

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN – CHILE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

*Análisis de eficiencia mediante simulación de un sistema RFID para la
optimización de recursos en unidades de urgencia*

por
Matías Enrique Martel Saavedra

Profesor guía
Dr. Carlos Herrera López

Concepción, abril de 2014



Tesis presentada a la

**DIRECCIÓN DE POSTGRADO
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN**



Para optar al grado de

MAGÍSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

RESUMEN

Análisis de eficiencia mediante simulación de un sistema RFID para la optimización de recursos en unidades de urgencia

Matías Enrique Martel Saavedra
Abril 2014

PROFESOR GUÍA:
PROGRAMA:

Dr. Carlos Herrera López
Magíster en Ingeniería Industrial

Actualmente la tecnología RFID ha comenzado a ser utilizada ampliamente en la industria con el objetivo de optimizar diferentes procesos. Sin embargo, la cuantificación de los beneficios potenciales que produce la implementación de esta tecnología en un proceso específico es aún un tema que no ha sido extensamente abordado. El problema radica en la necesidad de cuantificar el valor de disponer de información extra para el proceso de toma de decisión.

Este trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar la implementación de un sistema RFID (Radio Frequency Identification) para apoyar la gestión de recursos en la unidad de urgencia de un centro de salud. El sistema a evaluar consiste en etiquetas portadas por las personas que permiten obtener información con respecto a su ubicación dentro del centro de atención de salud. La información capturada permite tomar decisiones on-line con respecto a la asignación de los box de atención con el objetivo de aumentar la utilización de éstos para reducir los tiempos de espera de atención.

La metodología utilizada se basó en el diseño de una simulación del sistema RFID propuesto, y la comparación de indicadores de rendimiento de éste con respecto al sistema actualmente en uso.

Los resultados muestran que mediante el sistema RFID propuesto, es posible aumentar la tasa de utilización de los box de atención en un 4.37% en promedio y reducir significativamente el tiempo de atención de las personas en un 76.2%.

Palabras Claves: Unidad de Urgencia, Simulación Eventos Discretos, Optimización, *RFID*, Gestión en Salud.

ABSTRACT

Efficiency analysis by simulation of an RFID system for optimization of resources in emergency units

Matías Enrique Martel Saavedra
April 2014

THESIS SUPERVISOR: Dr. Carlos Herrera López
PROGRAM: Master in Industrial Engineering

Currently, RFID technology is widely used in the industry in order to optimize various processes. However, quantification of the potential benefits resulting implementation of this technology in a specific process is still an issue that has not been extensively addressed. The problem is the need to quantify the value of having extra information for the decision making process.

This research aims to assess the implementation of an RFID (Radio Frequency Identification) to support resource management in the emergency unit of a health center. The system is to evaluate covers labels by allowing people to obtain information regarding their location within the center of health care. The information captured enables decision making on- line with respect to the allocation of attention box with the goal of increasing the use of these and thus reduce waiting times for care.

The methodology used was based on the design of an RFID system simulation in patients who are cared for, and the comparison of performance indicators with respect to the system currently in use.

The results show that using the proposed RFID system, it is possible to increase the rate of utilization of care in a box of 4.37 % on average and significantly reduce the time to care for people at 76.2 %.

Keywords: Emergency Department, Discrete Event Simulation, Optimization, *RFID*, Management in Health Care.

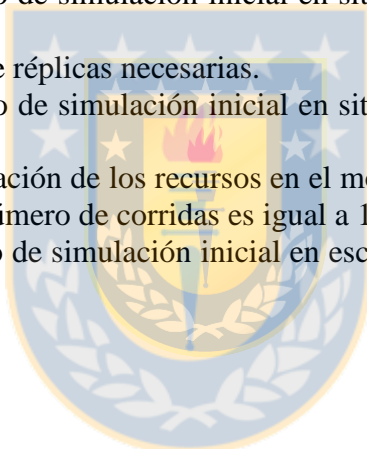
Tabla de Contenidos

| | |
|---|-------------|
| ABREVIACIONES..... | VIII |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA | 3 |
| 1.2 DESCRIPCIÓN DE LA CLÍNICA UNIVERSITARIA DE CONCEPCIÓN | 4 |
| 1.3 PROBLEMÁTICA DETECTADA..... | 5 |
| 1.4 HIPÓTESIS | 5 |
| 1.5 OBJETIVOS | 6 |
| 1.5.1 <i>Objetivo General</i> | 6 |
| 1.5.2 <i>Objetivo Especifico</i> | 6 |
| 1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES | 6 |
| 1.7 METODOLOGÍA | 6 |
| 1.7.1 <i>Levantamiento de procesos de la unidad de urgencia.</i> | 7 |
| 1.7.2 <i>Construcción del modelo de simulación actual</i> | 7 |
| 1.7.3 <i>Validación del modelo de simulación</i> | 7 |
| 1.7.4 <i>Implementación del sistema RFID propuesto en el modelo de simulación</i> | 8 |
| 1.7.5 <i>Obtención de resultados</i> | 8 |
| 1.7.6 <i>Comparación de proceso actual versus proceso con tecnología RFID.</i> | 8 |
| MARCO TEÓRICO | 9 |
| 2.1 PROCESO DE MODELAMIENTO | 10 |
| 2.2 TIPO DE SIMULACIÓN | 11 |
| 2.2.1 <i>Simulación de evento discreto</i> | 11 |
| 2.2.2 <i>Simulación continua</i> | 12 |
| 2.3 ETAPAS DE UN PROCESO DE SIMULACIÓN..... | 13 |
| 2.4 SISTEMAS RFID | 14 |
| 2.4.1 <i>Etiquetas o tag</i> | 16 |
| 2.4.2 <i>Receptores</i> | 17 |
| 2.4.3 <i>Base de datos</i> | 17 |
| 2.5 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | 17 |
| 2.6 SISTEMA DE ATENCIÓN DE URGENCIA..... | 24 |
| 2.6.1 <i>Recursos Físicos</i> | 25 |
| 2.6.2 <i>Recursos Humanos</i> | 29 |

