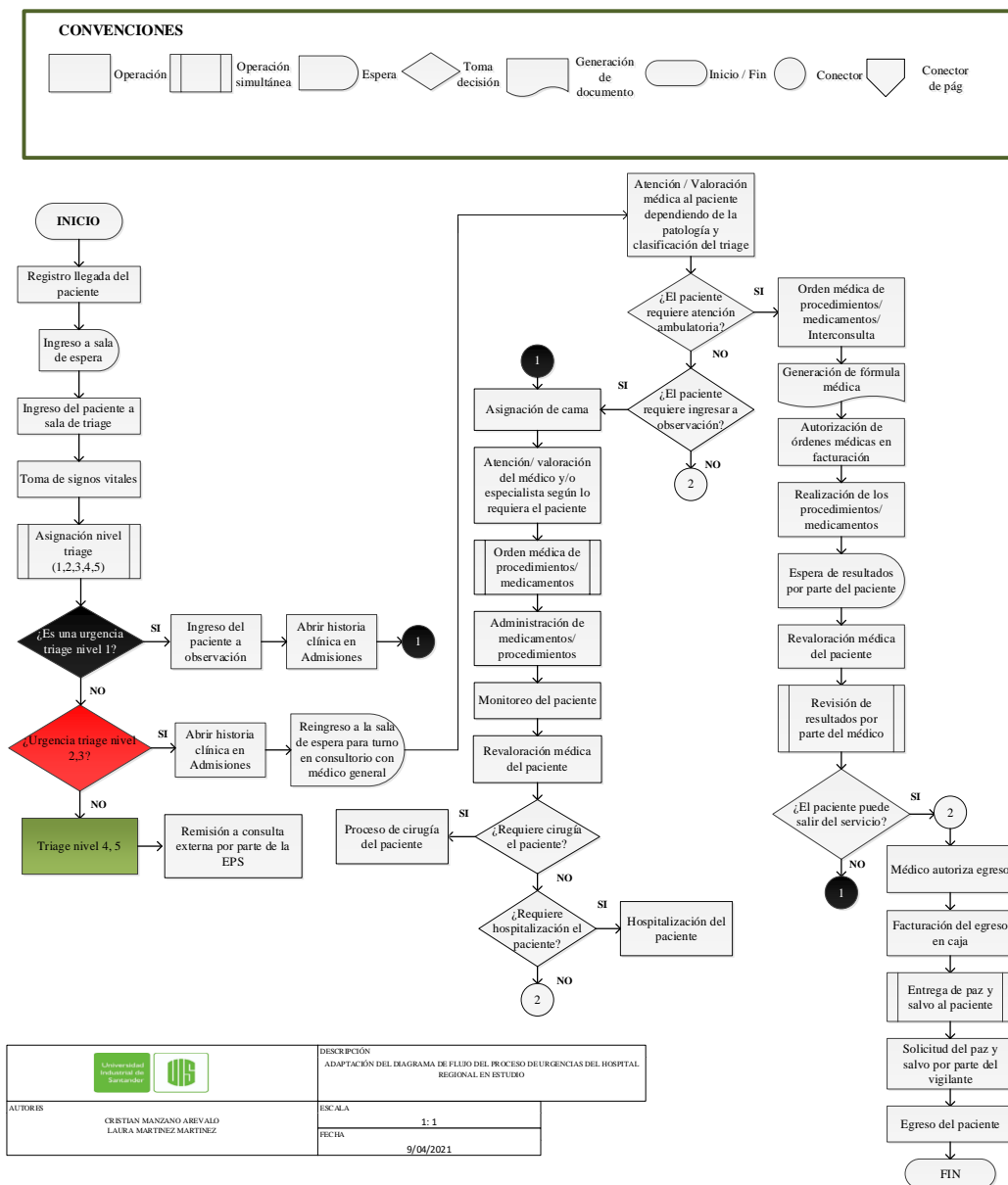
Flujo del paciente en el área de urgencias




7.2.2.2 Diagrama de flujo del Sistema de Urgencias. A continuación, en la figura 17 se muestra el diagrama de flujo del paciente en el área de urgencias.

Figura 17.

Diagrama de flujo del paciente en el área de urgencias



		DESCRIPCIÓN ADAPTACIÓN DEL DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE URGENCIAS DEL HOSPITAL REGIONAL EN ESTUDIO
AUTORES CRISTIAN MANZANO ARIVÁLD LAURA MARTÍNEZ MARTÍNEZ		ESCALA 1:1
		FECHA 9/04/2021

**7.2.2.3 Localizaciones.** Es necesario establecer cuáles son las áreas con las cuales el paciente o entidad tiene contacto en el flujo del proceso del área de urgencias. Para ello, se ilustra en el plano del sistema de urgencias del hospital en estudio las respectivas zonas en donde el paciente recibe atención.

**Figura 18.**

*Plano del departamento de urgencias con localizaciones*



*Nota:* Adaptado del plano del Hospital en estudio

### 7.2.3 Caracterización de los recursos

Para la realización del modelo se consideran los siguientes recursos físicos y humanos con los cuales interactúan los pacientes para su respectivo flujo dentro del departamento de emergencias.

**7.2.3.1 Recursos Humanos.** Son los encargados de darle la atención adecuada a los pacientes que ingresan al sistema. El hospital en estudio cuenta con los siguientes Recursos Humanos:

- **Personal Administrativo.** Personal ubicado en las zonas de admisión y facturación, son los encargados de abrir historia clínica y facturar el servicio de los pacientes. Se dispone de 2 recursos administrativos durante el día en cada una de las zonas, a excepción de ciertas zonas horarias donde llega personal de apoyo, sin embargo, para efectos del modelo se considera que en las 24 horas del día se dispone de 4 recursos administrativos, divididos en 2 recursos para cada sección, es decir, 2 administrativos en facturación y 2 administrativos en admisiones. (Ver figura 19).

#### Figura 19.

##### *Personal Administrativo*

Personal Administrativo			
Administrativos	Lunes a domingo		
Hora	Admisiones	Facturación	Total
[07:00-19:00] h	2	2	4
[19:00-07:00] h	2	2	4

- **Personal Médico.** Personal encargado de realizar el triage y tratar las patologías de los pacientes según sea la necesidad. Se encuentran ubicados en las zonas de triage, consultorios y observación. Existen diferentes turnos de personal durante el día, sin embargo, siempre se cuenta con 4 médicos durante el día distribuidos en las distintas zonas que se muestran en la figura 20.

**Figura 20.**

*Personal médico*

Personal médico				
Médicos	Lunes a Domingo			
Hora	Consultorio	Triage	Observación	Total
[06:00-13:00] h	2	1	1	4
[13:00-20:00]h	2	1	1	4
[20:00-00:00] h	2	1	1	4
[00:00-06:00] h	2	1	1	4

- **Jefes de Enfermería.** Se encuentran ubicados en las zonas de registro, observación, y procedimientos donde los pacientes requieren servicio de inyectología, laboratorios clínicos, electrocardiograma, etcétera. Se encargan de gestionar el funcionamiento y control de cada área asignada y realizar junto con los auxiliares de enfermería los procedimientos solicitados. Existen diferentes turnos de personal durante el día, sin embargo, siempre se cuenta con 3 jefes de enfermería durante el día distribuidos en las distintas zonas que se muestran en la figura 21.

**Figura 21.***Jefes de enfermería*

Personal jefes de enfermería				
Auxiliares	Lunes a Domingo			
Hora	Procedimientos	Observación	Examen	Total
[06:00-16:00] h	1	1	1	3
[16:00-00:00]h	1	1	1	3
[00:00-06:00] h	1	1	1	3

- **Auxiliares de Enfermería.** Se encuentran ubicados en las zonas de procedimiento y observación. Son responsables de los procesos de esterilización, administración de medicamentos, realización de electrocardiogramas, entre otros procedimientos. Existen diferentes turnos de personal durante el día, sin embargo, siempre se cuenta con 4 auxiliares de enfermería durante el día distribuidos en las distintas zonas que se muestran en la figura 22.

**Figura 22.***Auxiliares de Enfermería*

Personal auxiliares de enfermería			
Auxiliares	Lunes a Domingo		
Hora	Procedimientos	Observación	Total
[06:00-16:00] h	1	3	4
[16:00-00:00]h	1	3	4
[00:00-06:00] h	1	3	4

- **Otros Recursos.** El hospital en estudio cuenta con dos radiólogos, para los cuales se asumen que se encuentran las 24 horas del día. De igual forma cuenta con un camillero las 24 horas del día, encargado de trasladar a los pacientes a la zona de radiología para la aplicación de dicho procedimiento.

**7.2.3.2 Recursos Físicos.** En salud, son aquellos bienes físicos que facilitan las actividades diarias relacionada con la atención del paciente. Para el presente caso de estudio se cuentan con los siguientes recursos:

**Tabla 10.**

*Recursos físicos del área de urgencias del hospital*

<b>Recurso</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Recurso</b>	<b>Cantidad</b>
Zona de registro	1	Camas en Procedimiento	2
Cubículos en Admisión	2	Camas en exámenes	1
Cubículo de Facturación	2	Sala de observación 1	1
Consultorio Triage	1	Camas en sala de observación 1	10
Camas en Triage	1	Sala de observación 2	1
Consultorios	5	Camas en observación 2	10
Camas en consultorios	5	Sala de observación 3	1
Silla de ruedas	2	Camas en observación 3	10
Consultorio de Procedimientos	1	Consultorio de Radiología	1
Consultorio de exámenes	1	Máquinas disponibles en radiología	2

#### **7.2.4 Supuestos en el modelo de simulación**

Para la construcción del modelo de simulación es necesario establecer con claridad los supuestos que va a tener el sistema. Estos son importantes pues con ellos, se establece con precisión los alcances y limitaciones que tiene el recurso experimental. A continuación, se presentan los supuestos planteados para el comportamiento del sistema, las entidades y los recursos:

#### **Supuestos del comportamiento del sistema.**

- Se consideran que los tiempos de retraso dependen solo de las demoras en la atención del paciente y de la disponibilidad de los recursos, excluyendo otras posibles situaciones tales como la carencia de información, fallas en el sistema, mantenimiento, situaciones circunstanciales del personal de trabajo, etc.

- Las zonas que no se encuentran enumeradas en la figura 18 no son consideradas en la construcción del modelo de simulación del sistema de urgencias.

- Se considera que el tiempo de atención en cada área sigue la misma distribución sin importar el nivel de triage asignado.

- Se asume que los pacientes una vez ingresan al departamento de urgencias no abandonan el sistema por esperas excesivas.

#### **Supuestos de entidades.**

- Se asume que los pacientes llegan y transitan por el sistema sin acompañantes.
- Se asume que los pacientes con salida de observación realizan la facturación de la salida ellos mismos.

#### **Supuestos de recursos**

- Se desprecia el tiempo de ocio y el tiempo que los recursos humanos necesitan para satisfacer sus necesidades.

- Se asume que en la sala de urgencias no hay médicos especialistas, las funciones de estos son realizadas por médicos generales.

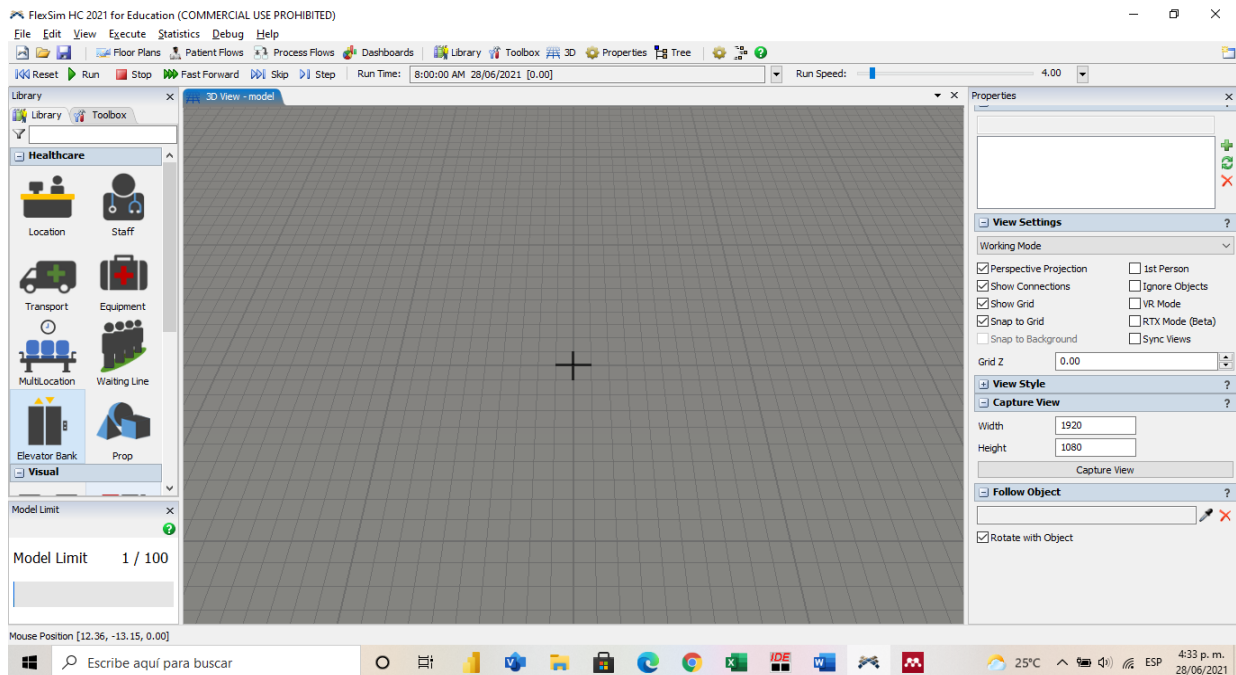
### 7.3 Modelo Computacional

Para la construcción del modelo de simulación del departamento de urgencias se utiliza el software FlexSim. Dicho software cuenta actualmente con una **interfaz** (FlexSim HealthCare) para modelar sistemas de atención médica, la cual permite rastrear y mostrar una amplia variedad de estadísticas y datos que pueden ayudar a este tipo de organizaciones a tomar decisiones a partir de los resultados obtenidos. Gracias a las herramientas del software también se pueden ejecutar diferentes experimentos antes de ser puestos en marcha en la vida real (FlexSim, n.d.). Asimismo, esta herramienta experimental permite ayudar a resolver muchos tipos de problemas tales como:

- Reducción de tiempos de espera de los pacientes mediante la identificación de posibles cuellos de botella.
- Utilización de los recursos físicos y humanos.
- Identificación de estrategias a través de variaciones en volúmenes de pacientes.
- Análisis de propuestas de mejora.

En la siguiente figura se puede apreciar la interfaz del usuario de FlexSim HC que se utiliza para la construcción del flujo de pacientes en el área de urgencias del hospital regional en estudio:

Figura 23.

*Interfaz FlexSim HC*

En cuanto al proceso de construcción del modelo, se divide en tres etapas: La animación del modelo, la creación de la llegada de los pacientes mediante el módulo “Arrivals” y la programación del flujo del proceso mediante la herramienta “Patient Flow”. A continuación, se describe cada uno de estos puntos.

