

IMPLEMENTACIÓN EN SIMUL8 DE UN MODELO SOBRE LOS DEPARTAMENTO DE ACCIDENTES Y EMERGENCIAS

Melany C. Viana

Ingeniería Matemática

Departamento de Ciencias y Humanidades

Universidad EAFIT

Paula A. Escudero

Ingeniería Matemática

Departamento de Ciencias y Humanidades

Universidad EAFIT

RESUMEN

Los departamentos de accidentes y emergencias son de gran interés en el área de la simulación de eventos discretos ya que por la importancia de los servicios que prestan se hace apremiante encontrar alternativas que hagan que su rendimiento en cuanto a tiempos de atención sea lo más óptimo posibles. En este trabajo se implementa en el software Simul8 un modelo genérico desarrollado por Günal y Pidd (2006) sobre estos departamentos con el fin de comprender el funcionamiento de estos sistemas y obtener respuestas de investigación sobre la implementación de modelos genéricos y la pertinencia de la simulación de eventos discretos para este tipo de sistemas.

PALABRAS CLAVES: Simulación discreta, departamento de emergencias

ABSTRACT

The departments of accidents and emergencies are very interesting in simulation and discrete events areas because the importance of the services that they give became important to find alternatives to make their performance in time attention the most optimal. In this work it's carried out in the software Simul8 a generic model developed by Günal y Pidd (2006) about these

departments in order to understand the performance of these systems and to get research answers about the carrying out of generic models and the relevance of simulation of discrete events for this kind of systems.

KEY WORDS: Discrete simulation, emergency department

1. INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los sistemas de salud en cualquier lugar del mundo son sistemas que requieren especial atención y regulación debido a la importancia de los servicios que prestan y demandan las características propias de cada sistema.

En particular, los departamentos de accidentes y emergencias de los hospitales son parte fundamental del sistema de salud ya que se encargan de las circunstancias más apremiantes en las que la vida corre un riesgo inminente o deben ser tratadas con mayor prioridad. Adicionalmente, su funcionamiento afecta de forma directa o indirecta el rendimiento de los demás departamentos de los hospitales o clínicas a nivel local.

A pesar de la eficiencia y eficacia que requiere el trabajo en estos establecimientos, existen ciertos factores propios de la dinámica del sistema que hacen que su rendimiento no sea siempre el deseado. Como ejemplo, tenemos:

- La demanda de los servicios es incierta, es decir, de naturaleza estocástica.
- Deben desarrollarse múltiples procesos y en ocasiones simultáneamente.
- Las decisiones deben tomarse con rapidez y precisión.

Además de estos factores, existen otros que influyen en la productividad y agilidad con que se llevan a cabo los procesos. Entre estos están por ejemplo, la cantidad de recursos disponibles y el uso que se le da a estos, la experiencia del personal médico y de enfermería, la regulación de las autoridades en salud y las políticas administrativas que rigen cada centro de salud. 4

Es por esto, que los departamentos de accidentes y emergencias son un sistema dinámico y complejo que es a menudo objeto de estudio (Tan, Wen, & Awad, 2005). Uno de los medios para estudiar estos departamentos y proponer estrategias que mejoren el servicio, y permitan alcanzar los objetivos trazados es mediante la modelación y simulación de eventos discretos (Brailsford, Harper, Patel, & Pitt, 2009; M. Günal & M. Pidd, 2010; Mustafee, Katsaliaki, & Taylor, 2010). Generalmente, estos modelos son desarrollados para problemas y entidades muy específicas y no son reutilizados en otros problemas de la misma área, sino que vuelve a realizarse un modelo empezando desde cero, aunque representen sistemas muy similares.

En 2008, Günal y Pidd (2006) desarrollaron un modelo en Micro Saint Sharp que representa los departamentos de accidentes y emergencias de los hospitales en el Reino Unido. Con este proyecto se deseaba obtener un modelo genérico que pudiera ser parametrizado dependiendo del hospital que se quisiera simular pero que conservara un nivel de detalle adecuado que no se alejara de la realidad.

Inicialmente, en esta práctica investigativa se pretende con apoyo de la revisión de literatura implementar en Simul8 el modelo desarrollado por Günal y Pidd para los departamentos de accidentes y emergencias. Simul8 es uno de los diferentes software existentes en el mercado para trabajar en simulación de eventos discretos, su elección para este proyecto se basa principalmente en que es el software con que se cuenta en la Universidad EAFIT y con el que ya se han realizado trabajos anteriormente, lo que facilita el desarrollo de la investigación. Adicionalmente es un software que además de permitir la

simulación de eventos discretos, permite una fácil experimentación aún para las personas que no tienen conocimientos sobre simulación. 5

Posteriormente se procura realizar una comparación entre los resultados obtenidos con el modelo en Micro Saint Sharp y el realizado en Simul8 y proponer alternativas para mejorar el rendimiento del sistema.

Las preguntas de investigación que se pretenden abordar en esta práctica son:

¿Cómo se construye y que características definen un modelo genérico de los departamentos de emergencias y accidentes?

¿Cuál es el nivel de detalle necesario para estos modelos?

¿Cómo se usan los modelos genéricos para departamentos de emergencias y accidentes y con qué propósito?

¿Cuál es el proceso de validación de este modelo genérico y qué tipo de experimentos pueden realizarse?

1.2. ANTECEDENTES

En Inglaterra, cada año es evaluado el desempeño de los hospitales de acuerdo a los objetivos de rendimiento planteados en el régimen de mejora del Servicio Nacional de Salud del Reino Unido. Este régimen fue establecido debido a los largos tiempos de espera que debían soportar los usuarios al ingresar y permanecer en los establecimientos.

Para los departamentos de accidentes y emergencias éstas medidas de desempeño empezaron a establecerse en 1997 y han sufrido algunas modificaciones. Por ejemplo, una de ellas indica que el 98% de los pacientes deben salir del departamento en una franja de máximo 4 horas; otra dice que los pacientes que son referidos al hospital no deben tardar más de 12 horas para ser admitidos (Gunal & Pidd, 2006).