| | | |
|---|---|-----------|
| 2.6.3 | <i>Categorización</i> | 29 |
| 2.6.4 | <i>Procesos</i> | 30 |
| SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE ATENCIÓN DE PACIENTE | | 35 |
| 3.1 | CONSTRUCCIÓN DEL MODELO | 36 |
| 3.1.1 | <i>Área de llegada de pacientes</i> | 38 |
| 3.1.2 | <i>Área de admisión</i> | 39 |
| 3.1.3 | <i>Área de atención</i> | 40 |
| 3.1.4 | <i>Integración del sistema RFID al modelo de simulación</i> | 43 |
| 3.2 | CATEGORIZACIÓN | 46 |
| 3.3 | AJUSTE DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA TASA DE LLEGADA | 49 |
| 3.4 | AJUSTE DISTRIBUCIÓN TASA DE SERVICIO..... | 51 |
| 3.4.1 | <i>Tiempo requerido de atención para pacientes C1-P</i> | 52 |
| 3.4.2 | <i>Tiempo requerido de atención para pacientes C1-A</i> | 52 |
| 3.4.3 | <i>Tiempo requerido de atención para pacientes C2-P</i> | 53 |
| 3.4.4 | <i>Tiempo requerido de atención para pacientes C2-A</i> | 54 |
| 3.4.5 | <i>Tiempo requerido de atención para pacientes C3-P</i> | 54 |
| 3.4.6 | <i>Tiempo requerido de atención para pacientes C3-A</i> | 55 |
| 3.4.7 | <i>Tiempo requerido de atención para pacientes C4-P</i> | 55 |
| 3.4.8 | <i>Tiempo requerido de atención para pacientes C4-A</i> | 56 |
| 3.5 | TIEMPO ATENCIÓN SECRETARIA..... | 57 |
| 3.5.1 | <i>Tiempo admisión</i> | 57 |
| 3.5.2 | <i>Tiempo para pago</i> | 57 |
| 3.6 | DISTRIBUCIÓN DE TIEMPO EN LA SALA BERGER | 58 |
| RESULTADOS..... | | 60 |
| 4.1 | MODELO DE SIMULACIÓN COMO SITUACIÓN ACTUAL (5 RÉPLICAS) | 60 |
| 4.2 | DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE RÉPLICAS PARA EL MODELO DE SIMULACIÓN | 61 |
| 4.3 | MODELO DE SIMULACIÓN COMO SITUACIÓN ACTUAL (16 RÉPLICAS) | 62 |
| 4.4 | MODELO DE SIMULACIÓN UTILIZANDO SISTEMA PROPUESTO | 63 |
| DISCUSIÓN..... | | 65 |
| CONCLUSIONES..... | | 66 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | | 68 |
| ANEXO A..... | | 72 |

Índice de Tablas

- Tabla 3.1: Distribución de pacientes por categorización.
- Tabla 3.2: Ingreso de pacientes promedio diferenciados por día de la semana.
- Tabla 3.3: Tasa de llegada de pacientes a la unidad de urgencias.
- Tabla 3.4: Tiempo de atención para la clase C1-P.
- Tabla 3.5: Tiempo de atención para la clase C1-A.
- Tabla 3.6: Tiempo de atención para la clase C2-P.
- Tabla 3.7: Tiempo de atención para la clase C2-A.
- Tabla 3.8: Tiempo de atención para la clase C3-P.
- Tabla 3.9: Tiempo de atención para la clase C3-A.
- Tabla 3.10: Tiempo de atención para la clase C4-P.
- Tabla 3.11: Tiempo de atención para la clase C4-A.
- Tabla 3.12: Tiempo de atención de admisión en secretaria.
- Tabla 3.13: Tiempo de atención secretaria pago.
- Tabla 4.1: Resultados del modelo de simulación inicial en situación actual. Número de corridas es igual a 5.
- Tabla 4.2: Cálculo del número de réplicas necesarias.
- Tabla 4.3: Resultados del modelo de simulación inicial en situación actual. Número de corridas es igual a 16.
- Tabla 4.4: Resultados de la utilización de los recursos en el modelo de simulación pacientes adultos en situación actual. Número de corridas es igual a 16.
- Tabla 4.5: Resultados del modelo de simulación inicial en escenario con sistema RFID. Número de corridas es igual a 16.



Índice de Figuras

- Figura 2.1: Proceso de modelamiento de un problema.
- Figura 2.2: Sistema Discreto.
- Figura 2.3: Sistema Continuo.
- Figura 2.4: Pasos en un estudio de simulación.
- Figura 2.5: Proceso de aprendizaje de seguimiento de información por RFID.
- Figura 2.6: Componentes de un sistema RFID.
- Figura 2.7: Plano de la Unidad de Urgencias de CUC.
- Figura 2.8: Diagrama de flujo, mostrando el proceso de atención completo.
- Figura 2.9: Diagrama de flujo categorización.
- Figura 2.10: Diagrama de flujo de enfermeras.
- Figura 2.11: Diagrama de flujo del Médico.
- Figura 2.12: Diagrama de flujo del paciente dentro del área de atención.
- Figura 3.1: Representación lógica del modelo de unidad de urgencia.
- Figura 3.2: Representación lógica del área de acceso a la unidad de urgencia.
- Figura 3.3: Representación lógica del área de admisión en la unidad de urgencia.
- Figura 3.4: Representación lógica del área de atención en la unidad de urgencia.
- Figura 3.5: Representación lógica de salida en la unidad de urgencia.
- Figura 3.6: Representación lógica de sistema propuesto en la unidad de urgencia.
- Figura 3.7: Distribución de pacientes ingresados por cada tipo de clase.
- Figura 3.8: Número promedio de pacientes por hora al día.
- Figura 3.9: Número de llegadas promedio de pacientes por día de la semana.
- Figura 3.10: Distribución de probabilidad de llegadas de pacientes.
- Figura 3.11: Distribución de probabilidad del tiempo de atención de la clase C1-P.
- Figura 3.12: Distribución de probabilidad del tiempo de atención de la clase C1-A.
- Figura 3.13: Distribución de probabilidad del tiempo de atención de la clase C2-P.
- Figura 3.14: Distribución de probabilidad del tiempo de atención de la clase C2-A.
- Figura 3.15: Distribución de probabilidad del tiempo de atención de la clase C3-P.
- Figura 3.16: Distribución de probabilidad del tiempo de atención de la clase C3-A.
- Figura 3.17: Distribución de probabilidad del tiempo de atención de la clase C4-P.
- Figura 3.18: Distribución de probabilidad del tiempo de atención de la clase C4-A.
- Figura 3.19: Distribución de probabilidad del tiempo de atención en secretaria (admisión).
- Figura 3.20: Distribución de probabilidad del tiempo de atención en secretaria (pago prestación).
- Figura 3.21: Distribución porcentual en la utilización de sala berger para pacientes adultos.
- Figura 3.22: Distribución porcentual en la utilización de sala berger para pacientes pediátricos.