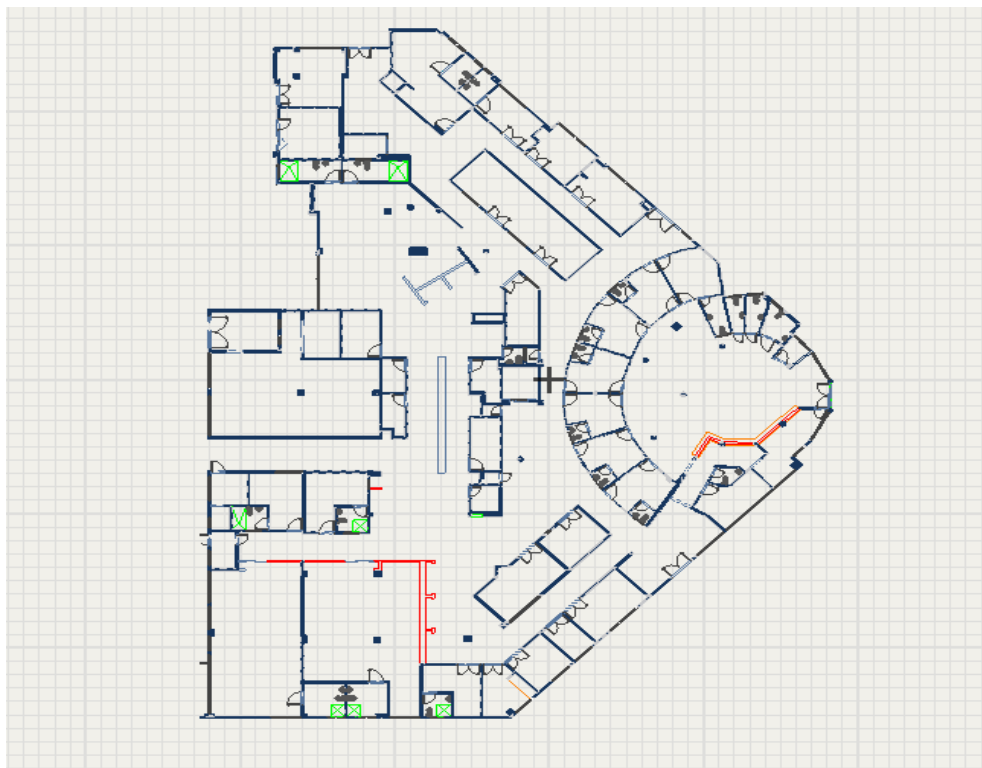
### 7.3.1 Diseño de la animación del modelo

El primer paso para construir la animación del modelo es subir el “Layout” de la sala de urgencias, a la interfaz gráfica de FlexSim HC; para esto se cuenta con el plano dado por el hospital en estudio. Sin embargo, es necesario modificar algunas características que permitan ampliar la escala para que las medidas se importen a la interfaz manteniendo las dimensiones originales del plano.

Los cambios necesarios se realizan utilizando el software AutoCad y una vez realizado estos se procede a subir el plano a la interfaz de FlexSim HC a través de la herramienta “*Floor Plans*” (Ver figura 24). A partir de esto se colocan sobre el plano los recursos y elementos generales del modelo

**Figura 24.**

*Vista superior del plano en la interfaz de FlexSim HC*







Al finalizar la importación del plano, se inicia con la ubicación de los objetos necesarios para la animación y para la simulación de cada uno de los eventos presentados en el área de urgencias. En este caso se utilizaron los siguientes elementos de la librería HC, asimismo, algunas definiciones dadas a continuación son referenciadas del manual brindado por FlexSim.



**7.3.1.1 Location/Ubicaciones.** Los objetos pertenecientes a este grupo son similares a los recursos fijos del entorno estándar de FlexSim. En este caso, los pacientes se trasladan a dichos objetos e interactúan con ellos según sea el tipo. Esta interacción permite animar el modelo; por ejemplo, cuando los pacientes interactúan con una cama de atención los pacientes se acuestan automáticamente para recibir la atención y de esta misma manera ocurre con los diferentes objetos que se encuentran en este grupo de la librería.

En la tabla 11 se presentan los elementos del grupo “*Location*” que son tenidos en cuenta para la construcción del modelo con su respectiva descripción y cantidad utilizada.

**Tabla 11.**

*Elementos utilizados del grupo Location*


<b>Location</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Registration</b> 	Simula el registro, la admisión y la facturación una vez los pacientes llegan y se mueven por el sistema.	3
<b>Triage</b> 	Representa el lugar donde se le realiza el respectivo triage a los pacientes que ingresan al sistema.	1
<b>Bed</b> 	Simula la atención de los pacientes en los consultorios de atención médica y procedimientos.	8
<b>Exam Table</b> 	Representa el lugar donde se le realiza los exámenes a los pacientes.	1
<b>CT</b>	Representa uno de los lugares donde se le realizan	1




Location	Descripción	Cantidad
	imágenes diagnosticas a los pacientes.	
<b>Xray</b> 	Representa uno de los lugares donde se le realizan imágenes diagnosticas a los pacientes.	1

**7.3.1.2 Staff/Personal.** Los elementos que se encuentran en este grupo son los encargados de brindarle atención a los pacientes y de realizar diversas tareas a lo largo del modelo de simulación. En este caso, estos representan aquellos recursos que pueden ser móviles dentro del sistema. Para el desarrollo de la simulación en el software se crean médicos, enfermeros, camilleros y radiólogos los cuales cumplen las siguientes funciones dentro del modelo:

**Tabla 12.**

*Funciones del personal dentro del modelo de simulación*

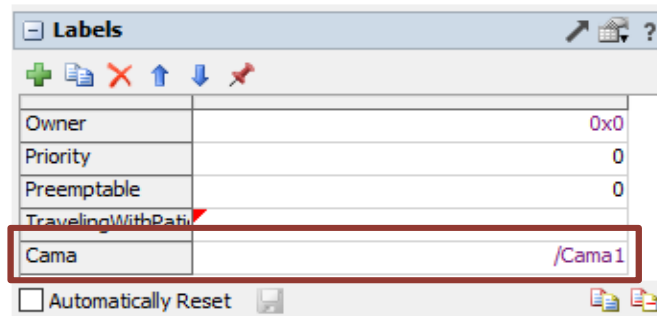
Staff	Función
<b>CLERK</b> 	Son utilizados para simular la atención del personal administrativo dentro de las áreas de admisiones, facturación y registro.
<b>MD</b>	En la simulación son incluidos como médicos, los cuales son utilizados para brindar atención a los pacientes dependiendo del área donde se encuentren. Realizan un servicio con distribuciones que varían según su función dentro del sistema (Ver tabla 7). El médico de observación solamente se usa para animar la atención del paciente dentro de

Staff	Función
	<p>observación, pero no tiene ninguna distribución de probabilidad en su atención ya que solo se tiene en cuenta el tiempo de estadía de la entidad en dicha área.</p>
<p><b>RN</b></p> 	<p>Son utilizados para crear a las enfermeras y camillero dentro del sistema. Cumplen con las funciones de transportar, registrar, realizar procedimientos y toma de exámenes dentro del modelo, a excepción del camillero que tiene solo como una única función el transportar a los pacientes desde sala de espera a su respectiva toma de rayos X dependiendo de su disponibilidad.</p>
<p><b>TECH</b></p> 	<p>Representan a los radiólogos, los cuales se encargan de realizar la respectiva toma de rayos X.</p>

En este paso, es necesario analizar que posibles etiquetas puede tener cada uno del staff seleccionado. Las etiquetas son variables personalizadas que se pueden especificar en el objeto y que permiten tener información destacada acerca del sistema simulado. Para el modelo es necesario utilizar una etiqueta de tipo puntero llamada “Cama” sobre los médicos en consultorio, esto con el fin de asegurarse que el paciente utilice la cama del consultorio en el cual se encuentra cada médico y no elija la cama aleatoriamente. Se utiliza una etiqueta de tipo puntero ya que esta me permite almacenar una referencia de otro objeto que en este caso son las camas disponibles para los médicos en consultorio (Ver figura 25).

**Figura 25.**

*Etiqueta de tipo puntero para los médicos en consultorio*

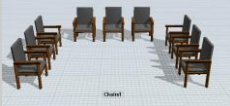


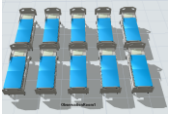
**7.3.1.3 Transport/Transporte.** En esta clasificación, los objetos de transporte son utilizados para llevar los pacientes de un lugar a otro por el modelo de simulación. Para efectos de la construcción del modelo se utilizan dos sillas de ruedas las cuales sirven para llevar a los pacientes desde la sala de espera hasta la zona de radiología y observación.

**7.3.1.4 Multilocation/Ubicación múltiple.** Representa una ubicación múltiple que contiene un grupo de ubicaciones relacionadas. Cuando un paciente adquiere una ubicación múltiple puede adquirir cualquiera de las ubicaciones individuales. En el modelo de simulación planteado se utilizan los siguientes elementos de este grupo:

**Tabla 13.**

*Objetos MultiLocation considerados en el modelo*

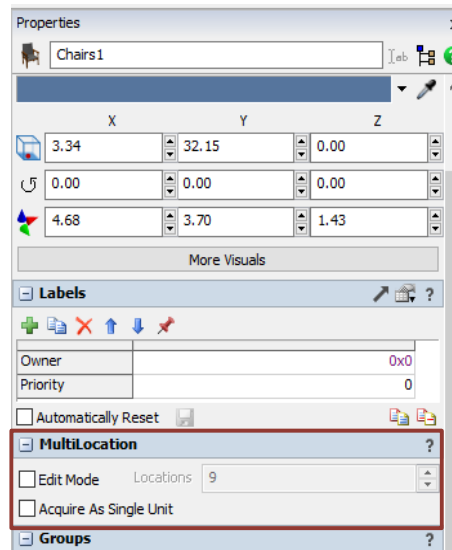
<b>Multilocation</b>	<b>Descripción</b>
<p data-bbox="370 1696 462 1728"><b>Chairs</b></p> 	<p data-bbox="516 1738 1380 1812">En el modelo representa las salas de espera a las cuales llegan los pacientes después de recibir un servicio.</p>

Multilocation	Descripción
<b>ObservationRoom</b> 	Representa las salas de observación utilizadas y necesarias para poner en marcha la simulación

Para las salas de espera es necesario modificar la cantidad de sillas que vienen por defecto. Para esto, se procede a editar el número de sillas a través de las propiedades del elemento “Chairs”, exactamente en la pestaña “MultiLocation” en la opción “Edit Mode” (Ver figura 26). Gracias a esta opción se puede colocar la cantidad exacta de sillas en sala de espera con las que cuenta actualmente el sistema real.

**Figura 26.**

*Modificación del número total de sillas*

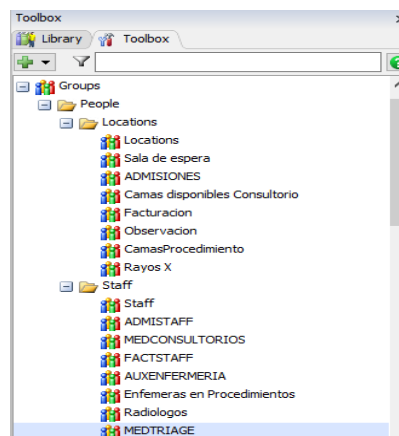


De forma simultánea cada una de las ubicaciones y personal mencionados anteriormente son agregados a grupos que ya vienen de forma predeterminada. Por ejemplo, cada uno de los objetos pertenecientes al grupo “Location” utilizados en el modelo de simulación se agregan a

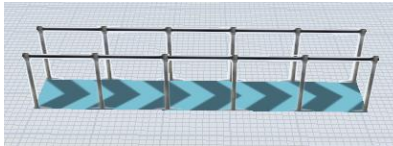
subgrupos diferentes según sea las necesidades. De esta manera las camas en consultorio se agregan a un subgrupo, las camas en procedimientos a otro y así sucesivamente con los demás recursos dentro del modelo. El uso de los subgrupos en la construcción del modelo permite adicionar recursos sin tener que cambiar su lógica, además, proporciona la posibilidad de estudiar cómodamente la sensibilidad y el impacto de agregar más personal o recursos físicos al sistema en estudio.

### Figura 27.

*Subgrupos utilizados en el modelo de simulación*



**7.3.1.5 Waiting Line/ Línea de espera.** Este objeto se utiliza en los lugares del modelo donde los pacientes van formando una cola para recibir el respectivo servicio. Para la elaboración de la simulación se consideran 3 “*waiting line*” ubicados en las zonas de registro, admisión y facturación.

**Figura 28.***Visualización Waiting Line*

**7.3.1.6 Props/Accesorios.** Los objetos que se encuentran dentro de esta galería tienen una función netamente visual dentro del modelado en 3D, por lo tanto, estos no cuentan con lógicas dentro de sus funcionalidades. En la construcción del modelo se utiliza una puerta que se encarga de mostrar la animación de la llegada y salida del paciente. Por otro lado, también se utiliza una estación de enfermería en donde se ubican las auxiliares de enfermería encargadas de transportar a los pacientes a cada una de las salas de observación.

Por otra parte, dentro de este capítulo es importante mencionar que el control de los movimientos visuales de los pacientes y del personal se realizan a través de los objetos ubicados en “A\* Navigation”. Para controlar los movimientos, se coloca sobre el plano el objeto “Gird”, el cual mediante el sistema A\* que se crea automáticamente permite seleccionar los objetos que el personal y los pacientes no podrán atravesar. De la misma manera se utilizan divisores “Divider” que actúan como barreras en el modelo de simulación, por tal razón dichos divisores se ubican estratégicamente tomando como criterio aquellos lugares que tanto el personal como los pacientes no pueden atravesar. Se seleccionan aquellas paredes que se relacionan con la trayectoria tanto del personal como del paciente con el fin de reducir el número de divisores a utilizar.

**Figura 29.**

*Divisores utilizados en la simulación*



### **7.3.2 Configuración del Arrivals para la llegada de los pacientes**

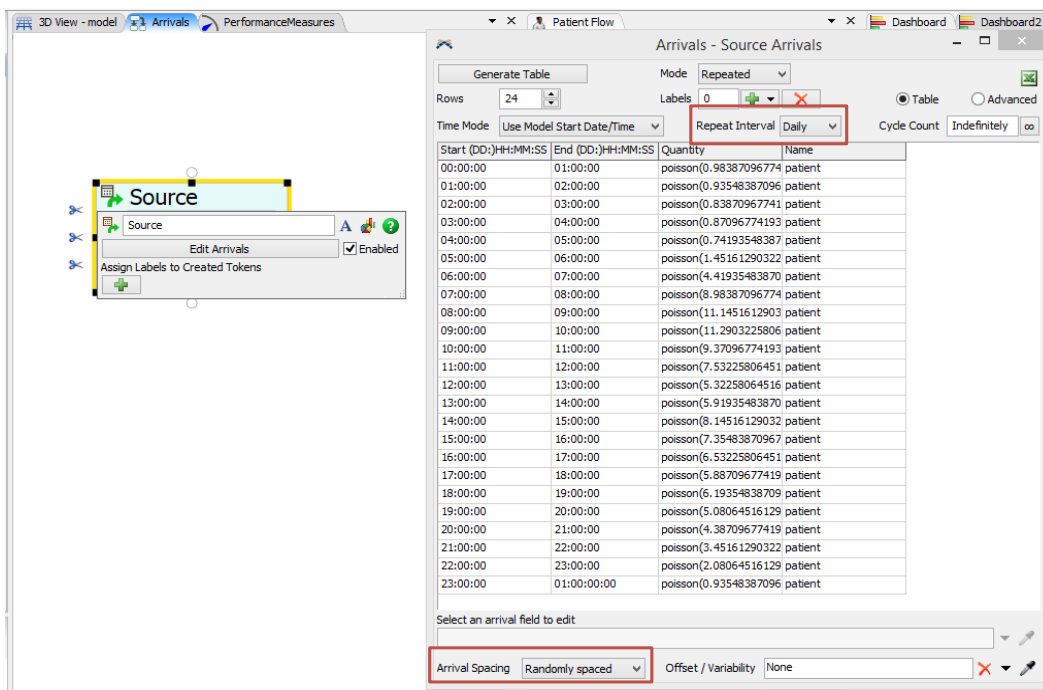
El flujo del proceso debe configurarse inicialmente con la creación de los pacientes, los cuales son definidos como la entidad del sistema. Es importante mencionar que una parte fundamental del modelo de simulación son los datos de entrada, pues de esto dependerá el comportamiento de llegada. La herramienta *“Patient Flow”* permite crear dos pestañas para modelar la lógica del comportamiento de los pacientes (*Arrivals* y *Patient Flow*). Como primera instancia se procede a configurar la pestaña *“Arrivals”* con el fin de realizar el respectivo ajuste de la llegada de pacientes.