Con el objetivo de comprender los factores que afectan el buen funcionamiento de estos departamentos, Günal y Pidd realizan un modelo de simulación discreta usando Micro Saint Sharp centrado principalmente en el

comportamiento multitarea y el nivel de experiencia del personal médico. Este modelo es en realidad uno de 3 submodelos que representan un hospital completo. Estos 3 submodelos son: departamento de accidentes y emergencias; departamento de tratamientos ambulatorios (citas, exámenes, etc.) y área de hospitalización (Günel, 2008). Aunque se realiza esta división del sistema completo, la interacción entre los subsistemas es totalmente endógena y está dentro de los límites físicos de los hospitales. La disponibilidad de camas para hospitalización podría verse afectado por la cantidad de pacientes que sean remitidos desde el departamento de accidentes y emergencias. De esta forma, cada departamento influirá de forma directa o indirecta en el funcionamiento de los otros dos.

El modelo de los departamentos de accidentes y emergencias, que son los de interés en esta práctica; simula la llegada de los pacientes desde dos caminos diferentes: por ambulancia y otros que llegan directamente caminando. Los pacientes que entran caminando son registrados, valorados y tratados; los que ingresan en ambulancia realizan el proceso de registro y valoración en la ambulancia y reciben el tratamiento en el departamento.

Con 6 tipos de entradas y 8 procesos principales, este modelo tiene un nivel de detalle mayor al de los demás departamentos (Günel & Pidd, 2007); esto con el fin de prestar especial atención a los factores que influían en los tiempos de espera y permanencia en el sistema de los usuarios y evaluar los objetivos de rendimiento estipulados como el de no exceder las 4 horas.

En cuanto a la realización del trabajo mediante la simulación de eventos discretos, esta ha sido una de las herramientas más utilizadas para la modelación de sistemas de salud, como lo evidencia la creciente cantidad de artículos que son publicados cada año, incluidos los de la Winter Simulation Conference¹ (M. M. Günel & M. Pidd, 2010).

En particular, los departamentos de emergencias y accidentes son comúnmente más trabajados que los demás departamentos en esta área, ya

¹ <http://www.wintersim.org/>

que estos suelen ser relativamente autónomos, sus procesos pueden ser observados con facilidad y las estrategias que se propongan para mejorar el rendimiento están asociadas a acciones específicas.

En este orden de ideas, representa una ventaja para un estudiante de ingeniería matemática realizar este proyecto mediante simulación de eventos discretos, siendo este un tema en el que ya se tienen algunas bases.

2. METODOLOGÍA

En este proyecto se trabajará conjuntamente bajo la dirección y guía de la profesora Paula Escudero de la Universidad EAFIT y se realizarán las siguientes actividades.

1. Evaluación de la revisión de literatura hecha por Günal y Pidd.
2. Discusión de la investigación realizada por Günal y Pidd y pertinencia de la simulación de eventos discretos para desarrollar el modelo.
3. Análisis de los datos encontrados en la literatura del desarrollo del modelo del Reino Unido.
4. Implementación del modelo en Simul8.
5. Experimentación con el modelo realizado.
6. Validación del modelo en Simul8 (mediante comparación con los resultados del modelo en MS Sharp)
7. Presentación de alternativas para mejorar el rendimiento de los departamentos de accidentes y emergencias.

3. EVALUACIÓN DE LA REVISIÓN DE LA LITERATURA DE MODELOS DE SIMULACIÓN DISCRETA APLICADOS A DEPARTAMENTOS DE EMERGENCIAS

El área de la salud es un área de constante investigación y en la que se presentan revisiones de modelos de simulación desde hace más de 30 años. En particular, son los departamentos de accidentes y emergencias las unidades para las que se realizan la mayoría de modelos de simulación.

Los modelos de departamentos de accidentes y emergencias son modelos de naturaleza estocástica contruidos para propósitos específicos. El motivo principal por el que estos departamentos son comúnmente simulados es probablemente porque es fácil observar las actividades que se realizan en el departamento y seguir los cambios de estado de los pacientes, quienes frecuentemente presentan quejas sobre los tiempos de espera. Los objetivos incluyen generalmente reducir estos tiempos e incrementar el rendimiento y la utilización del personal médico, es por esto que estos modelos son generalmente usados para observar cómo se ve afectado el rendimiento cuando se aplican diferentes configuraciones.

Anualmente se presentan varios artículos sobre modelos de estos departamentos que sugieren la implementación de un modelo genérico que pueda ser utilizado para la evaluación de problemas comunes en varios departamentos.

Los modelos pretenden ser usados de 3 modos:

1. Observar como diferentes configuraciones (camas, tiempos de los tratamientos, etc.) afectan el rendimiento (tiempos de espera, número de pacientes tratados, etc.).
2. Entender el funcionamiento histórico y reconocer anomalías en el rendimiento.

3. Generar pacientes de emergencia para el modelo del hospital completo.

Los modelos de los departamentos de emergencia son construidos para propósitos específicos:

1. Observar los efectos del incremento en el número de camas, número de doctores en el servicio o adición de un nuevo servicio.
2. Investigar porqué un departamento tiene un rendimiento particular.
3. Generar pacientes para el modelo de hospitalización.

3.1. NIVEL DE DETALLE

Para construir modelos válidos y convincentes es necesario determinar el nivel de detalle que va a considerarse en el modelo, la importancia de esto radica en que de este nivel dependerá que tan genérico y preciso sea el modelo resultante. Es conveniente además tener en cuenta, que a partir de algún nivel de detalle puede no estar mejorándose el modelo, y esto solo sirva para dar credibilidad y validez al mismo.

A mayor nivel de detalle será necesario realizar más investigaciones, recopilar más datos y obtener más estimaciones, por esto es conveniente determinar este nivel basándose en los objetivos del modelo, las necesidades del usuario o cliente, la cantidad de recursos que se tengan para el proyecto, el tiempo en el que este deba desarrollarse y muchos otros factores.