Abreviaciones

Mayúsculas

| | |
|------|---------------------------------------|
| RFID | : Radio Frequency Identification |
| OMS | : Organización Mundial de la Salud |
| CUC | : Clínica Universitaria de Concepción |
| INE | : Instituto Nacional de Estadística |
| EMI | : Interferencia Electromagnética |



Introducción

Según la OMS (2013), la demanda en los servicios de salud va en aumento, debido al envejecimiento de la población provocado principalmente por el aumento de la esperanza de vida. Esta situación, genera la necesidad de conocer y aprender sobre los procesos que se ejecutan. Junto al interés de conocer estos procesos, existe la interrogante si los procesos se llevan a cabo de la forma más eficiente posible. Esta interrogante es esencial, ya que el objetivo principal de un servicio de salud en Chile y en el mundo es entregar atención de calidad, esto se refiere al trato hacia el paciente, tiempos de atención, tiempos de espera, eficiencia en la utilización de los recursos, cantidad de personal necesario, etc.

En la mayor parte de los casos estos temas no se abordan con las herramientas necesarias para realizar una buena gestión de la atención. Más aún, la aplicación de la administración científica en los servicios de salud no es una práctica común.

El reto de mejorar la atención de salud es a la vez agudo y persistente. La simulación necesita ser vista como un medio para mejorar el cuidado del paciente, combinando la mejora en costo, calidad y acceso. En la actualidad los profesionales de la salud, como también el resto de las personas ligadas a esta área, se están dando cuenta que una gestión más eficiente; ayuda a mejorar los procesos, entregando mayores beneficios a los pacientes, tanto en calidad, costo y seguridad de atención. De acuerdo a Roberts & Hall (2011) el principal objetivo de un establecimiento de salud es maximizar los beneficios optimizando los recursos disponibles, sin perjudicar la calidad de la atención. A partir de lo señalado, el objetivo del presente trabajo es utilizar técnicas de Administración Científica para la optimización de operaciones en un servicio de salud. Específicamente, el trabajo se enfoca a la implementación de tecnología RFID en una unidad de urgencias, siendo una de las áreas donde existe mayor demanda, y que corresponde a uno de los principales

accesos de los pacientes al sistema. Según Wiler et al. (2010) en su estudio indican que en Estados Unidos en 10 años aumentó en un 20% las visitas a la unidad de urgencias.

En Chile, al igual que en Estados Unidos han aumentado las visitas a las unidades de urgencias. Como se dijo anteriormente, este incremento se atribuye al envejecimiento de la población, pero también, a un aumento de la presencia de patologías crónicas. Además, a partir de la ley de Urgencias que rige en nuestro país ningún servicio de salud (público o privado) puede negar la atención a un paciente, independiente si su situación es realmente grave o no. La primera atención es obligatoria para cualquier paciente y luego se determina si es realmente urgente. Tay & Becerra (2011) afirman que todos los pacientes prefieren dirigirse a esta unidad para recibir una atención rápida, con el propósito de bajar los niveles de dolor, lo que muchas veces genera problemas para atender a pacientes que se encuentran realmente graves. Sin embargo, debido a la gran cantidad de personas que pueden llegar en un determinado periodo de tiempo, es un reto poder realizar atenciones eficientes y que a su vez los tiempos de espera sean bajos. Si bien, en la práctica eso es algo utópico según Poblete (2011), la buena gestión de la atención, permite buena calidad, asegurando oportunidad, acceso, y permitir una espera razonable.

Entre las técnicas más utilizadas para la optimización de sistemas de espera se encuentran la teoría de colas y la simulación por computador. Estas técnicas, permiten entender el comportamiento aleatorio de los procesos de espera para poder optimizar los recursos. Por otra parte, una de las ventajas de la simulación mencionada por Law & Kelton (2000), es que permite evaluar la potencial implementación de tecnologías como es el caso de la identificación por radio frecuencia (RFID). La tecnología RFID es un sistema que permite almacenar y proveer de información en tiempo real y la simulación ayuda a recrear procesos en tiempo real, para analizar distintas alternativas sin afectar físicamente las operaciones del sistema bajo estudio.

1.1 Descripción del problema

Las unidades de urgencias, son el principal acceso de un hospital o clínica, donde ingresan pacientes con diversas patologías. Esto, hace necesario conocer la utilización de los recursos y los tiempos de espera de atención. Estos indicadores en muchos casos exceden un margen razonable, provocando que la atención entregada tenga estándares de calidad bajos. Este problema abre la necesidad de conocer de manera detallada las actividades realizadas en cada una de las áreas del establecimiento, considerando tanto los recursos físicos como los humanos.

En las unidades de urgencias, las atenciones solo son monitoreadas por el personal médico, pero no existe ningún respaldo sistemático que apoye la toma de decisiones. Es necesario un estudio exhaustivo para determinar si las actividades se llevan a cabo de manera eficiente y con una disminución de costo, evitando tiempos muertos los cuales a su vez perjudican la capacidad de atención.