La pestaña *“Arrivals”* contiene un bloque apilado con 4 actividades importantes, el primero de ellos comienza con un panel de fuente *“Source”*, el cual define el estilo de llegadas de los pacientes al sistema. Para editarlo se procede a importar un archivo Excel, el cual cuenta con la información de las distribuciones de llegada por hora que se calcularon en el numeral 7.2.1.3.1.

Dado que los datos representan el estilo de llegada para un día (24 horas) se procede a configurar la repetición del intervalo en el campo “Repeat Interval” donde se elige la opción “Daily” con el objetivo de que diariamente el comportamiento de la entrada de pacientes se represente según la distribución asignada para cada hora. Finalmente, en el campo “Arrival Spacing” se escoge la opción “Randomly Spaced” para efectos de que los tokens ingresen en momentos aleatorios entre la hora de inicio y la hora final de cada jornada. Para mayor claridad de la configuración observar figura 30.

**Figura 30.**

### Configuración Source



The screenshot displays the 'Arrivals - Source Arrivals' configuration window. The 'Repeat Interval' is set to 'Daily' and 'Arrival Spacing' is set to 'Randomly spaced'. The table below shows the arrival schedule for 24 hours.

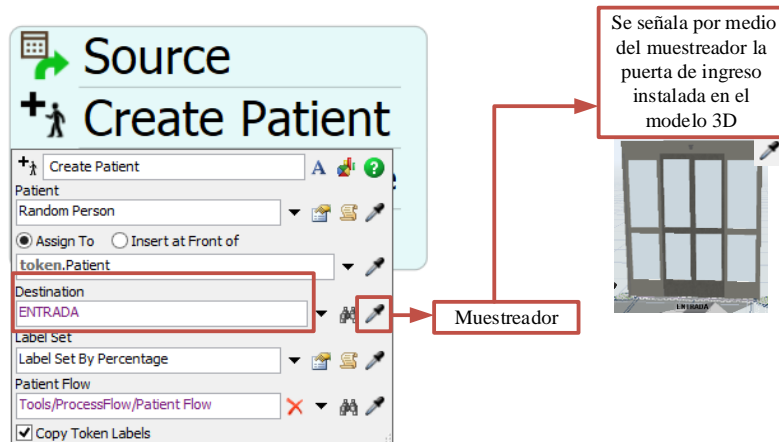
Start (DD:HH:MM:SS)	End (DD:HH:MM:SS)	Quantity	Name
00:00:00	01:00:00	poisson(0.98387096774)	patient
01:00:00	02:00:00	poisson(0.93548387096)	patient
02:00:00	03:00:00	poisson(0.83870967741)	patient
03:00:00	04:00:00	poisson(0.87096774193)	patient
04:00:00	05:00:00	poisson(0.74193548387)	patient
05:00:00	06:00:00	poisson(1.45161290322)	patient
06:00:00	07:00:00	poisson(4.41935483870)	patient
07:00:00	08:00:00	poisson(8.98387096774)	patient
08:00:00	09:00:00	poisson(11.14516129032)	patient
09:00:00	10:00:00	poisson(11.2903225806)	patient
10:00:00	11:00:00	poisson(9.37096774193)	patient
11:00:00	12:00:00	poisson(7.53225806451)	patient
12:00:00	13:00:00	poisson(5.32258064516)	patient
13:00:00	14:00:00	poisson(5.91935483870)	patient
14:00:00	15:00:00	poisson(8.14516129032)	patient
15:00:00	16:00:00	poisson(7.35483870967)	patient
16:00:00	17:00:00	poisson(6.53225806451)	patient
17:00:00	18:00:00	poisson(5.88709677419)	patient
18:00:00	19:00:00	poisson(6.19354838709)	patient
19:00:00	20:00:00	poisson(5.08064516129)	patient
20:00:00	21:00:00	poisson(4.38709677419)	patient
21:00:00	22:00:00	poisson(3.45161290322)	patient
22:00:00	23:00:00	poisson(2.08064516129)	patient
23:00:00	01:00:00:00	poisson(0.93548387096)	patient

La segunda actividad que se encuentra en el bloque apilado es “Create Patient”, en esta sección se señala la ubicación de creación de los pacientes en el modelo 3D y adicional crea la conexión con la pestaña de “Patient Flow”. Dentro de sus propiedades se encuentra el campo

“*Destination*” el cual indica la ubicación de creación del paciente. Para configurarlo se utiliza el muestreador disponible y se elige la puerta de ingreso instalada en el modelo 3D (Ver figura 31).

**Figura 31.**

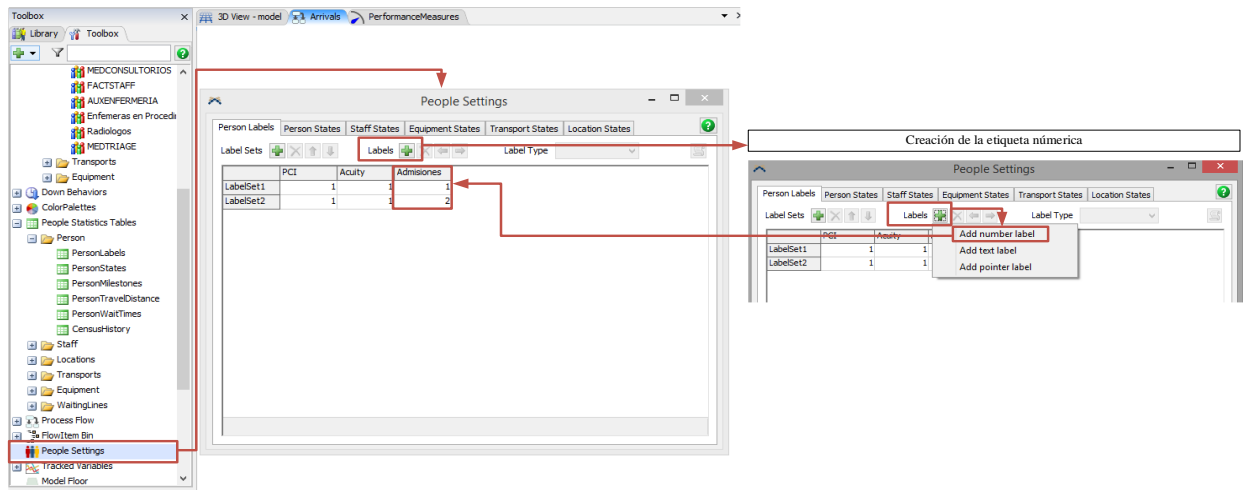
*Configuración destination en Create Patient*



El campo “*Label Set*” permite definir las etiquetas que se deben agregar inicialmente cuando los pacientes son creados. Antes de ingresar la etiqueta, en la pestaña “*Toolbox*”, en la opción “*People Settings*” se agrega la etiqueta numérica llamada **Admisiones** con dos conjuntos de etiquetas (1 y 2), 1 se refiere aquellos pacientes que salen del sistema y 2 se refiere a los pacientes que pasan a la zona de admisiones para abrir historia clínica (Ver figura 32)

Figura 32.

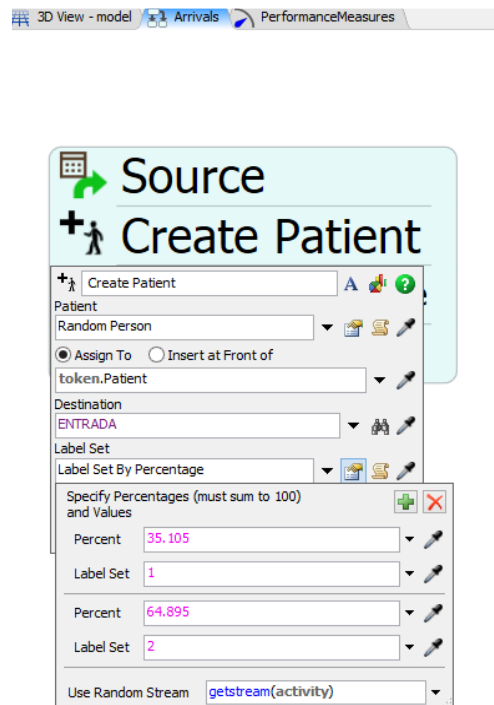
Creación de la etiqueta “Admisiones”



Una vez realizado lo anterior, en la opción “Label Set” se elige la casilla “Label Set by Percentage”, donde se divide el porcentaje de pacientes con un 35.105% para el conjunto de pacientes de la etiqueta 1 y un 64.895% para el conjunto de pacientes de la etiqueta 2, es decir, el porcentaje de pacientes que salen del sistema y los pasan a la zona de admisiones. Finalmente, es importante aclarar que el campo “Patient Flow” se encuentra conectado automáticamente con la pestaña de “Patient Flow” y por ende no se debe realizar ningún ajuste adicional (Ver figura 33).

**Figura 33.**

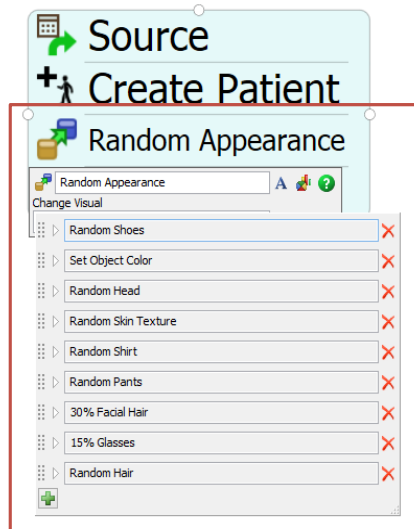
Configuración en el campo “Label set”



La tercera actividad del bloque apilado aleatoriza la apariencia de los pacientes, permitiendo de esta manera visualizar hombres y mujeres con diferente vestimenta, color de piel, aspecto físico, entre otros. Gracias a que esta función viene por defecto en la configuración de “*Random Appearance*” no es necesario realizar un cambio para la construcción del modelo.

**Figura 34.**

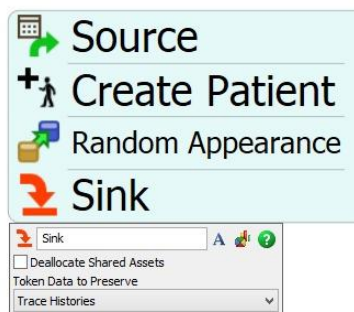
*Configuración Random Appearance*



Finalmente, el bloque apilado de la pestaña “Arrivals” finaliza con una actividad de “Sink”, el cual simula la salida de los tokens dentro del sistema.

**Figura 35.**

*Sink*



### 7.3.3 Programación del flujo del proceso mediante el “Patient Flow”

Una vez finalizada la configuración de “Arrivals” se procede a realizar el diagrama del proceso lógico del comportamiento de los pacientes dentro del sistema, para ello FlexSim HC dispone de la pestaña “Patient Flow” donde por medio de ella se logrará conformar todas las actividades y fragmentos de lógica que contempla el flujo del paciente.

Es importante mencionar que FlexSim HC incorpora varias herramientas útiles a la hora de crear un diagrama del flujo del paciente, donde el conjunto de actividades disponibles en la librería del “Patient Flow” son procesos que han sido reprogramados con el objetivo de realizar tareas lógicas comunes que se pueden presentar en los modelos de simulación de los sistemas de salud.

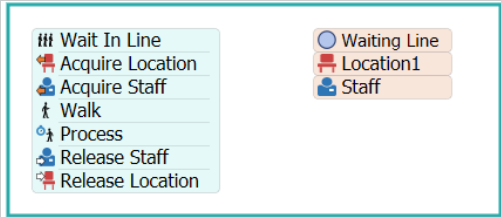
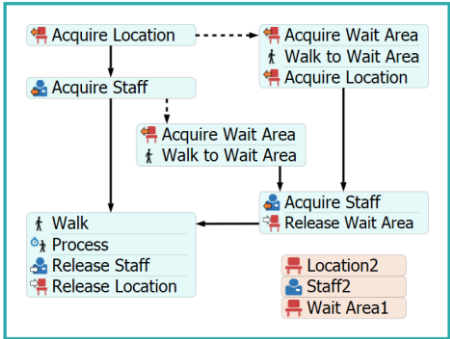
Como primera medida se inicia el diagrama de flujo de pacientes con una fuente “Source” la cual tiene la función de conectar la pestaña “Arrivals” con la pestaña “Patient Flow”, permitiendo de esta manera unir la llegada del paciente al diagrama lógico. Esta función ya viene predeterminada y por ende no es necesario realizar algún ajuste.

Teniendo en cuenta la descripción del modelo realizado en el numeral 7.2.2.1 se procede a agregar las actividades lógicas. En la tabla 14 se presenta el conjunto de actividades que fueron agregadas a la pestaña de “Patient Flow”, donde en cada una de ellas se realiza una programación especial según sea la necesidad del proceso que se esté modelando. Las modificaciones y configuraciones realizadas a las actividades del “Patient Flow” se observan en el modelo conceptual que se encuentra en el apéndice E. Cabe resaltar que cada actividad agregada se conecta directamente con el modelo 3D y por ende es posible visualizar una animación lógica de los movimientos del paciente dentro del sistema.

Por otra parte, el “Patient Flow” cuenta con funciones y herramientas importantes que se pueden utilizar. La explicación detallada de cada una de ellas se encuentra en el Manual para la construcción de modelos de simulación en la interfaz FlexSim Healthcare (Apéndice F).