De acuerdo al nivel de detalle se pueden representar los procesos de forma muy general o cada detalle en el departamento, como los tratamientos en cada sala y el comportamiento de cada doctor y cada enfermera.

Una forma de determinar este nivel de detalle es desarrollar el modelo de modo parsimonioso, es decir, iniciando en un nivel 0 y agregando detalles como sea necesario para que cumpla los requisitos.

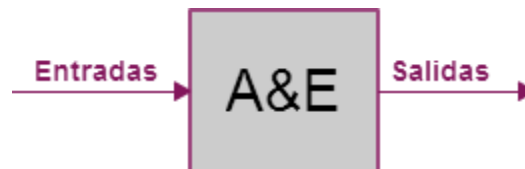
Aun así decidir que detalles deben o no incluirse no es una tarea fácil, especialmente cuando se desea elaborar un modelo genérico. Por ello deben plantearse dos preguntas al evaluar la inclusión de un detalle:

- ¿Este detalle afecta significativamente el tiempo total de los pacientes en el departamento?
- ¿Este detalle afecta el tiempo total de los pacientes en un departamento de emergencias específico, o a todos estos departamentos en general?

Por ejemplo, la disposición física suele ser omitida en modelos genéricos de estos departamentos ya que es un detalle muy específico.

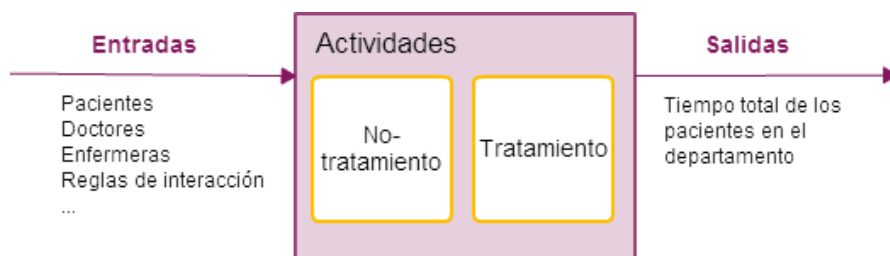
Nivel 0: Puede interpretarse como una caja negra que convierte entradas en salidas observables. Se puede asemejar al uso de distribuciones estadísticas, lo cual no permite alcanzar los objetivos de la modelación.

Figura 1. Nivel de detalle 0

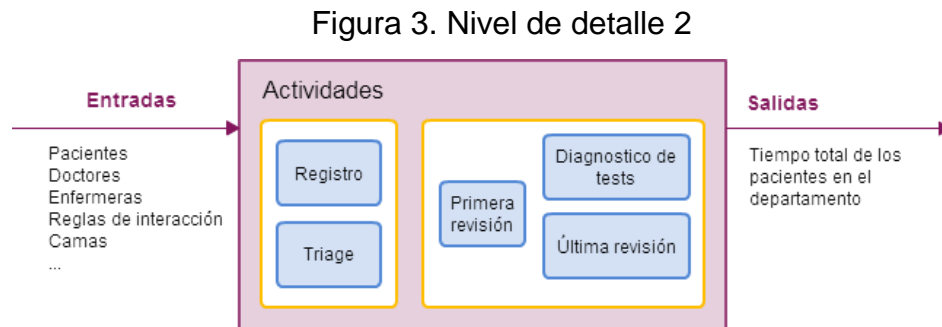


Nivel 1: Este nivel divide el sistema en dos sub-procesos: tratamientos y no-tratamientos

Figura 2. Nivel de detalle 1



Nivel 2: En este nivel se divide el sistema en dos sub-procesos como en el nivel 1 y a su vez divide estos en varias actividades.



De esta forma se descompone el sistema hasta lograr el nivel de detalle N adecuado.

4. SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS

En simulación discreta se utilizan 4 componentes principales con los cuales se puede describir el modelo una vez se ha determinado el nivel de detalle que va a considerarse, a saber:

- **Entidades:** Elementos individuales del sistema cuyo comportamiento se rastrea explícitamente. El estado del sistema completo es el resultado de la interacción de las entidades individuales. El número de entidades de un modelo da cuenta de su complejidad e idea de su rapidez.
- **Recursos:** Elementos individuales del sistema que no se modelan de forma individual. Los recursos son tratados como items contables, es decir, items idénticos de los cuales interesa saber las cantidades disponibles pero su comportamiento no se rastrea de forma individual.

- Actividad: Las actividades son las operaciones y procedimientos que inician con cada evento y que permiten transformar el estado de las entidades.
- Colas: Filas de espera hacia las actividades.

5. MODELADO DEL SISTEMA

5.1. ESPECIFICACIÓN DEL MODELO

Se construye para 3 modos de uso: discutir la evaluación de diferentes alternativas para mejorar el rendimiento en el departamento, investigar cómo ocurrió el rendimiento pasado y generar pacientes para el sistema de simulación completo.

Este modelo es genérico y presenta el nivel de detalle mencionado anteriormente, esto implica que el modelo puede ser utilizado por diferentes departamentos de emergencia cambiando los valores de los parámetros, pero sin realizar cambios en su estructura.

5.1.1. Objetivo

Investigar diferentes alternativas para reducir el tiempo total de los pacientes en el departamento

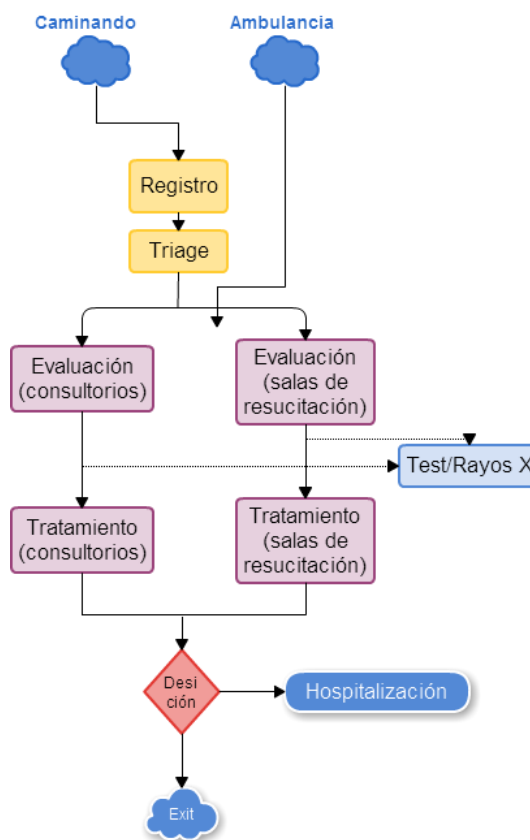
5.1.2. Salida

Tiempo total de los pacientes en el departamento.