Edelheim (2007) aclara que la simulación es una herramienta que sirve para modelar sistemas complejos como es el caso de un servicio de salud, que ayuda a conocer detalladamente los procesos, brinda la posibilidad de evaluar distintos escenarios con distintas características como por ejemplo, la utilización de sistemas innovadores como tecnología RFID sin tener que experimentar en el lugar físico de estudio, lo que agiliza y favorece la investigación sin necesidad de interrumpir las actividades realizadas día a día.

Estas herramientas apoyan la gestión de las operaciones. La tecnología RFID proporciona información en tiempo real tanto de los recursos físicos como humanos que se encuentran en el área. Además, ayuda a tener un seguimiento y control de los recursos, de las actividades realizadas. La información la entrega de manera automatizada. La simulación abre la posibilidad de modelar la implementación de tecnología RFID y conocer su comportamiento, además ayuda a determinar si las decisiones de capacidad (cantidad de box) o la cantidad de profesionales de la salud

están definidas correctamente. También permite conocer las actividades que reducen la efectividad del sistema, o las que retrasan su funcionamiento. En muchos casos, las acciones a corregir son difíciles de identificar sin una herramienta adecuada, porque existen muchas variables involucradas. Por esta razón, urge tener un estudio que proporcione dichos antecedentes, para realizar una buena gestión en la unidad y mejorar la gestión general del establecimiento.

En este estudio se investigan los procesos asistenciales. El lugar bajo estudio será la unidad de urgencias de la Clínica Universitaria de Concepción, donde se consideran las características de los recursos que posee la unidad, como también los datos estadísticos necesarios para caracterizar los procesos que se llevan a cabo. El estudio establece las características de la demanda y determina el comportamiento de flujo de pacientes, además de conocer la cantidad de recursos disponibles.

1.2 Descripción de la Clínica Universitaria de Concepción

La Clínica Universitaria de Concepción (CUC), es un establecimiento que presta servicios en salud. Es de carácter privada y se ubica en la Av. Jorge Alessandri 2047, en la comuna de Hualpén en Concepción. El organigrama comienza con un directorio que se encuentra al mando de la clínica compuesto por 9 personas. Siguiendo por el organigrama, más abajo del directorio se encuentra la administración, encabezada por el Director Médico y el Gerente General. Luego la administración se divide en distintas aéreas y cada una con un encargado.

La visión de la clínica es *“ser un sistema hospitalario de excelencia para el sur de Chile que, a través de la búsqueda de nuevas soluciones, contribuye al proceso de transformación de la sociedad atendiendo personas en relación a su salud de manera integral, ofreciéndole servicios médicos eficaces, oportunos y confiables, haciendo lo correcto correctamente, de forma eficiente, sustentable y respetuosa del medio ambiente, considerando en todo momento los derechos del paciente”*.

Para hacer efectiva la visión, la estructura de la clínica muestra que existen áreas que ofrecen distintos servicios clínicos logrando abarcar la más amplia variedad de procesos de atención, estas áreas son Maternidad, Vacunatorio, Pediatría, Laboratorios Clínicos, Pulmonar, del sueño. También se encuentran Imagenología Digital, Rehabilitación Kinésica, Pabellones Quirúrgicos, Farmacia, UTI/UCI adultas, pediátricas y neonatal, Urgencia 24 horas, entre otras.

1.3 Problemática detectada

Dentro de las áreas que posee la CUC, la urgencia es una zona de alta complejidad, debido a la alta demanda de atención que existe sobre ella. Ser un área altamente demandada, exige que los procesos realizados se ejecuten de manera eficiente y así entregar atención de calidad.

Además, al ser un área de alta demanda afecta a los ingresos económicos que recibe el establecimiento estén estrechamente relacionados a esta área, ya que deriva pacientes a las distintas áreas de la clínica, como por ejemplo; imagenología, y pabellón.

Los problemas que se observan en este tipo de área pueden ser varios, sin embargo, están directamente relacionados con la calidad de la atención, la cual se enfoca en entregar atención de manera rápida, segura y oportuna a los pacientes. Además, de los problemas relacionados a la rapidez de atención, se visualizan problemas de utilización de los recursos.

1.4 Hipótesis

"La implementación de tecnología RFID, proporcionará una optimización en la gestión de recursos en unidades de urgencia en un centro de Salud".

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Evaluar la implementación de un sistema RFID (Radio Frequency Identification) para apoyar la gestión de recursos en la unidad de urgencia de un centro de salud.

1.5.2 Objetivo Especifico

- Evaluar indicadores de rendimiento actuales en la atención de pacientes de la unidad de urgencia.
- Implementar el sistema RFID.
- Definir un modelo de simulación para evaluar el impacto del sistema RFID propuesto.
- Comparar los indicadores de rendimiento del sistema RFID con el actualmente en uso.

1.6 Alcances y Limitaciones

La implementación del sistema RFID se modelo en un software de simulación y no en la realidad.

1.7 Metodología

La metodología propuesta para desarrollar la hipótesis y los objetivos específicos mencionados consideró la resolución de los siguientes ítems:

- a. Levantamiento de procesos de la unidad de urgencia de la clínica
- b. Desarrollar un modelo de simulación de los distintos procesos de la unidad de urgencia.
- c. Validar el modelo de simulación.
- d. Implementar sistema RFID al modelo de simulación.
- e. Obtener resultados de desempeño.

- f. Generar resultados del proceso actual versus procesos con implementación tecnología RFID.

1.7.1 Levantamiento de procesos de la unidad de urgencia.

El levantamiento de procesos es fundamental para la construcción de un modelo de simulación según Law (2003). En la realización de esta actividad, se pueden observar macro procesos, los que están compuestos por otros procesos; y procesos operacionales, los cuales son procesos cuya desagregación da origen a actividades, las cuales pueden ser reflejadas en diagramas de flujo.