**Tabla 14.**

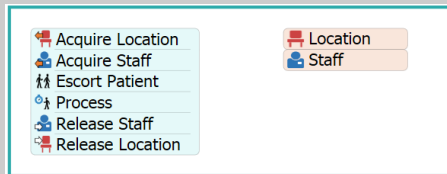
*HC Activity Sets del modelo*

People Activity Sets	Procesos
<p style="text-align: center;"><b>Wait in Line then Process</b></p> 	<p>Este conjunto de actividades simula a los pacientes esperando un turno en una línea de espera o fila, luego adquieren una ubicación y un personal, viajan a la ubicación, procesan un tiempo necesario de la atención y luego libera la ubicación y el personal asignado. Los procesos que utilizan este conjunto de actividades son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Registro</li> <li>• Admisiones</li> <li>• Facturación salida</li> <li>• Facturación procedimiento</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>Walk then Process (or go to waiting area)</b></p> 	<p>Este conjunto de actividades simula a los pacientes que adquieren una ubicación y un personal, viajan a la ubicación, procesan un cierto tiempo para la atención y al final es liberado el personal y la ubicación para que un nuevo paciente ingrese. No obstante, existe momentos en el que la ubicación o el personal se encuentre ocupados y por lo tanto el paciente debe dirigirse a sala de espera hasta que pueda adquirir ambos campos.</p> <p>Los procesos que utilizan este conjunto de actividades son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Espera o Triage</li> <li>• Consulta o sala de espera</li> </ul>

## People Activity Sets

## Procesos

## Escort then Process

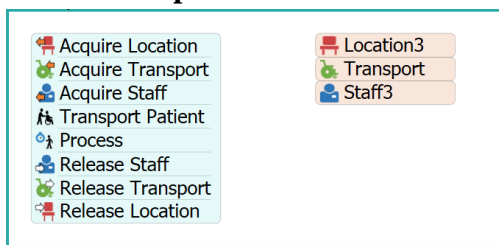


- Observación o sala de espera

Este conjunto de actividades simula a los pacientes que adquieren una ubicación y un personal, es acompañado por el personal hasta llegar a la ubicación, pasa un cierto periodo de tiempo en la atención y al final es liberado el personal y la ubicación. Los procesos que utilizan este conjunto de actividades son:

- Procedimientos
- Examen

## Transport Then Process

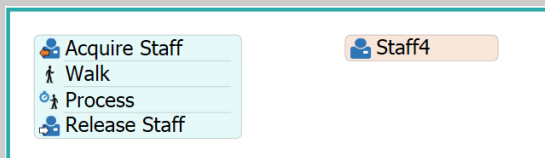


Este conjunto de actividades simula a un paciente cuando adquiere una ubicación, un transporte (silla de ruedas) y un personal, por medio del personal es transportado a la ubicación asignada, procesa un tiempo determinado de atención y luego libera la ubicación, el transporte y el personal.

Los procesos que utilizan este conjunto de actividades son:

- Rayos X
- Regreso a sala de espera

## Process with Staff



Este conjunto de actividades simula cuando un paciente adquiere un personal, viaja a ubicación de este, procesa un tiempo de atención y al final libera el personal.

Los procesos que utilizan este conjunto de actividades son:

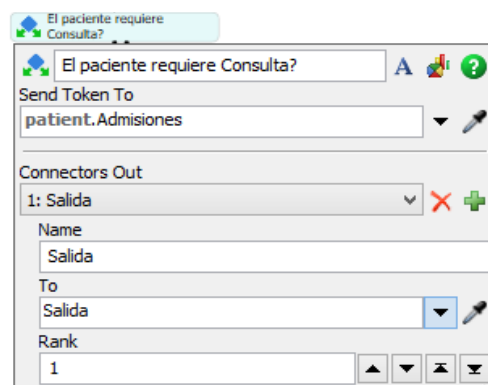
- Revaloración (Radiología)
- Revaloración (Procedimientos)
- Revaloración (Examen)

Adicional al conjunto de actividades mencionados anteriormente, se programan de manera manual ciertos conjuntos de procesos lógicos necesarios, los cuales utilizan otros elementos de la librería del “*Patient Flow*” con el fin de completar la construcción del flujo del proceso.

Por otro lado, las posibles trayectorias de los pacientes dentro del departamento de urgencias son asignadas a través del elemento “*Decide*” que se encuentra en la librería básica del “*Patient Flow*”, el cual inicialmente se configura utilizando la etiqueta admisiones con el fin de dividir en porcentajes los pacientes que pasan a la zona de admisiones de aquellos que son dados de alta una vez pasan por triage. Los porcentajes utilizados se encuentran en el numeral 7.2.1.3.1.

### Figura 36.

*Configuración del primer Decide*



Posteriormente, es necesario utilizar otro elemento “*Decide*” para dividir las trayectorias de los pacientes que quedan en el sistema una vez han finalizado la consulta. Este se configura a través de la opción “*By percentage*” la cual se encarga de dividir en porcentajes las cinco posibles rutas que se pueden presentar una vez el paciente termina la consulta. Las configuraciones junto con los porcentajes utilizados se muestran en la figura 37.

Asimismo, se utilizan adicionalmente dos elementos “*Decide*” con el fin de dividir en porcentajes la ruta de un paciente que es revalorado una vez ha finalizado el proceso de radiología o exámenes asignados. Similar al segundo “*Decide*”, estos también se configuran utilizando la opción “*By Percentage*” y se ajustan con dos conexiones de salida: facturación salida o sala de

observación. Los porcentajes utilizados para la configuración de los “*Decide*” adicionales se pueden apreciar en el apéndice G.

**Figura 37.**

*Configuración del segundo Decide*

Specify Percentages (must sum to 100) and Values	
Percent	15.461
Connector	1
Percent	6.837
Connector	2
Percent	31.546
Connector	3
Percent	44.327
Connector	4
Percent	1.829
Connector	5

Use Random Stream: `getstream(activity)`

Una vez finalizada la construcción del “*Patient Flow*”, es necesario colocar estratégicamente elementos “*Milestone*” los cuales permiten extraer estadísticas de tiempos promedios de los pacientes en el sistema. Dichos promedios son utilizados como medidas de desempeños para analizar el rendimiento actual del sistema. También es necesario precisar otras medidas de desempeño como el porcentaje de utilización del personal, las cuales son generadas a

través de la herramienta “*Dashboards*” que muestra estadísticas en tiempo real mientras se ejecuta el modelo de simulación.

#### **7.3.4 Interfaz Gráfica de Usuario (GUI)**

El modelo cuenta con una Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) la cual funciona como recurso experimental adicional que permite el control del sistema y facilita el cambio de parámetros durante el proceso de prueba. Esta importante herramienta brinda la oportunidad de manejar componentes del modelo a aquellos usuarios que no tienen experiencia en la navegación y manejo de la Interfaz del software FlexSim.

Para la construcción del GUI, se selecciona la opción “*Graphical User Interface*”. Una vez se selecciona esta opción, se despliegan dos ventanas, una corresponde a la programación interna de la interfaz y otra donde se le da la apariencia visual con la que se va a llevar el control del modelo.

De esta manera, la interfaz del GUI contiene diferentes elementos los cuales se encuentran divididos en distintos grupos para facilitar y dar claridad en la ejecución de cada uno de ellos. Teniendo en cuenta lo anterior, se presenta dentro de la interfaz, la barra de ejecuciones del modelo, las vistas dinámicas, así como los porcentajes de las posibles trayectorias que puede tomar el paciente dentro del sistema de urgencias (Ver figura 38).

Figura 38.

*Interfaz Gráfica de Usuario*

Este modelo muestra el flujo de pacientes en un Servicio de Urgencias de un Hospital Regional de Santander. Los pacientes ingresan al sistema y son enviados por diferentes rutas según sea su necesidad. Intente Jugar con los porcentajes en las trayectorias que sigue el paciente en este modelo.

### TRAYECTORIAS DESPUES DE TRIAGE

Inadmitidos % 1  %

Admitidos % 2  %

### TRAYECTORIAS DESPUES DE CONSULTA

Facturacion % 1  %

Procedimientos % 2  %

Radiologia % 3  %

Examen % 4  %

Observacion % 5  %

### TRAYECTORIAS DESPUES DE REVALORACION-RADIOLOGIA

Salida % 1  %

Observacion % 2  %

### TRAYECTORIAS DESPUES DE REVALORACION-EXAMEN

F salida % 1  %

Observacion E % 2  %

### OTRAS ACCIONES DISPONIBLES

Barra de Ejecuciones

Velocidad de corrida

VELOCIDAD  4.00

Vistas dinamicas

La barra de ejecuciones del modelo cuenta con cuatro botones los cuales se encargan de reestablecer, ejecutar, parar y saltar los eventos del modelo. Dichos botones son configurados y programados siguiendo los códigos de programación originales del software. Adicional, se

encuentra un subgrupo con una barra de velocidad la cual permite aumentar o disminuir la velocidad de corrida del modelo según como el usuario lo desee. Adicional, la barra de velocidad también es configurada a partir de los códigos de programación internos y originales del software.

La barra de vistas dinámicas es creada a partir de la construcción de un “*Flypath*” el cual permite instaurar rutas de vuelo secuenciales de las vistas 3D del modelo. Las rutas de vuelo pueden ser modificadas según sea las preferencias que se tengan dentro del modelo. Una vez se realiza el “*Flypath*”, se procede a configurar los botones de vistas guiadas y detener la dinámica a través de códigos de programación instalados en los atributos de los nodos en el “*Control GUP*”.

Los porcentajes de las posibles trayectorias que puede seguir un paciente dentro del departamento de urgencias son creados a través de la definición de parámetros en la herramienta “*Model Paramater Tables*”. Cada uno de los parámetros creados corresponde al porcentaje de las posibles rutas que puede seguir un paciente una vez ha pasado por triage, consultorio y revaloración médica. Dichos parámetros se encuentran conectados con los elementos “*Decide*” que se han desarrollado para la lógica del proceso. Las conexiones de los parámetros con los objetos divisores se dan a través de un pequeño código el cual permite colocar los parámetros dentro de un “*Dashboard*” con el fin de ser manipulados por cualquier usuario que requiera otros porcentajes para la experimentación.

Gracias a la herramienta “*Add Parameters Table Dashboard*” brindada por la versión 21.1.4 del software FlexSim se pueden agregar los parámetros y la Interfaz Gráfica de Usuario a un mismo panel el cual es anclado a la interfaz principal del software. Por tal razón, se recomienda abrir el modelo en la versión 21.1.4 para poder visualizar sin problemas el GUI proporcionado a los usuarios (Ver apéndice J).

De acuerdo con lo anterior, se ofrece al usuario la posibilidad de manejar fácilmente componentes del modelo desde la interfaz principal del software, aumentar o disminuir la velocidad del modelo, conocer todos los objetos con los que interactúa el paciente a través de las vistas dinámicas y manipular los parámetros relacionados con los porcentajes de las trayectorias que sigue las entidades a lo largo del sistema sin la necesidad de conocer la navegación y el manejo de FlexSim.

#### 7.4 Verificación

La verificación consiste en asegurarse de que el modelo de simulación siga las especificaciones dadas en el modelo conceptual. Esta tarea se lleva a cabo a la par de la programación de la lógica del modelo, por tanto, se utilizan diferentes estrategias para constatar dicha verificación.

La primera estrategia corresponde a una verificación constante o por fases, en la cual cada etapa del proceso simulado se compara con el modelo conceptual, de esta manera, cada etapa en la construcción del modelo es verificada. Para esto, se recorre el modelo objeto por objeto con un número pequeño de pacientes cada vez que se va agregando componentes lógicos a la programación en el “*Patient Flow*”. Además, se verifica la dinámica del modelo a través de la animación que el software permite incluir, por tal razón, es posible mostrar dicha animación del modelo en 3D al personal encargado del área de urgencias del hospital en estudio para que confirmen que el modelo tiene un comportamiento similar a la realidad. Gracias a la animación del modelo y a la construcción de la lógica en el flujo del proceso del paciente se corrobora las rutas que toma un paciente a lo largo de su transcurso en el sistema.

Una vez se tiene construido el modelo final, se utiliza la segunda estrategia de verificación la cual consiste en realizar corridas de prueba con diferentes límites de tiempo para identificar bloqueos en el sistema y verificar que en el transcurrir de las unidades de tiempo no se presenta ningún error de compilación. Otra estrategia de verificación utilizada consiste en revisar los valores de las etiquetas y estadísticas de los datos generados para comprobar que los cambios realizados en el modelo sean ejecutados correctamente. Finalmente, el director del proyecto de simulación el Ing. Edwin A. Garavito realiza una verificación global revisando el funcionamiento del sistema y el propósito de las programaciones lógicas en el modelo.

### **7.5 Cálculo del tiempo de precalentamiento y longitud de la corrida**

A diferencia de un sistema de simulación terminal, como el de una tienda que abre a las 9:00 a.m. sin clientes y cierra a las 8:00 p.m. nuevamente sin clientes, el sistema de urgencias de un hospital es de estado estacionario donde todo el día hay pacientes dispersos en el sistema (Medina et al., 2010). Teniendo en cuenta lo anterior, es necesario definir un tiempo de precalentamiento donde el sistema se encuentre estabilizado y a partir de ese periodo obtener un valor confiable de las variables de respuesta. Dicho periodo permite comprobar que los datos simulados son lo más precisos y consecuentes con el comportamiento real del sistema.

Para determinar el tiempo de precalentamiento se realiza un análisis de estado estable el cual consiste en seleccionar la medida de desempeño característica del modelo, en este caso es el tiempo promedio del paciente durante su estadía en el sistema. Inicialmente, se decide ejecutar 44640 minutos, las cuales equivalen a un mes de simulación, con el fin de identificar el momento donde el sistema empieza a tener un comportamiento estable. Finalizado el tiempo de corrida, los datos de la simulación arrojan un conjunto de datos relacionados con el tiempo de corrida y la

duración del paciente dentro del sistema, es importante aclarar que el tiempo de corrida hace referencia al minuto en el que el paciente sale del sistema.

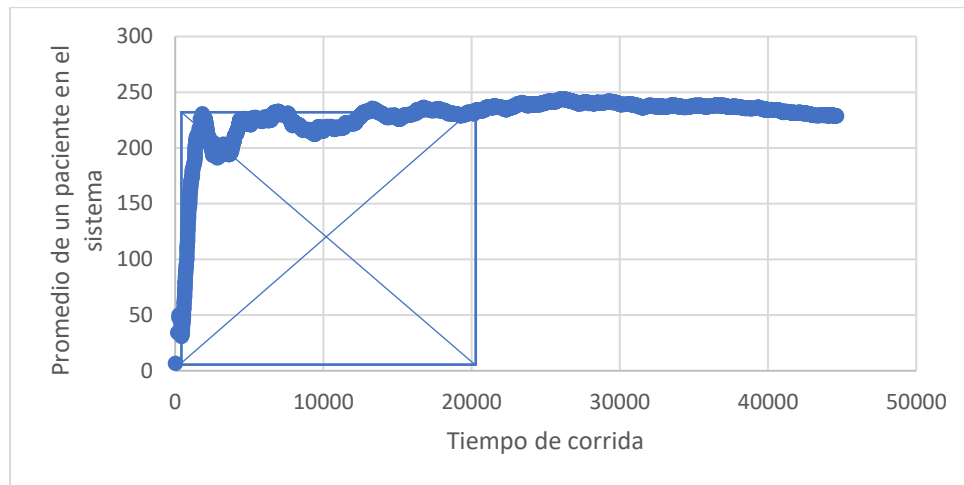
Una vez obtenidos los datos del tiempo de corrida, se procede a analizar la información. En primer lugar, se ordenan los datos de menor a mayor según el tiempo de corrida y se calcula el promedio de cada uno de los tiempos registrados. Dicho promedio se halla de manera especial, pues a medida que va saliendo un paciente se va generando el promedio, es decir, se halla el promedio de la duración del paciente para el primer dato de corrida, luego el promedio de la duración del paciente para los dos primeros datos de corrida y así sucesivamente hasta calcular el promedio final de todos los datos. Finalmente, los datos obtenidos de tiempo de corrida y los promedios de la duración del paciente dentro del sistema se pueden evidenciar en el gráfico de dispersión que se presenta en la figura 39.