5.2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

A continuación se realiza la descripción del modelo, cuyo esquema se presenta en la Figura 4.

Figura 4. Esquema del modelo



Inicialmente se encuentran dos modos de llegada por las que pueden ingresar los pacientes al departamento: caminando y en ambulancia. Los pacientes que ingresan caminando siguen con el proceso de registro que es realizado por una recepcionista y continúan con la clasificación por triage² que es realizado por una enfermera. Una vez se les asigna una categoría de triage pasan al

² En Colombia, se utiliza el término inglés "Triage" que significa el proceso de clasificar los pacientes que entran al departamento de emergencias de acuerdo con la seriedad de su condición. (<http://www.metrosalud.gov.co/inter/joomla/index.php/usuarios/triage>)

consultorio correspondiente según ésta (1: resucitación, 2 y 3: mayor, 4 y 5: menor) y son vistos por primera vez por un médico que les realiza una evaluación; en esta evaluación el médico determina si el paciente requiere test de laboratorios o exámenes rayos X, en tal caso el paciente se realiza la prueba requerida con una enfermera y empieza el proceso de tratamiento con un médico, de otro modo el paciente pasa directamente de la evaluación al tratamiento. Finalmente, en el proceso de tratamiento el médico decide si el paciente requiere hospitalización o termina el proceso en el centro médico. Los pacientes que ingresan en ambulancia realizan el mismo procedimiento iniciando en la evaluación médica, ya que el registro y la clasificación por triage se realizan en la ambulancia y esto no influye en el tiempo que el paciente se encuentra en el sistema.

5.2.1. Suposiciones del modelo

En el modelo implementado se tienen en cuenta las siguientes suposiciones

- El departamento de emergencias trabaja las 24 horas del día todos los días de la semana, todas las semanas del año.
- La condición de los pacientes no cambia una vez ingresan al departamento de emergencias.
- La condición de los pacientes se identifica según el Manchester Triage System.
- Todas las personas de cada tipo de personal son idénticas por lo que las distribuciones de tiempo de tratamiento son las mismas.

5.2.2. Comportamiento multitarea

El comportamiento multitarea consiste en que los médicos pueden hacerse cargo de más de un paciente al mismo tiempo, esto ocurre cuando por ejemplo debe esperarse la reacción del paciente a un medicamento y no es necesario

que el médico esté presente, otro ejemplo es cuando al paciente se le realiza una pequeña prueba en el consultorio.

Para modelar este comportamiento, fueron discutidos dos métodos principales. Uno de estos consiste en dividir las actividades principales en “mini-actividades” como se presenta generalmente en la literatura; el otro es un nuevo método que consiste en dividir los doctores en “mini-doctores”. Este nuevo método permite que cada doctor y cada enfermera pueda ser responsable de más de un paciente a la vez; de igual modo requiere menos datos (por ejemplo, no requiere tomar tiempos de todos los procesos que se lleven a cabo en el departamento) y permite realizar un modelo más genérico.

5.3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE MODELADO

5.3.1. Análisis de datos

A continuación se especifican los datos requeridos para realizar el proceso de simulación.

5.3.1.1. Llegada de pacientes

1. Porcentaje de pacientes por hora del día y día de la semana que llegan caminando y en ambulancia.
2. Porcentaje de pacientes que dejan el departamento después del proceso de triage por hora del día.
3. Número esperado anual de pacientes.
4. Porcentaje semanales de pacientes.
5. Porcentaje anual de pacientes que dejan el departamento después del triage.

5.3.1.2. Personal

En el modelo se consideran 4 tipos de personal:

- Recepcionista
- Enfermera
- Médicos sin experiencia
- Médicos con experiencia

Para cada uno de estos, se utilizan los siguientes datos:

1. Número de personas disponibles por hora del día y día de la semana.
2. Factor multitarea.

5.3.1.3. Capacidad

Número de consultorios de cada tipo:

- Menor
- Mayor
- Resucitación
- Rayos X

5.3.1.4. Tiempos de servicio

Distribución de tiempos de servicio por tipo de personal de atención y triage para cada una de las siguientes actividades:

- Registro
- Triage

- Evaluación
- Tratamiento
- Test
- Rayos X

5.3.1.5. Pruebas

1. Porcentajes de pacientes que requieren test y rayos X por categoría de triage.

5.3.1.6. Categoría de triage

1. Porcentaje de pacientes que se clasifican en cada una de las 5 categorías de triage dependiente del modo de llegada.

5.3.1.7. Otros

1. Probabilidad de que un paciente deje el departamento después de la clasificación de triage por hora del día
2. Probabilidad de que un paciente con clasificación de triage 2 sea atendido en una cama de resucitación.
3. Probabilidad de que un paciente de triage 5 sea atendido en una cama de tratamiento.

5.4. ELEMENTOS DEL MODELO

El modelo se implementa basado en los 4 elementos de simulación definidos anteriormente. A continuación se presentan estos elementos con sus atributos y descripciones

5.4.1. Entidades

Los pacientes son el objeto de la simulación y se consideran algunos atributos importantes de ellos. Sin embargo, no todas las características de los pacientes se consideran; por ejemplo, atributos como la edad y el género no son relevantes en el modelo puesto que los tiempos de servicio o prioridad de atención no dependen de estas características.

La siguiente tabla muestra los principales atributos que poseen los pacientes.

Tabla 1. Atributos de los pacientes.