Para realizar el levantamiento de procesos, lo primero fue conocer lo que ocurre en el lugar bajo estudio. Se comenzó recorriendo cada área, realizando entrevistas a los actores involucrados y revisando cuáles son los procedimientos que se realizan.

1.7.2 Construcción del modelo de simulación actual

En la construcción del modelo de simulación se realizaron varias etapas; formulación del problema, recolección de información para la construcción del modelo conceptual, verificar si el modelo es conceptualmente válido, es decir, verificar si es factible modelarlo, programar el modelo, revisar si la programación es válida, realizar las corridas de simulación y analizar los experimentos de simulación.

1.7.3 Validación del modelo de simulación

Una vez desarrollado el modelo de simulación, se realizaron las corridas y se analizaron los resultados obtenidos. Se compararon los resultados de las actividades reales, es decir, una comparación del modelo de simulación v/s las actividades realizadas actualmente.

1.7.4 Implementación del sistema RFID propuesto en el modelo de simulación

La implementación de la tecnología RFID se realizó a partir del modelo de simulación que representa la situación actual. Se incorporó y modeló el comportamiento de la tecnología RFID ubicándola donde se debe se debiese implementar en el sistema actual.

1.7.5 Obtención de resultados

Se documentan los resultados obtenidos del modelo actual y del modelo propuesto.

1.7.6 Comparación de proceso actual versus proceso con tecnología RFID.

Los indicadores obtenidos como resultado, se compararon y analizaron.



Marco Teórico

La simulación es una herramienta flexible, potente e intuitiva. Esta técnica implica parametrizar la operación de todo un proceso o sistema real. Por ejemplo, la simulación se utiliza con frecuencia para llevar a cabo análisis de riesgos en los procesos financieros en varias ocasiones imitando la evolución de las transacciones que se realizan para generar un perfil de los posibles resultados. La simulación también es ampliamente utilizada para analizar los sistemas estocásticos que continuarán operando de forma indefinida. Para estos sistemas, el equipo genera aleatoriamente y registra las ocurrencias de los diversos eventos que dirigen el sistema como si estuviera físicamente en funcionamiento. Debido a su velocidad, puede simular incluso años de funcionamiento en cuestión de segundos, entregando una ventaja al evaluar distintas opciones en poco tiempo, con bajos costos de operación, también realizar modificaciones a sistemas existentes y proponer cambios a sistemas de control y/o reglas de operación.

La simulación se preocupa por el desarrollo de un procedimiento de diseño o de funcionamiento de algún sistema estocástico, es decir, un sistema que evoluciona con el tiempo, sujeto a probabilidad de ocurrencia de los eventos.

2.1 Proceso de modelamiento

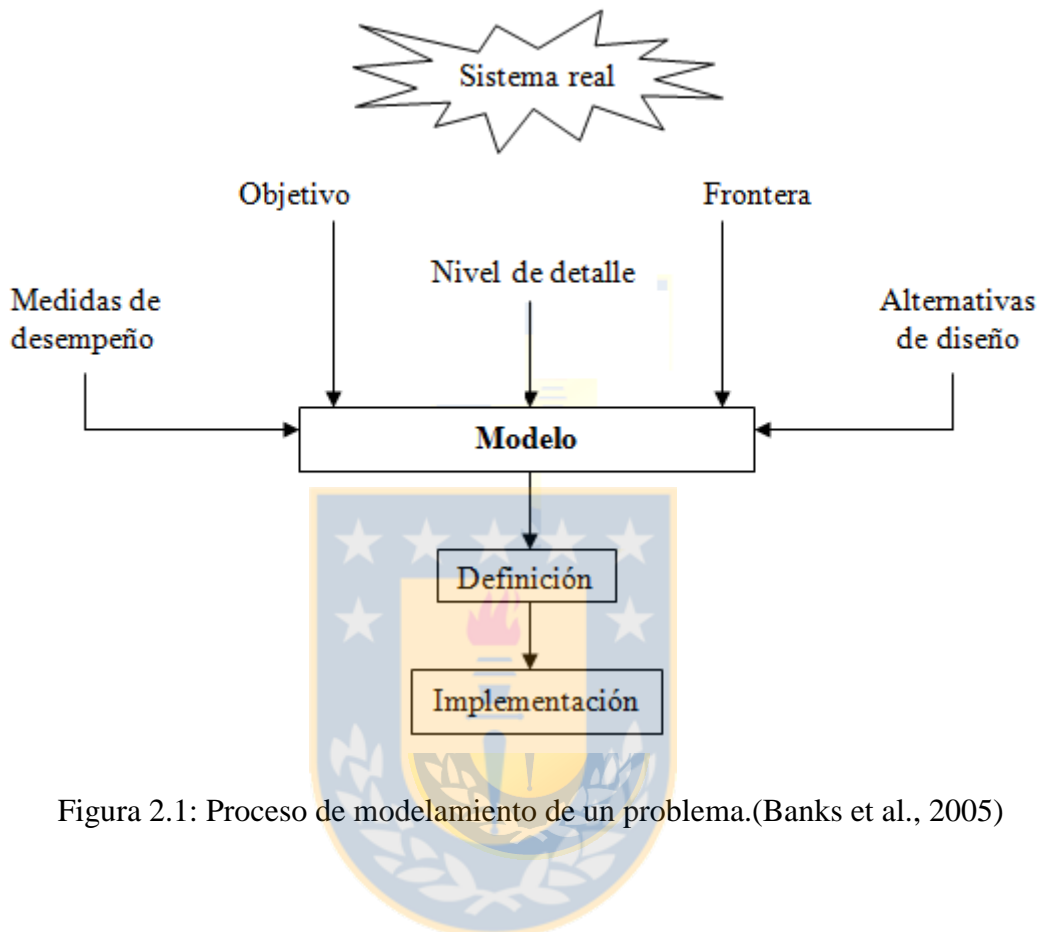


Figura 2.1: Proceso de modelamiento de un problema.(Banks et al., 2005)

Para simular un sistema real, un modelo de simulación detallado debe ser formulado para describir el funcionamiento del sistema, objetivos y fronteras del sistema real, ya que los sistemas reales son muy complejos.