***Información de la corrida:***

- Warmup time: 0
- Longitud de corrida: 44640 min
- Medida de desempeño: Tiempo promedio de la estadía de un paciente en el sistema

**Figura 39.**

*Identificación del periodo de precalentamiento*



Según el gráfico de dispersión presentado en la figura 39 se puede evidenciar que aproximadamente en el tiempo de 22000 minutos el sistema empieza a tener un comportamiento estable.

Una vez definido el tiempo de precalentamiento se procede a realizar nuevamente una corrida con el objetivo de poder realizar un análisis de autocorrelación e identificar el intervalo de tiempo que debe correr el modelo para definir la independencia de los datos y por ende obtener la longitud de corrida teórica. Dicha corrida se configura en FlexSim con el “*Warm-Up*” calculado (22000 min) y con una longitud de corrida lo suficientemente larga con el fin de identificar la independencia de los datos, para este caso se selecciona 89280 minutos, el cual es equivalente a 62 días. Finalizada la corrida se procede a realizar nuevamente los promedios de la estadía del paciente para llevar esos datos a Minitab y por medio de un análisis de autocorrelación encontrar la serie de tiempo donde se puede definir la longitud de la corrida, para este caso, el resultado de la longitud de la corrida teórica es de 24000 minutos. Teniendo en cuenta lo anterior, se llega a la

conclusión que el modelo reporta estadísticas confiables con un periodo de precalentamiento de 22000 minutos y una longitud de corrida de 24000 minutos.

## 7.6 Validación

El objetivo de la validación es demostrar estadísticamente que el modelo se encuentra comportándose como el sistema real. Dicha validación, se realiza a partir de la comparación de los resultados del modelo computacional y del sistema real a través de las medidas de desempeño definidas durante la conceptualización del modelo. En este caso particular, dadas las condiciones de los datos entregados por el hospital en estudio, se elige como medida de desempeño a comparar el **tiempo promedio de los pacientes en el sistema**, esto debido a que los datos de los meses de julio y agosto proporcionados por el hospital solo permiten calcular dicha medida de desempeño.

El tiempo promedio de estadía del paciente se calcula a partir de la eliminación de datos que se consideran atípicos dadas las recomendaciones del Ingeniero de Sistemas encargado del manejo del sistema de información del hospital y a la utilización de diagramas de caja y bigotes. Algunos datos tienden a ser erróneos debido a fallas en la digitación por parte del personal médico y a fallas en el sistema tales como:

- El no cierre de la atención en triage, consulta y observación una vez ya ha finalizado el servicio. Estas fallas ocasionan tiempos muy extensos los cuales no corresponden a la realidad.
- Fechas de ingreso y egreso erróneas por fallas en el sistema los cuales generan tiempos mínimos y extensos que no coinciden con el comportamiento real del sistema.

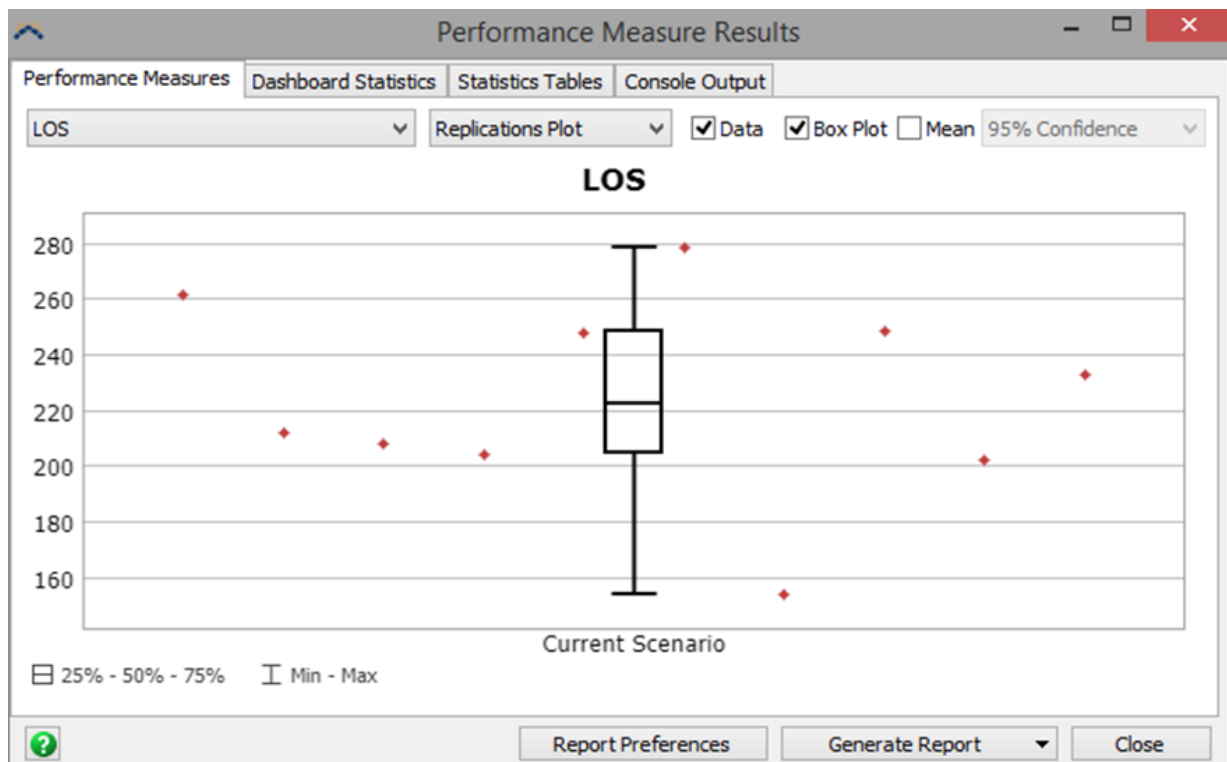
Adicional, en el apéndice K se presenta el cálculo del tiempo promedio de los pacientes en el sistema, el cual tiene en cuenta ciertas consideraciones que son definidas según las entrevistas que se llevaron a cabo con el coordinador de urgencias del hospital en estudio y a la eliminación

de datos atípicos y erróneos causados por las imperfecciones mencionadas anteriormente. Teniendo en cuenta las entrevistas realizadas con el personal del hospital y después de un riguroso análisis de la información entregada, se consideran el 87% de los datos dados inicialmente, es decir el tiempo promedio de 6469 pacientes.

Luego de obtener el tiempo de estadía promedio del paciente en el sistema el cual es de 243 minutos, se procede a comparar dicho valor con los resultados reportados en el modelo de simulación de la misma medida de desempeño a través de la herramienta “*Experimenter*”. Lo que se busca es que dado que el reporte de la simulación trae consigo un intervalo de confianza para la medida de desempeño analizada, se debe comparar la media calculada para los datos reales contra el intervalo de confianza entregado por el reporte del modelo de simulación. Es decir, la media calculada para los datos reales debe estar incluida dentro del intervalo de confianza del reporte del software FlexSim. A partir de esto, se utiliza un nivel de significancia ( $\alpha$ ) igual a 0.05 para generar un intervalo de confianza que muestre la variabilidad de cada uno de los valores y que permita contrastar los datos. Para su construcción, se usa el escenario actual y diez replicas, con un periodo de precalentamiento de 22000 minutos y una longitud de corrida de aproximadamente 24000 minutos (Ver figura 40).

**Figura 40.**

Reporte de la duración promedio de estadía de los pacientes en el sistema



LOS				
	Mean (95% Confidence)	Sample Std Dev	Min	Max
<b>Current Scenario</b>	199 < 225 < 251	36	154	278

Gracias al reporte de la simulación, se puede observar que el promedio de la medida de desempeño calculada para el sistema real (243 minutos) se encuentra localizado dentro del intervalo de confianza obtenido a través del “*Experimenter*” lo que demuestra que el modelo de simulación elaborado es una representación adecuada del sistema real ya que dicho tiempo promedio del paciente en el sistema es el resultado de parámetros establecidos y variables caracterizadas. Dicho lo anterior, se llega a la conclusión que el modelo de simulación es útil para

la toma de decisiones y para el posterior análisis de escenarios. Los resultados obtenidos para la validación se encuentran en el apéndice L.

### **7.7 Definición y evaluación de escenarios**

El propósito de la definición y evaluación de escenarios corresponde a encontrar alternativas de mejora que permitan reducir el valor de la medida de desempeño establecida (tiempo promedio del paciente en el sistema) y que a su vez reduzcan el hacinamiento en cada una de las áreas del servicio de urgencias. Para ello, se contempla el análisis de los factores controlables que intervienen en el sistema y la sensibilidad de las variables caracterizadas en el modelo de simulación.

Antes de definir los escenarios, es necesario establecer el número de réplicas utilizadas para la ejecución de cada uno de ellos. Para efectos del modelo y debido a que cada réplica toma mucho recurso experimental, se opta por correr 10 réplicas en cada una de las alternativas planteadas. Asimismo, los resultados de las medidas de desempeño en cada escenario deben ser comparadas contra los datos obtenidos en el modelamiento del departamento de urgencias actual.

Dicho lo anterior, el modelo realizado en FlexSim HC ofrece muchos beneficios, entre los cuales se encuentran la evaluación de los escenarios planteados antes de la puesta en marcha en el sistema real, lo que permite ahorrar tiempo, costos y por consiguiente permite realizar una toma de decisiones más acertada.

De este modo, se definen diferentes escenarios con el fin de generar alternativas de solución a las problemáticas que actualmente se presentan en el departamento de urgencias en estudio.

### 7.7.1 Definición de escenarios

Analizando las condiciones y restricciones del sistema actual se procede a plantear diferentes escenarios. Dicho planteamiento se encuentra basado en el análisis de aquellos recursos con los porcentajes de utilización más alta. Asimismo, para los escenarios definidos también se tienen en cuenta los procesos que son considerados como ineficientes y que aumentan el número de pasos en todo el servicio.

En vista a lo anterior, en la tabla 15 se plantean diferentes escenarios alternativos los cuales van encaminados a mejorar el rendimiento del sistema actual.

**Tabla 15.**

#### *Definición de escenarios*

<b>Escenario</b>	<b>Descripción</b>
<b>1</b>	Incrementar el número de médicos disponibles para la realización del triage de uno a dos considerando las horas con mayor afluencia de pacientes.
<b>2</b>	Incrementar los recursos médicos disponibles en consultorios de dos a cuatro considerando las horas con mayor afluencia de pacientes.
<b>3</b>	Médicos flexibles para la atención en triage, consulta médica y revaloración
<b>4</b>	Eliminación de un paso prescindible en la prestación del servicio

### 7.7.2 Evaluación de escenarios y análisis de resultados

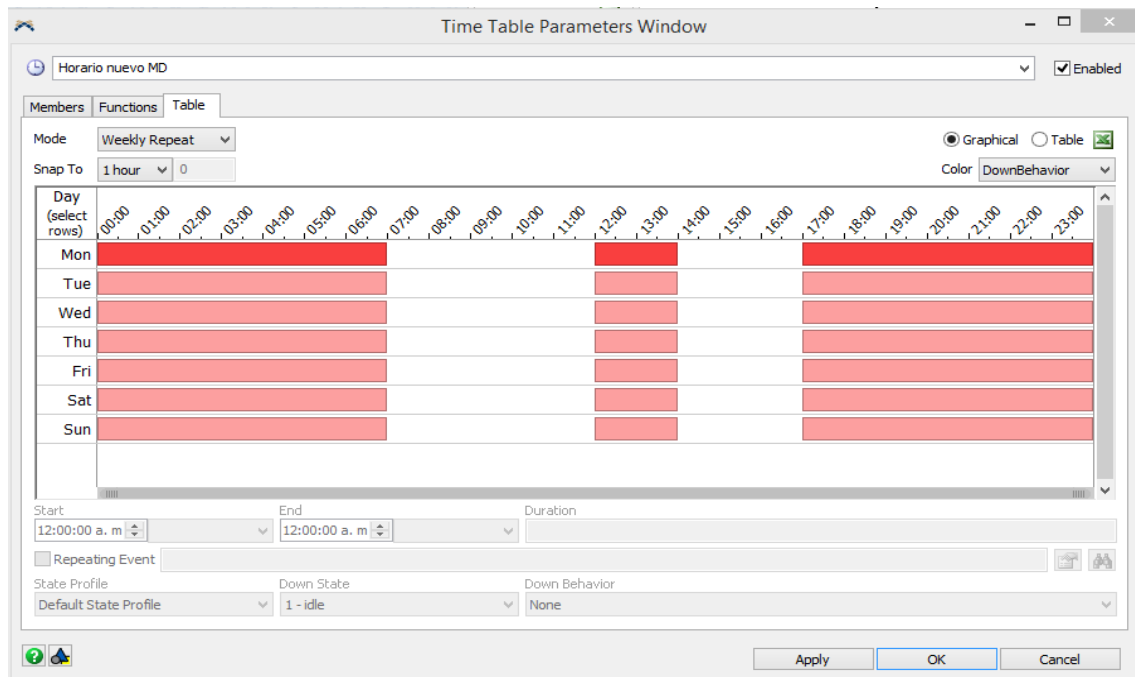
Teniendo en cuenta los escenarios planteados es importante evaluar y analizar los resultados que presenta cada una de las alternativas. Para ello, se implementa cada una de las opciones de mejora en el modelo ya validado siguiendo los parámetros establecidos en cada una de ellas. A continuación, se presenta la evaluación y el análisis de resultados en cada una de las alternativas planteadas.

**7.7.2.1 Incremento del número de médicos en la zona de triage.** El triage es el proceso mediante el cual un paciente es valorado a su llegada al centro hospitalario para determinar la urgencia del problema y asignar el recurso apropiado para el cuidado del problema identificado (La Importancia de La Enfermería: El Triage, 2017). Por tanto, cada paciente tiene como requisito obligatorio ser valorado por un médico una vez ingresa a urgencias ocasionando que este proceso siempre tenga un porcentaje de utilización alto y que por consiguiente los clientes tengan que esperar largos tiempos para ser atendidos. Actualmente en el hospital en estudio se cuenta con un solo médico para realizar dicha labor lo que genera una alta saturación en sala de espera debido a la poca disponibilidad del recurso. Esta alternativa se refiere a asignar un nuevo médico que apoye el proceso de triage y que permita atender con mayor celeridad a los pacientes en los momentos del día donde aumenta la llegada de clientes. La distribución física del departamento de urgencias está dada para que cada médico atienda al paciente en un consultorio, sin embargo, existen consultorios médicos que no son utilizados por la falta de personal por lo que no se requiere un incremento igual en cada recurso (camas, consultorio) para la atención dada por el nuevo médico.

En base lo anterior, se incluye dentro del modelo un médico en triage con una jornada laboral de 8 horas a través de la herramienta brindada por el software “*Time Table*” (Ver figura 41). Las barras rojas mostradas en la figura representan los momentos del día en los que el médico se encuentra inactivo, es decir, cuando no está disponible para prestar el servicio. Asimismo, los espacios en blanco hacen referencia a los momentos en que el médico se encuentra disponible para realizar el proceso de triage.