Atributos	Descripción
Forma de llegada	1: Caminando 2: Ambulancia
Código de triage	1: Rojo 2: Anaranjado 3: Amarillo 4: Verde 5: Azul
Test	0: No requiere test 1: Requiere test
Rayos X	0: No requiere rayos X 1: Requiere rayos X
Prueba	1: No requiere test o rayos X 2: Requiere test o rayos X

Además de los atributos presentados en la Tabla 1. se utilizan en el modelo lo que podría llamarse “atributos artificiales” que permiten asignar a cada paciente la ruta que va a seguir en el modelo, crear distribuciones y facilitar el proceso de modelado.

5.4.2. Actividades

Las etapas por las que pasan los pacientes en los departamentos de emergencias desde que ingresan al centro médico hasta que son hospitalizados o terminan el proceso se representan en el modelo con 6 actividades principales presentadas a continuación

Tabla 2. Actividades

Actividad	Descripción
Registro	Registro rutinario de los pacientes.
Triage	Clasificación de los pacientes de acuerdo a la rapidez con que deben ser atendidos.
Evaluación	Primera revisión de los médicos a los pacientes.
Tratamiento	Tratamiento de los pacientes evaluados, si el paciente requiere test o rayos X, esta fase se realiza después de obtener resultados de las pruebas
Rayos X	Realización de pruebas rayos X para los pacientes que lo requieran
Test	Realización de test para los pacientes que lo requieran

Además de las actividades mencionadas en la tabla anterior, los pacientes pasan por centros de trabajo adicionales que facilitan el modelado del sistema, sin embargo, estos centros de trabajo no tienen una interpretación física en los departamentos de emergencias y tienen un tiempo fijo de 0 minutos; esto

significa que el paso por estos no afecta de ninguna forma el tiempo total en el sistema.

5.4.3. Recursos

Cada una de las actividades mencionadas anteriormente requiere algún tipo de recurso para el servicio de los pacientes.

Tabla 3. Recursos

Recurso	Clasificación	Descripción
Recepcionistas		Requeridas para el registro de los pacientes.
Enfermeras		Requeridas para la clasificación por triage y realización de pruebas.
Médicos	Sin experiencia	Requeridos para la evaluación y tratamiento de los pacientes
	Con experiencia	Requeridos para la evaluación y tratamiento de los pacientes
Camas	Menor	Requeridas para la atención de pacientes con código de triage 4 y 5
	Mayor	Requeridas para la atención de pacientes con código de triage 2 y 3
	Resucitación	Requeridas para la atención de pacientes con código de triage 1

5.4.4. Colas

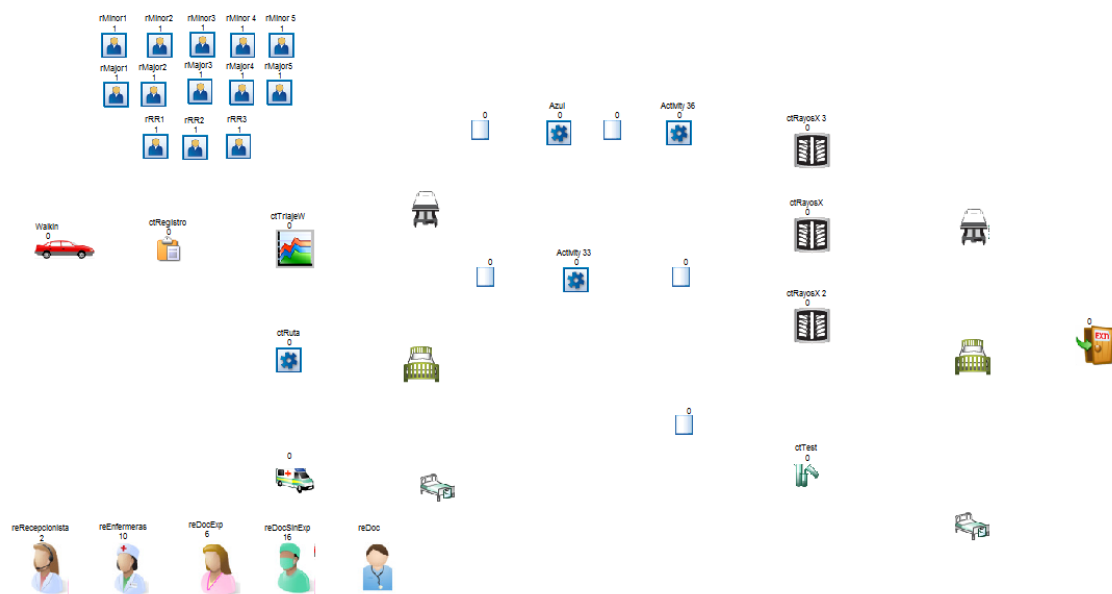
Se implementa una cola antes de cada actividad donde los pacientes deben esperar si el centro de trabajo se encuentra ocupado. Las colas para los procesos de evaluación tienen prioridad por categoría de triage, las demás se comportan con disciplina general

5.5. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO EN SIMUL8

5.5.1. Estructura del modelo

La Figura 5. muestra la estructura del modelo implementado en Simul8. Las entradas del modelo se encuentran en la parte izquierda de la figura y a continuación todos los demás elementos descritos en la sección anterior.

Figura 5. Estructura del modelo en Simul8



Simul8 permite la creación de subprocessos para estructurar el modelo de forma más organizada. Para ejemplo, en la Figura 5 se pueden ver 6 camas, cada

una de ellas representa un subproceso que contiene el número de camas real de cada tipo. La Figura 6. presenta el subproceso de las camas de evaluación para pacientes con triage 4 y 5.