Un modelo de simulación tiene varios elementos básicos mostrados en la figura 2.1.

- Medidas de desempeño que se requieran medir.
- Alternativas de diseño, para su posterior análisis y evaluación de posibles soluciones.

- Una definición del estado del sistema (por ejemplo, el número de clientes en un sistema de colas).
- Identificar los posibles estados del sistema.
- Identificar los posibles eventos (por ejemplo, las llegadas y las terminaciones de servicio en un sistema de colas) que cambian el estado del sistema.
- Un método para la generación aleatoria de los eventos de los diversos tipos.

La simulación por lo general se utiliza cuando el sistema estocástico en cuestión es demasiado complejo para ser analizado de manera satisfactoria por los tipos de modelos matemáticos, como es el modelo de colas.

Los sistemas se clasifican de acuerdo a su estado. Se entiende por estado de un sistema como el conjunto de características que lo describen, definidas a través de variables. El conjunto de variables que permiten describir completamente un sistema en todo instante se denomina variables de estado. A partir de la clasificación de un sistema surge dos grandes categorías de las simulaciones: simulaciones de eventos discretos y simulación continua.

2.2 Tipo de simulación

2.2.1 Simulación de evento discreto

Banks (1999) y Banks et al. (2005) afirma que una simulación de eventos discretos, es donde los cambios en el estado del sistema se producen instantáneamente en cualquier instante de tiempo, como resultado de la ocurrencia de eventos discretos, como es demostrado en la figura 2.2. Por ejemplo, en un sistema de colas donde el estado del sistema es el número de clientes en el sistema, los eventos discretos que cambian este estado son la llegada de un cliente y la salida de un cliente, debido a la finalización de su servicio. La mayoría de las aplicaciones de la simulación en la práctica son simulaciones a eventos discretos.

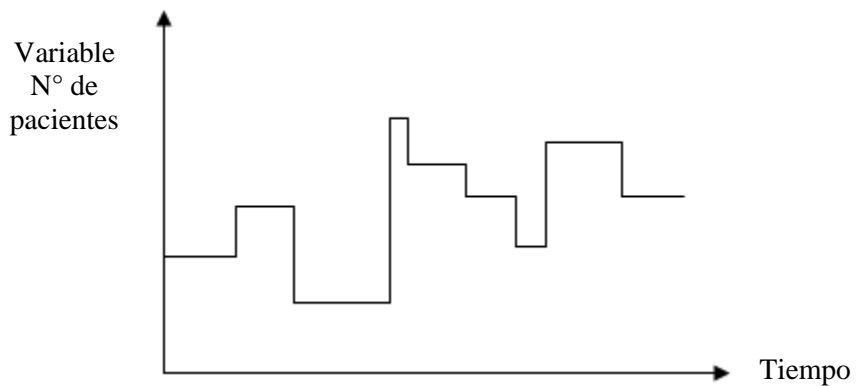


Figura 2.2: Sistema Discreto. Fuente: (Banks et al., 2005).

2.2.2 Simulación continua

Hillier & Lieberman, (2001) afirman que una simulación continua, es donde los cambios en el estado del sistema se producen continuamente con el tiempo. La figura 2.3 representa los cambios de un sistema continuo.



Figura 2.3: Sistema Continuo. Fuente: (Banks et al., 2005).

Para la simulación de operaciones en una unidad de urgencias interesan principalmente los modelos de simulación eventos discretos, ya que es un proceso de llegada de personas.

2.3 Etapas de un proceso de simulación

Para la creación de un proyecto de simulación se deben seguir ciertos pasos para obtener un buen modelo. Es importante empezar con conocer el problema que se desea abordar, tener claro cuáles son los objetivos del estudio, las preguntas que se quieren responder a través del estudio, las medidas de desempeño, etc. Tener claro estas características es importante para determinar que software utilizar. Conocido el problema a abordar se puede recolectar la información necesaria para la definición del modelo, conocer el layout y las operaciones realizadas, datos de los parámetros y distribuciones de probabilidad de los datos de entrada del modelo. Se debe recolectar la mayor información de interés posible, para que el modelo pueda ser válido y cercano a la realidad.

La construcción de un modelo válido, es creada a través de un lenguaje computacional que depende del software elegido. El software permite verificar errores durante la construcción. Al finalizar la construcción, se pueden realizar corridas pilotos para validar las propuestas. Así, se pueden determinar las características necesarias para que las corridas definitivas sean correctas y poder obtener buenos datos para un análisis exhaustivo del sistema. Finalmente, este análisis nos da la oportunidad de tener resultados para la toma de decisiones. La figura 2.4 muestra los pasos que se deben seguir.