**Figura 41.**

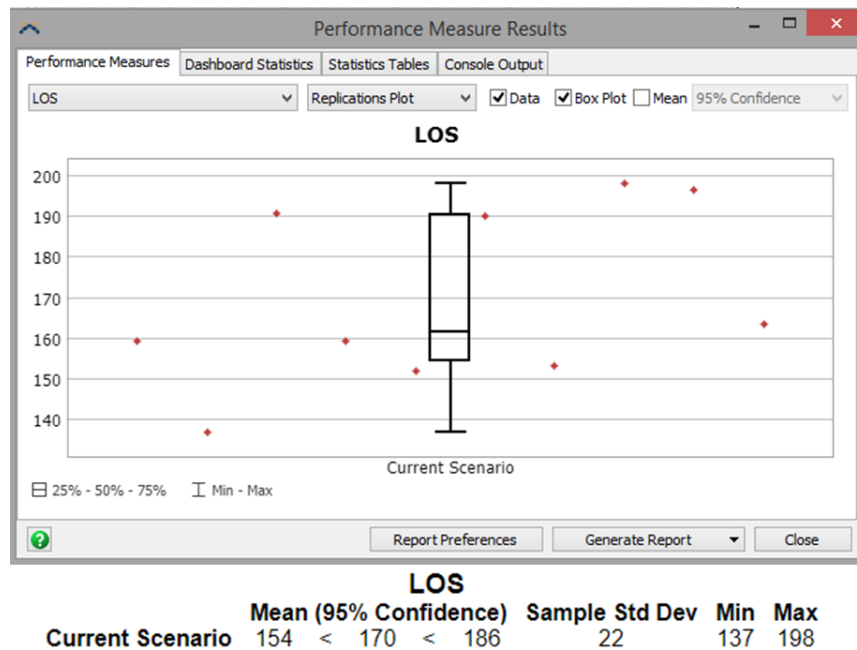
*Configuración del horario del nuevo medico en el software FlexSim*



Realizados los ajustes al modelo para crear el escenario, se inicia con el análisis de los resultados obtenidos en el “*Experimenter*”. Para ello, se realizan 10 réplicas con el mismo período de precalentamiento y longitud de corrida establecidos en la validación. En la figura 42, se muestran los resultados para la medida de desempeño **tiempo promedio del paciente en el sistema** en los que se puede apreciar mejoras sustanciales en dicha medida (Ver apéndice M).

**Figura 42.**

*Tiempo promedio del paciente en el sistema con la implementación del escenario 1*



Con la implementación de un nuevo médico en triage se logra disminuir el tiempo de estadía promedio de los pacientes en un 25,4% a razón de que se logra aumentar la capacidad de atención en el proceso de triage el cual es uno de los cuellos de botella identificados en el sistema. De esta misma manera, la adición de un nuevo médico repercute positivamente en el tiempo promedio requerido por los pacientes para la atención médica, cambiando su valor de 99 a 51,2 minutos, logrando así disminuir la congestión en el sistema y por ende mejorando la calidad del servicio.

Finalmente, en la tabla 16 se presenta un resumen de los resultados de mejora obtenidos con la alternativa ejecutada con los que se logra obtener una respuesta más oportuna en la atención de los pacientes asistentes al centro hospitalario.

**Tabla 16.***Resultados obtenidos con el escenario 1*

<b>Medida de desempeño</b>	<b>Escenario Actual</b>	<b>Escenario 1</b>	<b>% Diferencia</b>
Tiempo promedio del paciente en el sistema (min)	228	170	25,4%
Tiempo promedio requerido para la atención médica (min)	99	51,2	48,3%

#### **7.7.2.2 Incremento del número de médicos en la zona de consultorios médicos.**

Agregar médicos para la realización de las consultas es a menudo una de las soluciones propuestas cuando se busca aumentar el rendimiento de un servicio de urgencias (Baril et al., 2019). Sin embargo, es claro que esta solución es costosa y que, por tanto, puede ser descartada. No obstante, a raíz de la importancia que tiene este recurso dentro de las salas de emergencia se incurre en la necesidad de estudiar el impacto que se obtiene al añadir este recurso humano dentro del sistema.

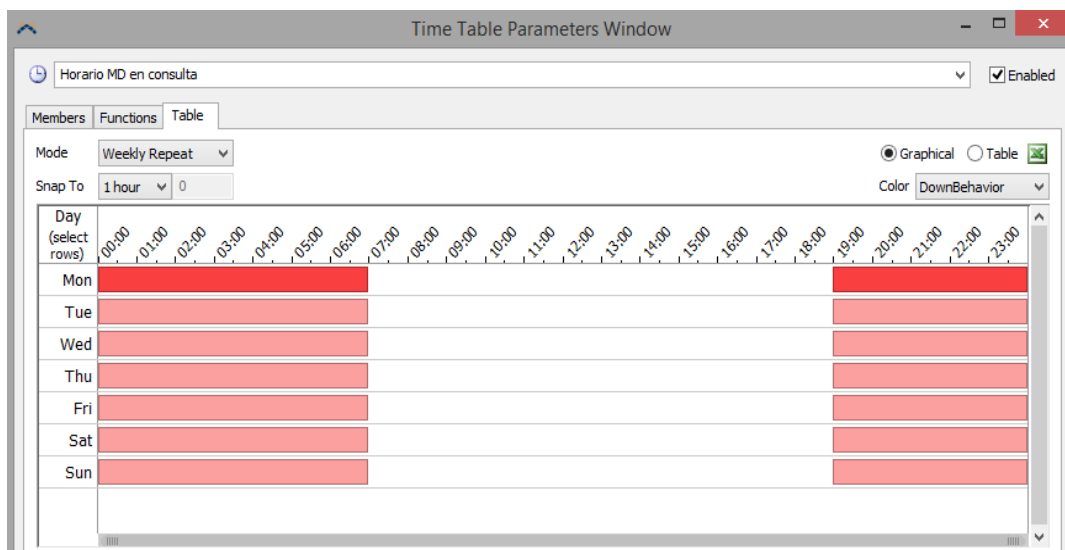
Actualmente, el centro hospitalario en estudio dispone de consultorios médicos suficientes para la atención médica; no obstante, algunos de estos no son utilizados a razón de la poca disponibilidad de médicos a lo largo del día, dando lugar a largos tiempos de espera para la atención de los clientes los cuales se traducen en inconformidad en el servicio y en una alta saturación del sistema. En el escenario actual, se cuenta con dos médicos en consultorio encargados de realizar la consulta médica y la revaloración después de la aplicación del procedimiento (segunda consulta), lo que ocasiona que se genere congestión en sala de espera por la alta demanda que se forma en ciertas horas del día y por la poca disponibilidad del recurso humano cuando se requiere cada uno de los dos procesos.

Dicho lo anterior, se hace necesario evaluar una alternativa de solución la cual consiste en agregar **dos médicos de urgencias** al modelo, que apoyen los procesos de consulta y revaloración

médica en los momentos del día donde existe mayor afluencia de pacientes dentro del sistema. Para ello, se incluyen dentro del modelo dos nuevos médicos en los horarios de 7 am a 7 pm como se evidencia en el apéndice N. Los horarios asignados a los nuevos médicos se configuran de la misma manera que el escenario 1 a través de la herramienta ofrecida por FlexSim HC llamada “Time Tables”.

**Figura 43.**

*Configuración de las horas de trabajo para los nuevos médicos*



Realizadas las modificaciones y ajustes al modelo, se procede a analizar los resultados obtenidos en la experimentación de este escenario. Para el análisis de los resultados, se corren en el “*Experimenter*” 10 réplicas con la misma longitud de corrida y período de precalentamiento establecidos para la validación del modelo. Los resultados de la alternativa simulada para cada una de las medidas de desempeño son presentados en la tabla 17.

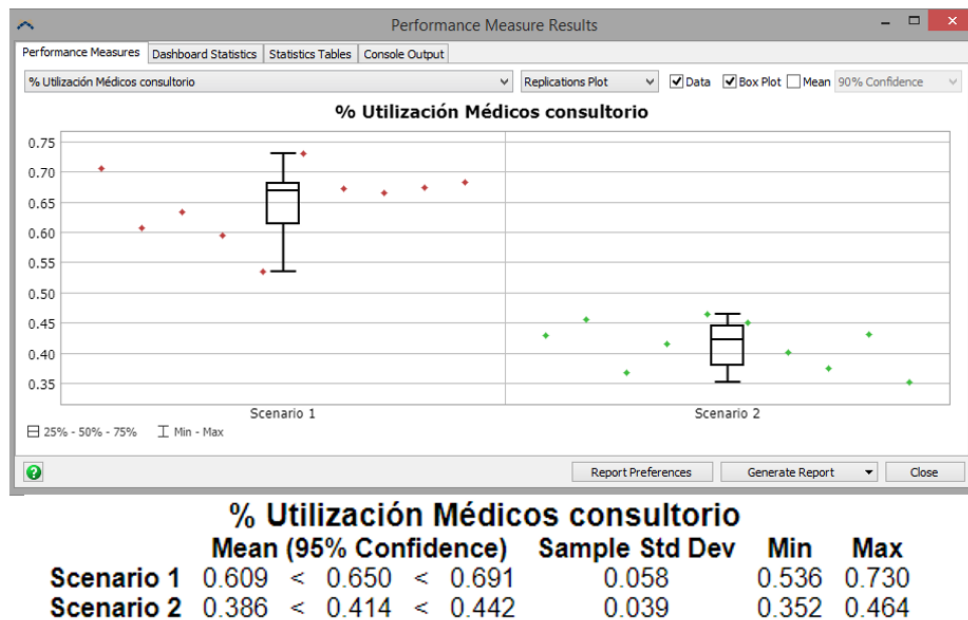
**Tabla 17.***Comparación de resultados de alternativa versus escenario actual*

<b>Medida de desempeño</b>	<b>Alternativa</b>	<b>Escenario Actual</b>	<b>% Diferencia</b>
Tiempo promedio del paciente en el sistema (min)	202	228	11,4%
Tiempo promedio requerido para la atención médica (min)	86	99	13,1%
Porcentaje de utilización Med-Consultorio	41,4%	65%	23,6%

Como se puede observar en la tabla 17, el escenario propuesto presenta una leve mejora en los tiempos, tanto en el requerido para la atención médica, como en el tiempo promedio del paciente en el sistema. Esto se logra gracias al aumento de la capacidad de la atención en los procesos de consulta y revaloración lo cual también repercute positivamente en la disminución del hacinamiento dentro de las instalaciones de urgencias. Asimismo, se observa una reducción en el porcentaje de utilización de los médicos debido a que existe una distribución en la cantidad de pacientes atendidos para cada uno de los médicos lo que ocasiona que exista mayor tiempo libre en ciertas ocasiones del día y que por tanto esta medida de desempeño disminuya (Ver figura 44).

**Figura 44.**

*% de utilización de los médicos en consultorio: escenario actual vs escenario 1*



Como se pudo evidenciar anteriormente, esta alternativa mejora el desempeño general del sistema pues con ella se logra dar una atención más rápida a los pacientes; sin embargo, dicha alternativa no representa porcentajes de mejora significativos con los cuales el hospital pueda soportar una decisión de inversión económica para su implementación.

### 7.7.2.3 Médicos flexibles para la atención en triage, consulta médica y revaloración.

Actualmente el área de urgencias del hospital analizado cuenta con tres médicos, de los cuales dos de ellos se encargan de realizar específicamente el servicio de consulta médica y el faltante de realizar únicamente el triage para los clientes que ingresan al sistema. Al existir muy poca capacidad para la atención de los pacientes en triage, se generan largos tiempos de espera y, por ende, la velocidad de la atención de los pacientes se hace muy lenta ocasionando saturación en el

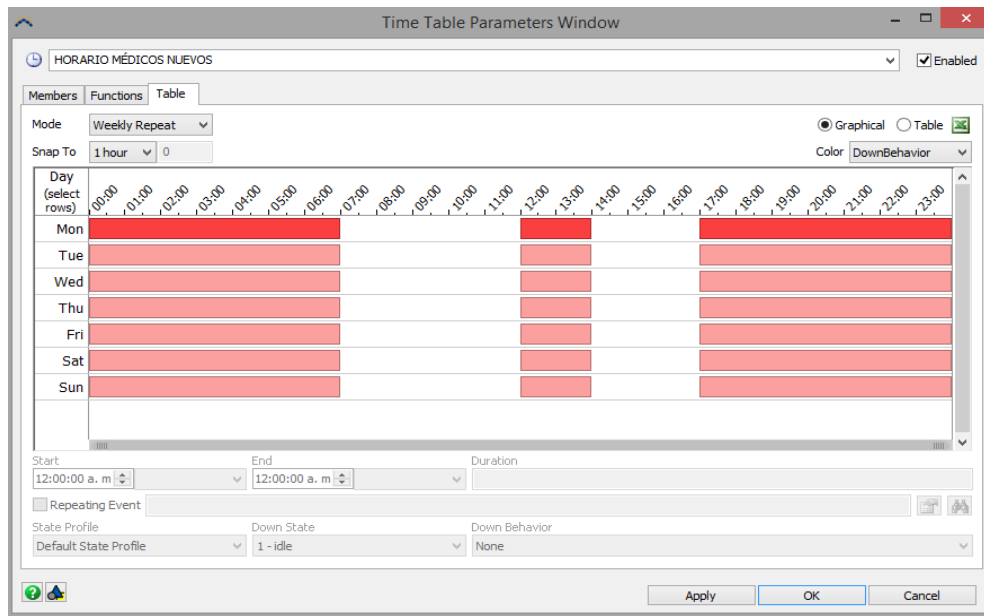
sistema en los horarios de mayor demanda de pacientes y capacidad ociosa para los médicos en consultorio. Asimismo, la capacidad ociosa generada en los médicos de consultorio conlleva a que no se aprovechen estos recursos al máximo.

Teniendo en cuenta la problemática de atención mencionada anteriormente, se ha considerado como escenario alternativo la inclusión de dos nuevos médicos al sistema con una jornada laboral de 8 horas (Ver figura 45); a su vez, también se plantea que los médicos disponibles actualmente más los dos nuevos asignados, apoyen tanto los procesos de triage, consulta y revaloración médica según sea su disponibilidad, generando que se ocasione flexibilidad en este recurso. De igual manera, se plantea que el médico que atienda a cierto paciente en triage sea el mismo para los demás procesos donde necesite su servicio (consulta y revaloración médica).

Por otra parte, cabe señalar que el objetivo de esta alternativa es evaluar el impacto en el comportamiento del sistema que genera la flexibilidad de los médicos en el apoyo en los procesos de triage, consulta y revaloración. En dicha evaluación se analiza el efecto de la alternativa en el sistema actual y el impacto que tiene al agregar los nuevos médicos al modelo.