Figura 6. Subproceso

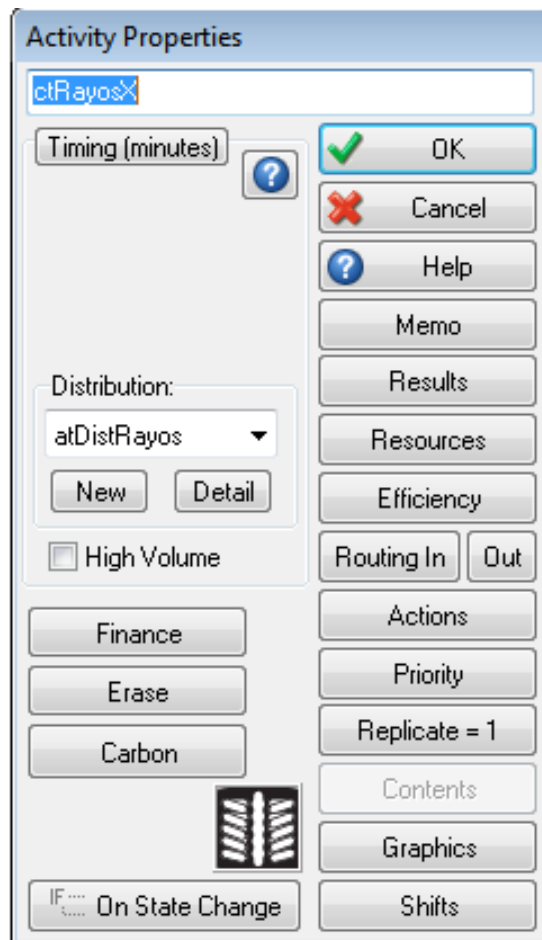


5.5.2. Dinámica del modelo en Simul8

Una vez se ha estructurado el modelo, debe lograrse que los pacientes avancen en este de acuerdo a la dinámica del sistema, en Simul8 esto se logra principalmente haciendo uso del Visual Logic.

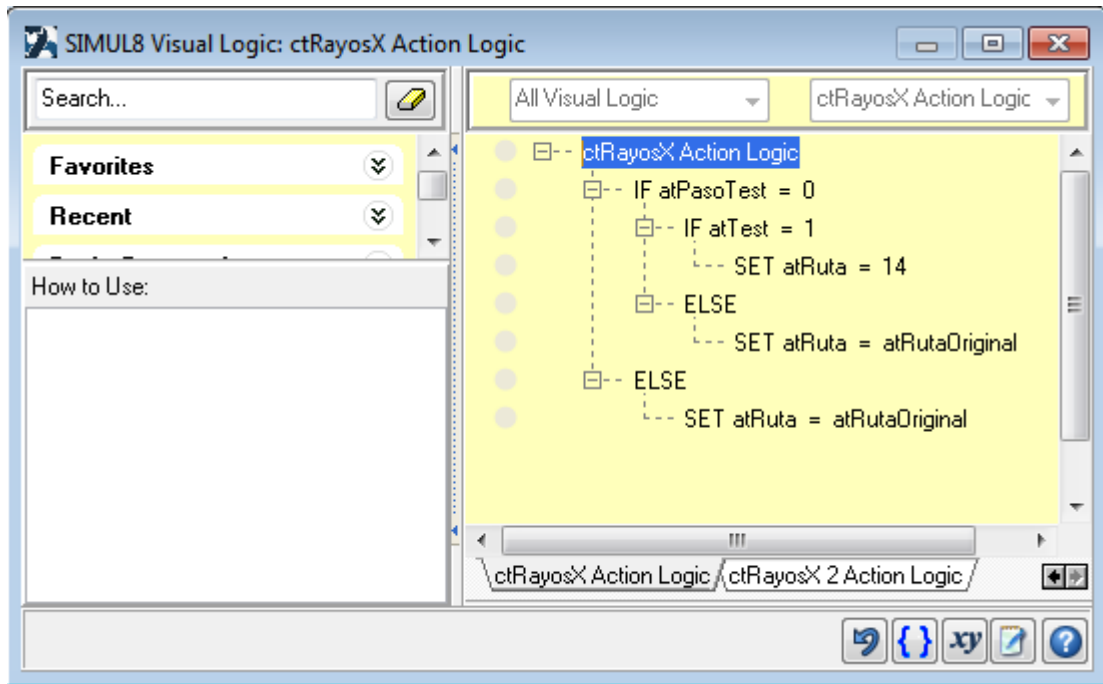
La Figura 7. presenta un ejemplo de la ventana de propiedades de los centros de trabajo, en este caso para el “ctRayosX” una de las actividades que coordina el proceso para los pacientes que requieren prueba de rayos X. Botones como “Resources”, “Routing In” y “Graphics” permiten realizar las configuraciones a este centro de trabajo en particular. Una vez se ingresa al área del centro de trabajo que se desea configurar, se realizan las acciones mediante el Visual Logic. Estas acciones se pueden programar para que se ejecuten cada que ingresa un paciente al centro de trabajo, a la misma hora todos los días, dependiendo de las características del paciente y muchas otras opciones que el software brinda.

Figura 7. Propiedades ctRayosX



La Figura 8. Muestra un ejemplo de código en Visual Logic, en este caso para el centro de trabajo "ctRayosX". La función de este código es asignar a los pacientes que requieren prueba de rayos X la ruta 14 si es un paciente que no ha pasado por la realización de test y requiere esta prueba o la ruta de la cama a la que debe ir para iniciar el tratamiento. Esto se logra con la ayuda de los atributos "atPasoRayosX" y "atRayosX" que caracterizan al paciente.

Figura 8. Código en Visual Logic para ctRayosX



5.5.3. Manejo de datos

Entre las diversas formas de ingresar los datos al modelo que ofrece Simul8, en este trabajo se utiliza el uso de hojas de cálculo, ya que permiten cambiar los valores fácilmente si es necesario y combinar varios tipos de datos como número y texto.

Figura 9. Proporciones de triage y pruebas

Sheet: Proporciones de triage y pruebas					
	A	B	C	D	E
1		% Triage Walk-in	% Triage Ambulancia	% Rayos	% Test
2	Azul	3,1	0,1	31,372549	3,9215686
3	Verde	82,3	25,3	37,1069182	6,918239
4	Amarillo	13,2	59,3	52,6717557	54,9618321
5	Naranja	1,3	11,9	62,962963	74,0740741
6	Rojo	0	3,3	74,0740741	70,3703704
7					
8					

La Figura 9. muestra una hoja de cálculo donde se definen los porcentajes de distribución de triage dependiendo del modo de llegada del paciente y los porcentajes de pacientes que requieren algún tipo de prueba dependiendo de la clasificación de triage que tengan.