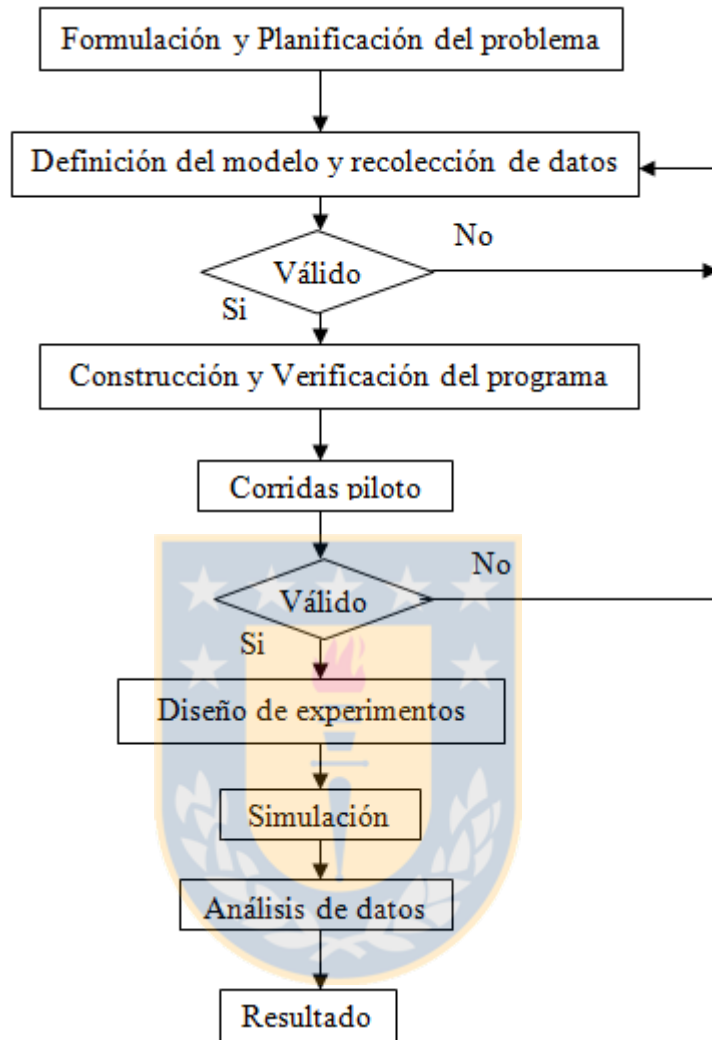


Figura 2.4: Pasos en un estudio de simulación. Fuente (Law & Kelton, 2000).

2.4 Sistemas RFID

Esta tecnología se basa en la identificación de un objeto o persona, usando medios inalámbricos o de radio frecuencia. Se puede definir como una herramienta de identificación cuyo principal objetivo es sustituir al código de barra actualmente existente. Pertenece al grupo de tecnologías denominadas de Identificación Automática, junto con las tecnologías de código de barras, lectores ópticos y lectores

biomédicos. Su objetivo fundamental es reducir el tiempo de almacenamiento de información y mejorar su precisión. Najera et al. (2011) señala que esta tecnología es un sistema que nos permite almacenar y proveer de información en tiempo real, la cual permite monitorear la trazabilidad de cualquier elemento que contenga un RFID.

Los sistemas RFID nos permiten realizar seguimiento y control de los recursos requeridos, por ejemplo, equipamiento médico, identificación del personal e identificación de pacientes., pudiendo realizar análisis de datos, optimización de los recursos, mejorar la atención, evaluación de distintas alternativas y finalmente una mejora continua con aprendizaje adaptativo como lo muestra la figura 2.5.

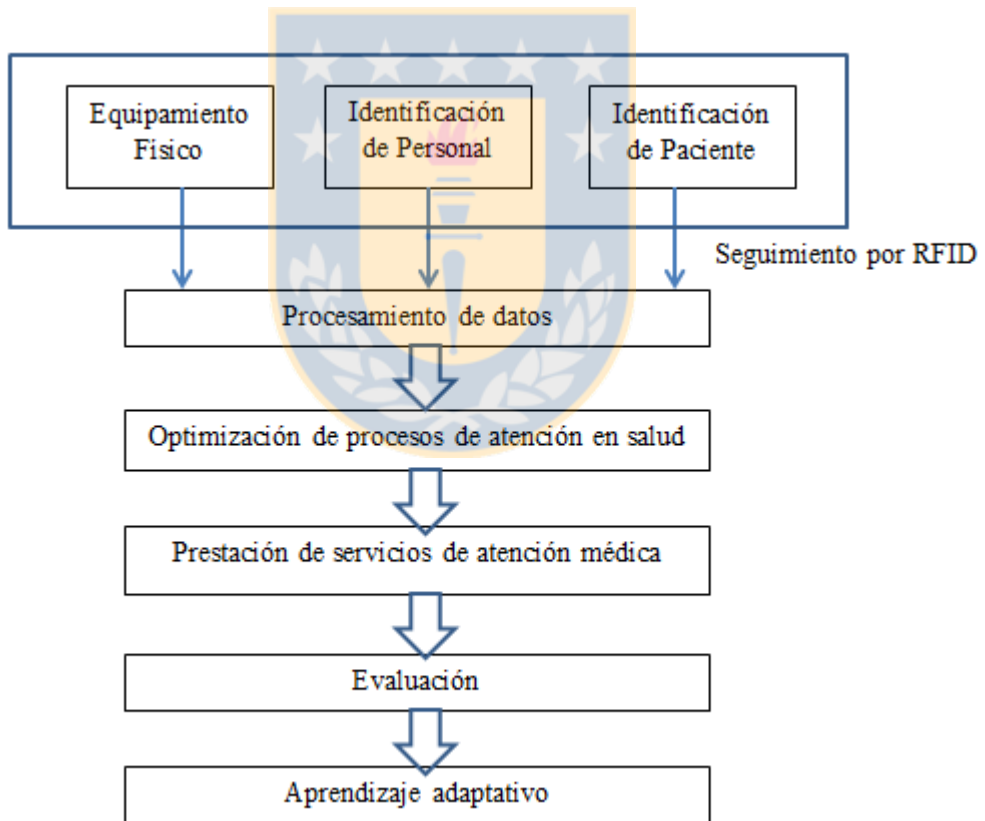


Figura 2.5: Proceso de aprendizaje de seguimiento de información por RFID.
(Piramuthu & Zhou, 2010)

El sistema está compuesto por tres elementos: Las etiquetas, las antenas o receptores de etiquetas y un computador que procesa la información, tal como se muestra en la Figura 2.6, a modo general, el sistema se basa en transferencia de información desde un emisor (*tag* RFID) a un receptor (antena RFID). Una vez captadas las etiquetas por la antena, la información es capturada por los receptores y es almacenada y visualizada en una base de datos (*Host Computer*) a través de un sistema de comunicación entre sistema RFID y sistema informático.