**Figura 45.**

*Horario asignado para los nuevos médicos en FlexSim HC*



Para la experimentación y el análisis de resultados de las medidas de desempeño en esta alternativa, se plantean tres escenarios tomando como parámetro en el “*experimenter*” el número de médicos disponibles en el sistema (Ver apéndice O). A continuación, se presenta la descripción de cada escenario simulado en esta alternativa:

**Tabla 18.**

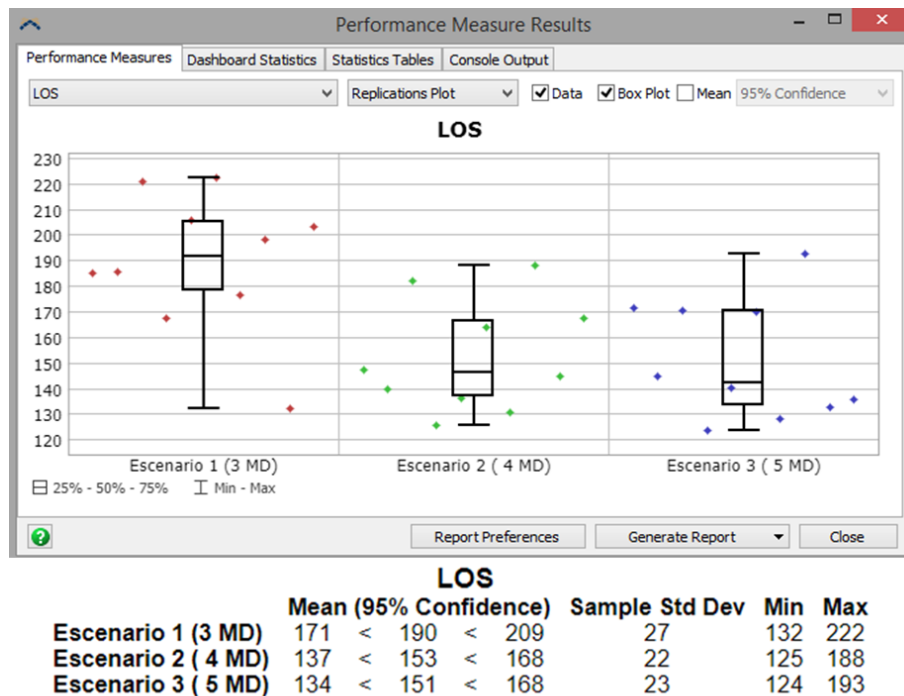
*Descripción de los escenarios*

<b>Escenario</b>	<b>Descripción</b>
<b>1</b>	Recursos médicos disponibles en el sistema actual (3 médicos).
<b>2</b>	Adición de un nuevo médico con el horario establecido anteriormente (4 médicos)
<b>3</b>	Adición de dos médicos con el horario establecido anteriormente (5 médicos)

Analizando los resultados obtenidos en el “*Experimenter*” para la medida de desempeño tiempo promedio del paciente en el sistema, se puede observar que en cada escenario disminuye sustancialmente con respecto al valor inicial (228 minutos). Acorde con lo anterior, dicha medida se reduce en los escenarios 1, 2 y 3 en un 16,7%,32,9% y 33,7 % respectivamente, lo que repercute positivamente en la disminución de la saturación de pacientes, teniendo en cuenta que con esta alternativa se agiliza el sistema dada la optimización de los recursos que se presenta con ella (Ver figura 46).

**Figura 46.**

*Tiempo promedio del paciente en el sistema para cada escenario*

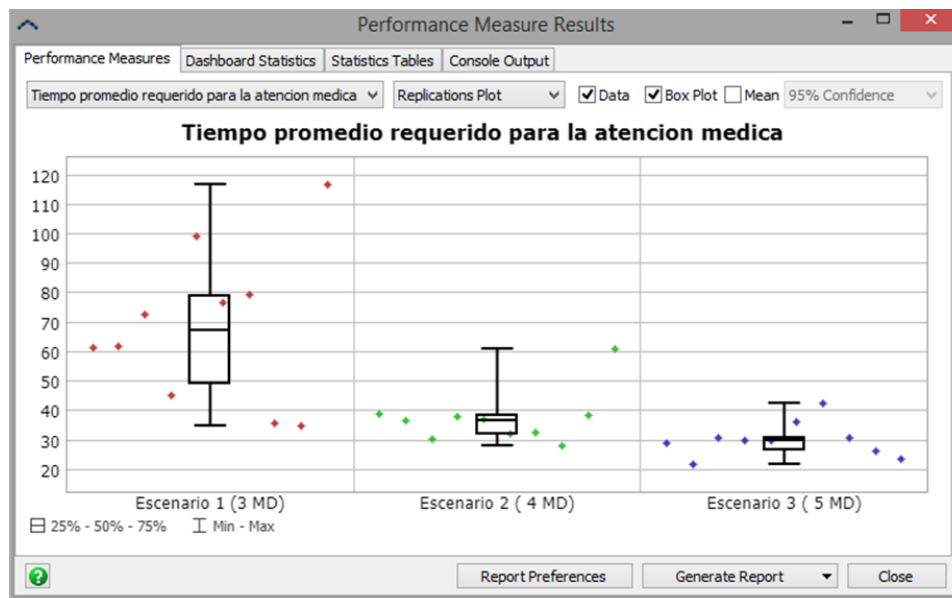


Por otra parte, la mejora en la medida de desempeño mencionada anteriormente también afecta positivamente el comportamiento del tiempo promedio requerido para la atención médica,

dado que se disminuye su valor en un 31%; 62,4% y 69,7% respectivamente para cada uno de los escenarios planteados en esta alternativa (Ver figura 47). Cabe recordar que esta medida toma un valor de 99 minutos en el modelo del sistema real.

**Figura 47.**

*Tiempo promedio requerido para la atención médica en cada escenario*



**Tiempo promedio requerido para la atención medica**

	Mean (95% Confidence)	Sample Std Dev	Min	Max
<b>Escenario 1 (3 MD)</b>	49.3 < 68.3 < 87.2	26.5	34.5	116.6
<b>Escenario 2 (4 MD)</b>	30.7 < 37.2 < 43.7	9.1	28.1	60.9
<b>Escenario 3 (5 MD)</b>	25.7 < 30.0 < 34.3	6.0	21.7	42.6

Como se observa en la Figura 46 y Figura 47 el escenario 1 es interesante desde el punto de vista económico, toda vez que no se requiere inversión en recursos médicos adicionales para que el servicio de urgencias presente mejoras. A su vez, el escenario 2 muestra que los tiempos de atención pueden ser significativamente reducidos al incrementar el personal médico, sin embargo, es más costoso teniendo en cuenta que se requiere un recurso médico adicional en el turno

mencionado anteriormente. La adición de los dos médicos establecidos en el escenario 3 no representa diferencias significativas con respecto al escenario 2, por lo tanto, no se justifica el agregar dos recursos humanos más al modelo que cuenta con las características del sistema real. Finalmente, la sustancial mejora en los tiempos y en la calidad del servicio expuesta en el escenario 2, demuestra la importancia de agregar un nuevo médico que apoye junto a los tres del sistema actual; los procesos de triage, consulta y revaloración médica. Dado lo anterior, se puede concluir que el escenario 2 resulta ser el más completo; por lo tanto, se justifica la inversión económica que se genera con esta opción.

**7.7.2.4 Eliminación de un paso prescindible en la prestación del servicio.** La optimización de los procesos y revisión constante de los mismos resulta ser fundamental para reducir pasos que pueden ser innecesarios en la prestación de un servicio. Para el caso de los pacientes atendidos en el área de urgencias del hospital en estudio, se detecta un paso prescindible el cual actualmente genera reproceso y contribuye a que los clientes presenten tiempos de espera adicionales y que por consiguiente se ralentice el flujo de ellos en el sistema. Este reproceso se presenta a raíz de que una vez el médico en consulta les asigna el respectivo procedimiento a los pacientes, estos deben trasladarse a la zona de facturación con el fin de que el personal administrativo les autorice dicho procedimiento a realizar, lo cual no resulta necesario pues el mismo médico de consulta tiene la facultad de autorizar lo que se les va a desarrollar (radiología, examen, inyección, etc.), evitando de esta manera la ejecución de este paso dentro del proceso de atención del sistema.

Según lo expuesto anteriormente, este escenario consiste en eliminar del flujo del proceso el paso de **facturación procedimiento** con el fin de mejorar el rendimiento del sistema y aumentar

la calidad del servicio. Para su implementación en el modelo de simulación, se procede a eliminar del “*patient flow*” el bloque que simula dicho paso, como se evidencia en el apéndice P. Los resultados de esta alternativa son obtenidos mediante la ejecución de diez replicas a través del “*experimenter*”. Para resaltar los cambios que se generan con el desarrollo de esta propuesta, se muestran las variaciones obtenidas en la medida de desempeño tiempo promedio del paciente en el sistema. Dicha diferencia se visualiza en la figura 48.

### Figura 48.

*Tiempo promedio del paciente en el sistema real y escenario propuesto*

LOS								
	Mean (95% Confidence)			Sample Std Dev	Min	Max		
Current Scenario	205	<	228	<	252	32	181	283
LOS								
	Mean (95% Confidence)			Sample Std Dev	Min	Max		
Current Scenario	173	<	200	<	227	38	150	264

Analizando la figura 48, se puede llegar a la conclusión que la eliminación de un paso adicional que genera reproceso disminuye el tiempo promedio del paciente en el sistema en un 12,3% ya que se elimina un tiempo de espera en el que se incurre en el sistema real. Finalmente, aunque dicha diferencia es relativamente mínima, la propuesta es atractiva desde el punto de vista económico, pues los directivos del hospital no deben involucrar costos para la puesta en marcha de este escenario en el servicio de urgencias.

## 8. Conclusiones

En este trabajo se presenta una metodología que facilita la construcción de modelos de simulación relacionados con la atención de pacientes en los servicios de urgencias de los sistemas de salud. De esta manera, la estrategia de trabajo planteada puede ser tomada como pauta para el desarrollo de proyectos de simulación que estén enfocados en la búsqueda de alternativas de mejora los cuales generen servicios más eficientes y satisfactorios para los pacientes que acuden a las salas de emergencias.

A partir de la revisión realizada es posible identificar que en diversos países se han realizado varios estudios con el objetivo de incrementar la eficiencia de los departamentos de emergencias a través de la utilización de herramientas de simulación. Así, diferentes investigadores han utilizado modelos de simulación de eventos discretos para enfrentar los problemas que frecuentemente se presentan en los sistemas de salud, los cuales se encuentran relacionados con largos tiempos de espera para la atención de los pacientes, saturación de las instalaciones, ineficiencia en el flujo de pacientes, tiempos promedio de estadía en el sistema muy extensos e inadecuada gestión de los recursos físicos y humanos.

La caracterización del sistema de urgencias del hospital regional tomado como caso de estudio, se realiza a partir del diagnóstico del estado actual de todos los procesos de atención que allí se realizan. Esto, permite abarcar la descripción general del sistema real, identificar las posibles trayectorias que pueden adquirir los pacientes, clarificar los supuestos utilizados para el desarrollo del modelo, definir los recursos utilizados para la prestación del servicio y recolectar la información necesaria para la adecuada construcción y funcionamiento del modelo de simulación. Adicional, la caracterización se plasma a través del modelo conceptual realizado en la herramienta

Ms.Visio el cual fue la guía para el desarrollo del modelo computacional. Esta herramienta permite visualizar los criterios de cada ruta y las características especiales del flujo del proceso y su conexión con los objetos involucrados en la interfaz de FlexSim HC. Además, la herramienta desarrollada en Ms.Visio puede ser adaptada para cualquier modelo desarrollado en la interfaz de este software de simulación.

De esta manera, se construye un modelo de simulación sobre la atención de pacientes en el área de urgencias de un hospital regional de Santander. El modelo permite identificar los puntos críticos que causan ineficiencias en el flujo de los pacientes resultando ser los procesos de triage y consulta médica. A partir de la validación del modelo computacional, se pueden plantear con un alto grado de confiabilidad diferentes escenarios que proporcionan mejoras concretas, las cuales pueden ser visualizadas en los resultados arrojados por el software FlexSim.

Mediante la experimentación con el modelo de simulación del actual sistema de emergencias, es posible evaluar escenarios correspondientes a la inversión en recursos humanos para el apoyo de los procesos de triage, consulta médica y revaloración. Los resultados arrojados en el modelo demuestran que agregar un médico en triage y dos en consulta médica en los horarios de mayor afluencia de clientes reduce positivamente el tiempo promedio del paciente en el sistema en un 25,4% y 11,4% respectivamente, lo que permite mejorar la calidad en el servicio y disminuir la congestión en el sistema. En base a los resultados obtenidos, se puede concluir que es difícil alcanzar los objetivos sin la asignación de nuevos recursos; sin embargo, implementar flexibilidad para el apoyo de los procesos de triage, consulta médica y revaloración, así como la eliminación de procesos innecesarios dentro del sistema, demuestran que se pueden alcanzar resultados positivos que optimizan los tiempos de estadía hospitalario sin la necesidad de incurrir en inversiones económicas para la destinación de recursos adicionales.

Finalmente, se demuestra que el modelo realizado representa una herramienta de apoyo a la toma de decisiones, la cual permite a los directivos del hospital observar el impacto de los escenarios planteados antes de aplicarlos en el sistema real. Aunque el modelo computacional construido está destinado a manejar los problemas presentados en el área de urgencias de un hospital regional de Santander, este es lo suficientemente flexible para ser adaptado a otra sala de emergencias con diferentes condiciones de demanda, recursos, etc.

## 9. Recomendaciones

Para futuras investigaciones se sugiere:

- Explotar el potencial del modelo para realizar un análisis teniendo en cuenta los posibles rediseños de la distribución de los recursos del sistema de urgencias, que permitan encontrar la forma más eficaz y eficiente de ejecutar la prestación del servicio a los pacientes.
- Una limitación de este estudio es que no se tiene en cuenta algunos factores tales como, descanso y cambios de turno para las enfermeras y médicos. Como vías de investigación adicional, se pueden realizar estudios para evaluar el impacto de agregar dichos factores al modelo de simulación que permitan mejorar el rendimiento del sistema.
- Contemplar la inversión económica de cada escenario planteado en este proyecto con el fin de realizar un análisis de costo-beneficio para recomendar al hospital el escenario de mejora más conveniente.
- La realización de una Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) robusta que contemple la adición de más parámetros que intervienen con el sistema (número de médicos, enfermeras, etc.).

De esta manera, se les da a otros la posibilidad de manipular ciertas partes del modelo sin tener que conocer el software FlexSim y en consecuencia se brinda un recurso experimental adicional a las partes interesadas en el desarrollo del estudio.

- Algunos de los escenarios planteados pueden ser combinados, por tanto, se recomienda para trabajos futuros estudiar el impacto que tiene la unión de estos, mediante el análisis de diseños de experimentos que demuestren desde el punto de vista estadístico las combinaciones que pueden mejorar el tiempo promedio de espera de los pacientes en el sistema.