6. EXPERIMENTACIÓN CON EL MODELO

6.1. DATOS UTILIZADOS

Para analizar y comprender el funcionamiento de los departamentos en cuestión se utiliza el modelo implementado en un caso particular. Se trata de un departamento del Reino Unido de tamaño medio que recibe aproximadamente 45094 pacientes al año. Se espera recibir 806 pacientes semanales de los cuales 60 se espera que dejen el departamento antes de ser vistos por el médico. Los resultados obtenidos se obtienen con 115 simulaciones del modelo

A continuación se presentan los datos principales que se consideraron en el modelo

Tabla 4. Capacidad del departamento

Tipo de consultorio	Cantidad
Menor	5
Mayor	5
Resucitación	3
Rayos X	3

La Tabla 4. contiene la información de la capacidad que tiene el departamento para atender a cada tipo de paciente. En cuanto al personal, se dispone de

diferente cantidad de recursos dependiendo de la hora del día, el día de la semana y el tipo de recurso, en este caso varían entre 1 y 8 personas disponibles.

Tabla 5. Clasificación de triage según el modo de llegada de los pacientes

Triage	Caminando	Ambulancia
Azul	0,031	0,001
Verde	0,823	0,253
Amarillo	0,132	0,593
Anaranjado	0,013	0,119
Rojo	0,000	0,033

Tabla 6. Proporción de pacientes que requieren test o rayos X según la categoría de triage

Triage	Rayos X	Test
Azul	0,313725	0,039216
Verde	0,371069	0,069182
Amarillo	0,526718	0,549618
Anaranjado	0,62963	0,740741
Rojo	0,740741	0,703704

Las Tablas 5 y 6 contienen la información de la clasificación de triage según el modo de llegada del paciente y la proporción de pacientes que requieren test o rayos X según la categoría de triage.

Tabla 7. Distribuciones resgistro, triage, rayos X y test

Actividades	Distribución
Registro y triage	Triangular
Rayos X y test	Lognormal

Tabla 8. Distribuciones evaluación dependiendo del triage

	Triage				
	1	2	3	4	5
Distribución	Lognormal	Lognormal	Lognormal	Triangular	Triangular

Tabla 9. Distribuciones tratamiento dependiendo de si el paciente requiere alguna prueba

	Requiere prueba	No requiere prueba
Distribución	Exponencial	Lognormal

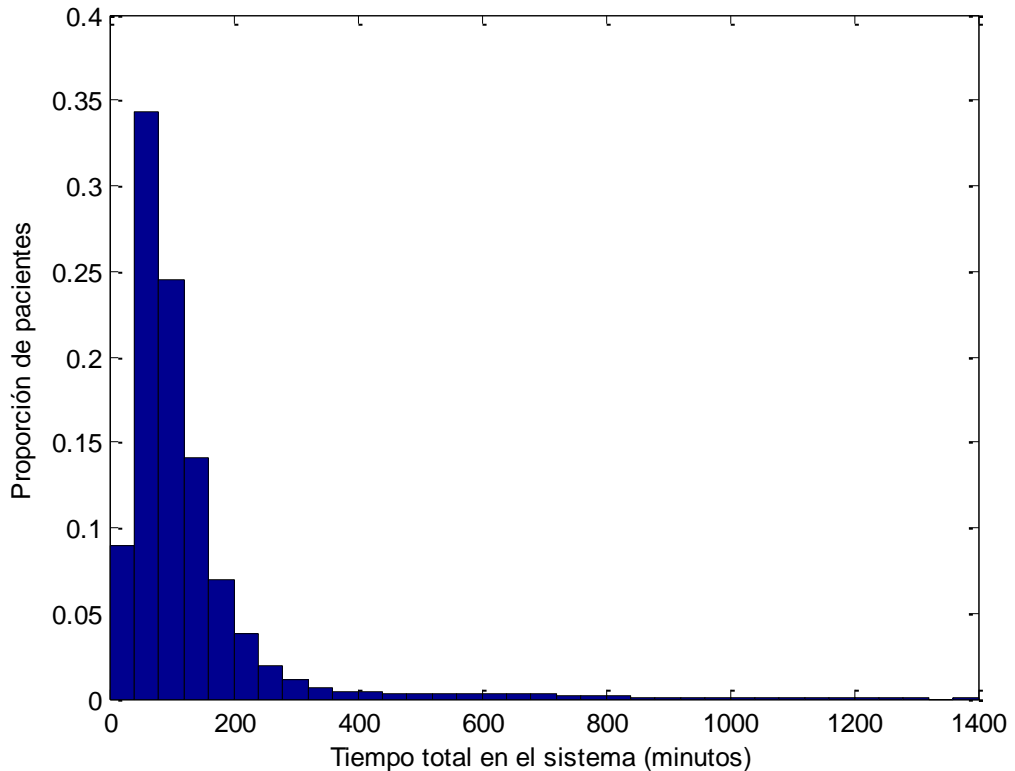
Las Tablas 7, 8 y 9 describen las distribuciones de los tiempos de servicio de todas las actividades con una clasificación determinada, sin embargo los parámetros de algunas de estas distribuciones no son los mismos para todos los pacientes, estos pueden cambiar de un paciente a otro dependiendo del tipo de médico que lo esté viendo.

6.2. RESULTADOS

El modelo se simula para 52 semanas y el número de pacientes que son atendidos es de 46146.

En la Figura 10. se presenta el diagrama de frecuencias del tiempo total en el sistema, resultado principal del modelo ya que es el tiempo que se desea reducir.

Figura 10. Diagrama de frecuencias del tiempo total en el sistema



De la Figura anterior se puede ver que aunque algunos pacientes alcanzan tiempos en el sistema hasta de 1368 minutos equivalentes a 22.8 horas, el porcentaje de pacientes que alcanzan valores tan grandes no supera el 2%.