**Referencias Bibliográficas**

- 3 *Simulación de eventos discretos.* (n.d.).  
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11311/fichero/Generación+de+un+modelo+de+simulación+virtual+aplicado+a+una+línea+de+fabricación+aeronáutica+%252F3+Simulación+de+eventos+discretos.pdf>
- Abrutzky, R., Bramuglia, C., & Godio, C. (2009). *Los Sistemas de salud en los países del Mercosur*. 9. <https://www.margen.org/suscri/margen54/bramuglia.pdf>
- Banks, J. (1999). Introduction to simulation. *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*, 1.  
[https://www.researchgate.net/profile/James\\_Benneyan/publication/14175737\\_An\\_introduction\\_to\\_using\\_computer\\_simulation\\_in\\_healthcare\\_Patient\\_wait\\_case\\_study/links/0c96052b099599a707000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/James_Benneyan/publication/14175737_An_introduction_to_using_computer_simulation_in_healthcare_Patient_wait_case_study/links/0c96052b099599a707000000.pdf)
- Barceló, J. (1996a). *Simulación de sistemas discretos* (Primera Ed).  
[https://jrvargas.files.wordpress.com/2010/02/libro-simulacion\\_de\\_sistemas\\_discretos.pdf](https://jrvargas.files.wordpress.com/2010/02/libro-simulacion_de_sistemas_discretos.pdf)
- Barceló, J. (1996b). *Simulación de sistemas discretos* (Primera Ed).
- Baril, C., Gascon, V., & Vadeboncoeur, D. (2019). Discrete-event simulation and design of experiments to study ambulatory patient waiting time in an emergency department. *Journal of the Operational Research Society*, 70(12), 2019–2038. <https://doi.org/10.1080/01605682.2018.1510805>

- Benneyan, J. C. (1997). An introduction to using computer simulation in healthcare: Patient wait case study. *Journal of the Society for Health Systems*.  
<https://www.researchgate.net/publication/14175737%0D>
- Bibiano Guillén, C. (2018). *Manual de Urgencias* (Coordinador del Servicio de Urgencias. Hospital Universitario Infanta Leonor. Madrid (Ed.); 3rd ed.). Manual de Urgencias: coordinadores y SANED. Coordinador del Servicio de Urgencias. Hospital Universitario Infanta Leonor. Madrid
- Bravo Corrales, J. D., Florez Lemos, D. patricia, & Salazar Correa, E. M. (2008). *Servicios de urgencias en Colombia, el caso Medellín*. [Universidad CES].  
[http://repository.ces.edu.co/bitstream/10946/2297/2/Servicio\\_urgencias\\_Colombia.pdf](http://repository.ces.edu.co/bitstream/10946/2297/2/Servicio_urgencias_Colombia.pdf)
- Carmen, R., Defraeye, M., & Van Nieuwenhuysse, I. (2015). A decision support system for capacity planning in emergency departments Open Access. *A Decision Support System for Capacity Planning in Emergency Departments*, 299–312.
- Carro Paz, R., & Gonzáles Gómez, D. (n.d.). *Modelos de Líneas de Espera*.  
[http://nulan.mdp.edu.ar/1622/1/17\\_modelos\\_lineas\\_espera.pdf](http://nulan.mdp.edu.ar/1622/1/17_modelos_lineas_espera.pdf)
- Castro Canoa, J. A., Cohen Olivella, E., Lineros Montañez, A., & Sánchez Pedraza, R. (2010). *Escala nedocs para medir congestión en urgencias: estudio de validación en Colombia* [Universidad del Rosario].  
<https://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/2250/CastroCanoa-JennyA.-2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ceballos Acevedo, T. M., Velásquez Restrepo, P. A., & Jaén Posada, J. S. (2014). Duración de la estancia hospitalaria. Metodologías para su intervención. *Revista Gerencia y Políticas de Salud*, 13, 274–295. <http://www.scielo.org.co/pdf/rgps/v13n27/v13n27a17.pdf>

- Chen, W., Guo, H., & Tsui, K.-L. (2020). A new medical staff allocation via simulation optimisation for an emergency department in Hong Kong. *International Journal of Production Research*, 58, 6004–6023.
- Cocke, S., Guinn, D., Macblane, E., Walshak, S., Willenbrock, N., White, K. P., Lobo, J. ., & Kang, H. (2016). UVA emergency department patient flow simulation and analysis. *IEEE Systems and Information Engineering Design Symposium, SIEDS 2016*, 118–123. <https://doi.org/doi:10.1109/SIEDS.2016.7489282>
- Connelly, L. G., & Bair, A. E. (2008). Discrete Event Simulation of Emergency Department Activity: A Platform for System-level Operations Research. *Official Journal of the Society for Academic Emergency Medicine*, 11(11). <https://doi.org/https://doi.org/10.1197/j.aem.2004.08.021>
- Di somma, S., Paladino, L., Vaughan, L., Lalle, I., Magrini, L., & Magnanti, M. (2015). Overcrowding in emergency department: an international issue. *Springerlink*, 171–175. <https://rdcu.be/cdsDR>
- Díaz de León-Castañeda, C. (2018). Revisión de temas fundamentales en sistemas de salud. *Rev Med Inst Mex Seguro Soc*, 56(3), 295–304. <https://www.medigraphic.com/pdfs/imss/im-2018/im183m.pdf>
- Draeger, M. (1992). An emergency department simulation model used to evaluate alternative nurse staffing and patient population scenarios. *Proceedings of the 1992 Winter Simulation Conference*.
- Duguay, C., & Chetouane, F. (2007). Modeling and Improving Emergency Department Systems using Discrete Event Simulation. *Simulation*, 83, 311–320. <https://bibliotecavirtual.uis.edu.co:2236/10.1177/0037549707083111>

Etapas de Simulación. (1993). In *Simulación, un enfoque práctico*.

Fernández, C. F., & Suárez, R. (2020, February 10). Dramática radiografía de los servicios de urgencias en Colombia. *El Tiempo*. <https://www.eltiempo.com/salud/servicio-de-urgencias-en-colombia-informe-de-la-defensoria-del-pueblo-sobre-situacion-del-pais-460304>

FlexSim. (n.d.). *Manual FlexSim HC*.  
<https://docs.flexsim.com/en/21.1/FlexSimHC/WelcomeFlexSimHC/>

Fullana Beld, C., & Urquía Grande, E. (2009). *Los modelos de simulación: una herramienta multidisciplinar de investigación*. 32, 11. [http://www.encuentros-multidisciplinares.org/Revistanº32/Carmen\\_Fullana\\_Belda\\_y\\_Elena\\_Urquía\\_Grande.pdf](http://www.encuentros-multidisciplinares.org/Revistanº32/Carmen_Fullana_Belda_y_Elena_Urquía_Grande.pdf)

Garavito, E. A. (2017). *Simulación de Sistemas Productivos*. 14.

García Dunna, E., García Reyes, H., & Cárdenas Barrón, L. E. (2013). *Simulación y análisis de sistemas con ProModel*. (Pearson (Ed.); 2nd ed.).  
<https://cffgblog.files.wordpress.com/2017/03/libro-simulacion-y-analisis-de-sistemas-2da-edicion.pdf>

García Sanchez, Á., & Ortega Mier, M. (2006). *Introducción a la simulación de eventos discretos* (p. 44).  
[https://www.academia.edu/39119868/Introducción\\_a\\_la\\_simulación\\_de\\_sistemas\\_discretos](https://www.academia.edu/39119868/Introducción_a_la_simulación_de_sistemas_discretos)

Grimaldo León, G., Silva Rodríguez, J., Espitia-García, M., & Pan-Chaparro, N. (2015). Simulación de un sistema de emergencias: caso E.S.E. Hospital San Rafael. *Ingenio Magno*, 6(1), 48–58.

- Grimaldo León, G., Silva Rodríguez, J., Espitia García, M., & Pan Chaparro, N. (2015). Simulación de un sistema de emergencias: caso E.S.E. Hospital San Rafael. *Ingenio Magno*, 6, 58–48.
- Guerrero, R. M., Gallego, A. I., & Becerril-Montekio, Victor Vásquez, J. (2011). Sistema de salud de Colombia. *Salud Pública de México*, 53(2), 13. <https://www.redalyc.org/pdf/106/10619779010.pdf>
- Haas, E., Liu, Y., Heragu, S., Evans, G., & Price, T. (2011). Simulation Model of University of Louisville Hospital Emergency Department. *IIE Annual Conference.Proceedings, Norcross*, 1–8.
- He, Q., Huo, J., & Pan, Y. (2020). The optimization model for the service process of stomatology department via DES simulation. *Cogent Business and Management*, 7(1). <https://doi.org/10.1080/23311975.2020.1786313>
- Herrera, S. ., Ramírez, S. ., & Amaya, C. . (2015). Herramienta de apoyo a la toma de decisiones en salas de urgencias utilizando simulación de eventos discretos. *Universidad de Los Andes*, 1–30.
- Hoeger, H. (n.d.). *Simulación*. <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/hhoeger/simulacion/PARTE1.pdf>
- Holm, L. B., & Dahl, F. A. (2010). Simulating the influence of a 45% increase in patient volume on the emergency department of Akershus University Hospital. *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*, 2455–2461. <https://doi.org/10.1109/WSC.2010.5678941>
- Hoot, N. R., & Aronsky, D. (2008). Systematic Review of Emergency Department Crowding: Causes, Effects, and Solutions. *Annals of Emergency Medicine*, 52(2), 126–136.

- Hossain, N. U. I., DeBusk, H., Hasan, M. N., Jaradat, R. M., & Khasawneh, M. T. (2017). Reducing patient waiting time in an outpatient clinic: A discrete event simulation (DES) based approach. *Annual Conference and Expo of the Institute of Industrial Engineers 2017*, 241–246.
- Jiménez, A. J. (2014). *Manual de protocolos y actuación en urgencias* (4th ed.). file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/7ManualdeprotocolosyactuacinenUrgencias.pdf
- Komashie, A., & Mousavi, A. (2005). Modeling emergency departments using discrete event simulation techniques. *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, 5 pp.-. <https://doi.org/10.1109/WSC.2005.1574570>
- La importancia de la enfermería: el triaje.* (2017). Quironsalud. <https://www.quironsalud.es/es/comunicacion/notas-prensa/importancia-enfermeria-triaje>
- Libertad, L. (2020). *Caos en los servicios de urgencias.* <https://diariolalibertad.com/sitio/2020/12/editorial-caos-en-los-servicios-de-urgencias/>
- Lin, W. D., & Chia, L. (2017). Combined forecasting of patient arrivals and doctor rostering simulation modelling for hospital emergency department. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 2391–2395. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2017.8290320>
- Marchesi, J. F., Hamacher, S., & Fleck, J. L. (2020). A stochastic programming approach to the physician staffing and scheduling problem. *Computers and Industrial Engineering*, 142(May 2019), 106281. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106281>
- Medina, S., Medina, A., & Gonzáles, A. (2010). Reducir tiempos de espera de pacientes en el departamento de emergencias de un hospital utilizando simulación. *Industrial Data*, 13(1), 67–76. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81619989010>

- Mendoza Casseres, D. A., González Conde, M., Corcho Martínez, R. A., & Berdugo Alonso, A. (2016). Aplicación de la simulación discreta en el área de urgencias de una institución prestadora de servicios para disminuir pérdida de pacientes. *Ingeniare*, 21, 55–71.
- Molina Muñoz, D., & Lara Porras, A. M. (2018). *Practica 6*. Universidad de Granada. <http://wpd.ugr.es/~bioestad/guia-de-r/practica-6/>
- Monterrosa, P., & Canchila, K. (2013). *Simulación de eventos discretos para optimizar recursos restrictivos del servicio de urgencias de un hospital en Cartagena , Colombia*. 13. <https://revistas-tecnologicocomfenalco.info/index.php/teknos/article/view/425/329>
- Muñoz, V. ., & Marcelo, R. (2004). The use of simulation to decrease patient waiting time in an emergency department. *Proceedings of Modelling and Simulation*, 11.33-11.36.
- Nahas, A., Awaldi, A., & Reggelin, T. (2017). Simulation and the emergency department overcrowding problem. *Paper Presented at the Procedia Engineering*, 178, 368–376. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.068>
- Naylor, T. H. (1975). *No Title*.
- Niño, L. C., & Prada, J. A. (2012). *RESUMEN CAPITULO 9 ROBINSON ET ALL*. <http://simulacionjorgeprada.blogspot.com/2012/06/resumen-capitulo-9-robinson-et-all.html>
- Organización Mundial de la Salud. (2005). *¿Qué es un sistema de salud? Preguntas y Respuestas* En Línea. <https://www.who.int/features/qa/28/es/>
- Parra Garces, J. F. (1981). Simulación. *Revista Colombiana de Estadística*, 30. <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/9799-Article Text-17373-1-10-20090622.pdf>
- Raunak, M., Osterweil, L., Wise, A., Clarke, L., & Henneman, P. (2009). Simulating patient flow through an Emergency Department using process-driven discrete event simulation. *ICSE*

*Workshop on Software Engineering in Health Care*, 73–83.  
<https://doi.org/10.1109/SEHC.2009.5069608>

Rodríguez Barrios, J. M., Serrano, D., Moleón, T., & Caro, J. (2008). Los modelos de simulación de eventos discretos en la evaluación económica de tecnologías y productos sanitarios. *Gaceta Sanitaria*, 22(2), 151–161.  
[http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0213-91112008000200012&lng=es](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0213-91112008000200012&lng=es).

Rodriguez Gil, S., & Roa, F. (2019). *Investigación para mejorar el acceso al sistema de urgencias de la clínica universidad de la sabana utilizando simulación discreta*. 1–91.  
[https://intellectum.unisabana.edu.co/bitstream/handle/10818/38635/TESIS SERGIO RODRIGUEZ FRANCISCO ROA .pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://intellectum.unisabana.edu.co/bitstream/handle/10818/38635/TESIS_SERGIO_RODRIGUEZ_FRANCISCO_ROA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Sánchez Sánchez, P. A., García González, J. R., Fajardo Toro, C. H., Pulido Rojano, A. de J., & Melamed Varela, E. (2018). Simulación de sistemas de emergencia en salud. In *Nuevas tendencias en investigación de operaciones y ciencias administrativas* (pp. 165–210).  
[https://bonga.unisimon.edu.co/bitstream/handle/20.500.12442/2601/Cap\\_5\\_Simulación \\_Sistemas.pdf?sequence=9&isAllowed=y](https://bonga.unisimon.edu.co/bitstream/handle/20.500.12442/2601/Cap_5_Simulación_Sistemas.pdf?sequence=9&isAllowed=y)

Sasanfar, S., Bagherpour, M., & Moatari-Kazerouni, A. (2020). Improving emergency departments: Simulationbased optimization of patients waiting time and staff allocation in an Iranian hospital. *International Journal of Healthcare Management*.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1080/20479700.2020.1765121>

*Simulación de eventos discretos* (p. 6). (n.d.).  
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11311/fichero/Generación+de+un+modelo+de+si>

mulación+virtual+aplicado+a+una+línea+de+fabricación+aeronáutica+%252F3+Simulación+de+eventos+discretos.pdf+

- Suárez, N., Sáenz, J., & Mero, J. (2016). Elementos esenciales del diseño de la investigación. Sus características. *Dominio de Las Ciencias*, 2, 72–85. <http://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/indexCienciasocialesypolíticas>
- Urrútia, G., & Bonfill, X. (2010). Declaración Prisma: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Medicina Clinica*.
- Velandia Lucena, M. (2011). *Editorial: La Seguridad de los Pacientes de Urgencias en un Ambiente de Congestión*.
- Velásquez Restrepo, P. A., Rodríguez Quintero, A. K., & Jaén Posada, J. S. (2011). Metodologías cuantitativas para la optimización del servicio de urgencias: una revisión de la literatura. *Revista Gerencia y Políticas de Salud*, 10(21), 196–218. <https://www.redalyc.org/pdf/545/54522293012.pdf>
- Venugopal, V., Otero, L. D., Otero, C. E., & Centeno, G. (2012). A simulation model for evaluating resource policies in a major emergency department. *Proceedings of IEEE Southeastcon, Orlando, FL*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/SECon.2012.6196951>
- Xu, S., Rogers, P., Rohleder, T. R., & Cooke, D. L. (2008). Improving Emergency Department Physician Management via Computer Simulation. *IIE Annual Conference.Proceedings*, 834–839.