El porcentaje de pacientes que sobrepasan el límite de las 4 horas en el sistemas es del 92.67%

Adicionalmente se obtienen resultados como que solo 5 pacientes de triage 1 que son los de más urgencia sobrepasan el límite de las 4 horas en el departamento de emergencias, esto es equivalente al 1.18% de esta categoría de triage. De triage 2 este límite es sobrepasado por el 4.19%, de triage 3 por el 5.01%, de triage 4 por el 7.37% y de triage 5 por el 39.29%.

Realizando el análisis para 115 corridas se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 10. Tiempos promedio

Tiempo promedio	
Sistema	2.36h
Máximo	50.14h
Mínimo	0.13h

6.3. VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO

La verificación del modelo consiste en comprobar que el modelo se comporta como fue diseñado para que se comportara. Esto se logra obteniendo de cada paciente los atributos adecuados y guardando la información en hojas de cálculo que permitan filtrar y verificar que los datos sufren las transformaciones deseadas cuando los pacientes pasan por cada centro de trabajo. También se realizan comparaciones entre esta información y los datos ingresados inicialmente.

Por otro lado, la validación del modelo consiste en asegurarse que el modelo representa bien el sistema que se está modelando. En este caso el modelo implementado debe ser una buena representación del modelo en Micro Saint Sharp por Günal. Para el departamento simulado en el modelo de Micro Saint Sharp el porcentaje de pacientes que no sobrepasan las 4 horas en el sistema se aproxima al 98%, y en el implementado en Simul8 este porcentaje dio como resultado el 92.67% el error equivale aproximadamente al 5.43%. Dado que se verificó el modelo esta diferencia puede deberse al traslado de software del modelo o la diferencia de algún detalle del modelo como la disciplina de una cola, por ejemplo.

7. ANÁLISIS DE INVESTIGACIÓN

7.1. PERTINENCIA DE LA SIMULACIÓN DISCRETA

Uno de los objetivos de la simulación es lograr con recursos computacionales representar sistemas reales y realizar modificaciones en ellos de forma experimental, esto con el fin de analizar cómo se vería afectado el sistema real si se le realizaran las mismas modificaciones. Esto es importante ya que los costos de simulación suelen ser menores a los costos de implementar los cambios directamente en el sistema, además de otros factores como que se evita movilizar personas para cambios en las disposiciones físicas, etc.

Como se ha mencionado anteriormente la simulación discreta ha sido bastante utilizada para realizar modelos de simulación en sistemas de salud. Su principal ventaja es que permite seguir paso a paso el desempeño de las entidades dado que el tiempo avanza de forma discreta a medida que ocurren los eventos que son quienes modifican el estado del sistema.

7.2. COMPONENTE GENÉRICO

El modelo presentado cumple con el propósito de implementar un modelo genérico ya que el nivel de detalle considerado tiene en cuenta los aspectos comunes a todos los departamentos de accidentes y emergencias y excluye aspectos muy particulares de estos como las distribuciones físicas de los consultorios. Además de esto es fácil cambiar los parámetros de entrada del modelo mediante las hojas de cálculo utilizadas en Simul8 con este propósito. Sin embargo, realizar cambios como aumentar la cantidad de consultorios requieren un poco más de trabajo y debe hacerse por alguien que tenga conocimientos sobre cómo se implementó el modelo y sobre el funcionamiento de Simul8.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se logra implementar de manera satisfactoria el modelo en Simul8.
- Simul8 presenta grandes ventajas a nivel gráfico ya que permite visualizar paso a paso el estado y trayectoria que siguen los pacientes, además de los centros de trabajo y el nivel de las colas. Adicionalmente es fácil cambiar los parámetros de entrada para ser utilizado por un departamento de accidentes y emergencias específico.
- El proceso de implementación en el software escogido presenta una desventaja en cuanto a la verificación del modelo, ya que los resultados en los centros de trabajo no pueden segregarse automáticamente dependiendo de algún atributo de la entidad.
- El modelo es genérico y puede ser reutilizado por varios departamentos de emergencia simplemente cambiando los datos de entrada, sin embargo para realizar cambios en la estructura del modelo se requiere del modelador.
- La simulación discreta presenta grandes ventajas para la realización de este tipo de modelos gracias a que su tiempo avanza con los cambios de estado del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

Besley, T., Bevan, G., & Burchardi, K. (2008). Accountability and incentives: The impacts of different regimes on hospital waiting times in England and Wales. Mimeo, London School of Economics.

Brailsford, S., Harper, P., Patel, B., & Pitt, M. (2009). An analysis of the academic literature on simulation and modelling in health care. *Journal of Simulation*, 3(3), 130-140.

Department of Health. (2000). *The NHS Plan: A plan for investment. A plan for reform*. London: Department of Health.

Günel, M., & Pidd, M. (2006). Understanding Accident and Emergency Department Performance Using Simulation. Paper presented at the Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference, Monterey, CA.

Günel, M., & Pidd, M. (2007). Interconnected DES Models of Emergency, Outpatient, and Inpatient Departmentst of a Hospital. Paper presented at the Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference, Washington, DC.

Günel, M. (2008). *Simulation Modelling for Understanding Performance in Healthcare*. Doctor of Philosophy, Lancaster University, Lancaster.

Günel, M., & Pidd, M. (2010). Discrete event simulation for performance modelling in health care: a review of the literature. *Journal of Simulation*, 4(1), 42-51. 13 Mustafee, N., Katsaliaki, K., & Taylor, S. J. E. (2010). Profiling Literature in Healthcare Simulation. *Simulation-Transactions of the Society for Modeling and Simulation International*, 86(8-9), 543-558.

Smith, P. (2005). Performance measurement in health care: History, challenges and prospects. *Public Money & Management*, 25(4), 213-220.

Tan, J., Wen, H. J., & Awad, N. (2005). Health Care and Services Delivery Systems as Complex Adaptive Systems. *Communications of the ACM*, 48, 36-4