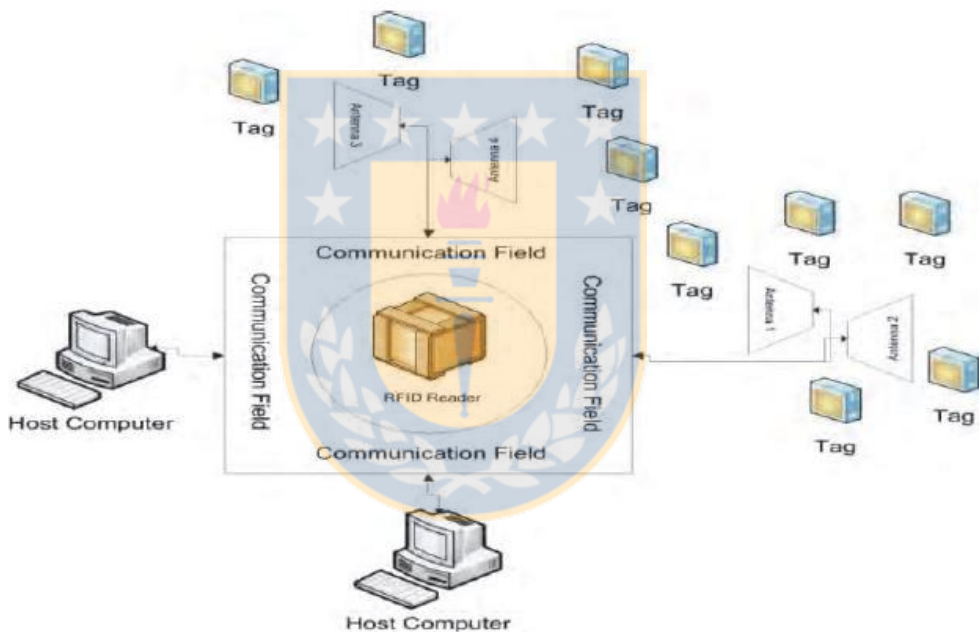


Figura 2.6: Componentes de un sistema RFID. (Ahsan, 2006)

2.4.1 Etiquetas o tag

Una etiqueta de RFID mostrada en la figura 2.6, es un micro chip combinado con un sistema de antena. El micro chip contiene memoria para almacenar datos y un circuito lógico el cual permite recibir y enviar datos. Según Khan et al. (2009) las etiquetas pueden ser clasificadas en varias categorías basados en diversos

parámetros, dependiendo del formato que el usuario requiera, como por ejemplo, formato, frecuencia, funcionalidad, factor de forma y alimentación.

2.4.2 Receptores

Los receptores son las antenas que captan la señal emitida por las etiquetas. Esto permite almacenar información proveniente de la señal emitida por la etiqueta. Cada vez que la etiqueta pasa por un pórtico que posee un receptor, se guarda la información en una base de datos. Por lo tanto, se pueden poner innumerables puntos de receptores para captar la señal.

2.4.3 Base de datos

La información emitida por los emisores y captada por los receptores, debe ser almacenada en bases de datos, las cuales deben tener la capacidad de almacenar toda la información proveniente de las etiquetas. Las bases de datos son procesadas en un computador a través de software computacionales.

2.5 Revisión Bibliográfica

La mayor cantidad de estudios relacionados con la investigación de operaciones se llevan a cabo en el ámbito industrial, pero también existe una rama en donde se han hecho estudios relacionados al sector salud, la cual se dedica a la investigación de los procesos que se llevan a cabo en las distintas áreas que posee un centro de salud.

Los desarrollos tecnológicos tanto a nivel de hardware y software han ayudado a desarrollar nuevas investigaciones y obtener mejores resultados. Los sistemas RFID son sistemas tecnológicos innovadores que nos entregan la posibilidad de monitorear los sistemas y tener un control sobre ellos, apoyando la gestión. El estudio de Mukhopadhyay et al. (2012) realiza una revisión de la literatura, donde muestra que la tecnología RFID está siendo usada en diversas aplicaciones como por ejemplo industria del retail, alimentación, logística, turismo, bibliotecas, etc.

Dentro de la industria de la salud, la tecnología RFID se utiliza para diversas aplicaciones, por ejemplo Thayananthan & Alzahrani (2012) realizan un estudio a pacientes utilizando la tecnología RFID de manera implantable, donde se usa un sensor para monitoreo de diversas patologías. El estudio, propone un modelo teórico para predecir riesgo en pacientes con diabetes u otras enfermedades prolongadas, monitoreando a través de biosensores RFID. Además de la utilización en el ámbito clínico, esta tecnología RFID es ampliamente utilizada como herramienta de gestión en salud. Fuhrer & Guinard (2006) describen cómo esta tecnología emergente se puede utilizar para construir un hospital inteligente. De hecho, usado en combinación con dispositivos móviles en aplicaciones de salud en línea, Piramuthu et al. (2011) en su estudio se utilizan tecnología RFID para la localización y monitoreo diversos recursos en un establecimiento de salud francés como por ejemplo suministro de gas, auxiliares e instrumental quirúrgico. Además, Booth et al. (2006) muestran que se puede aplicar tecnología RFID en seguimiento y control de pacientes, personal y equipos médicos, señalando que tiene el potencial de mejorar significativamente las operaciones mediante la vigilancia activa del flujo de los recursos y que permite que los datos sean analizados para la mejora de procesos.

Tzeng et al. (2008) presenta un análisis en profundidad de la comprensión de los componentes de valor de negocio de una organización puede derivarse de la adopción de tecnología RFID. El estudio propone un marco para evaluar el valor de negocio de la tecnología RFID. Se trabajó en la evaluación de 5 casos de estudios pioneros en la adopción de tecnología RFID en la industria de la salud de Taiwán, donde se observó que existen grandes cambios en el proceso de negocio y asignación de recursos humanos, se mejora la satisfacción del cliente y abre nuevas oportunidades de negocio, además reduce el costo de recolección de datos y aumenta la eficiencia, sin embargo señala que la estimación de la eficacia es dependiente en el análisis de muchos factores incontrolables y el clima psicológico de las organizaciones.

En el estudio realizado por Piramuthu & Zhou (2010) se discute la posibilidad de coordinar la atención de salud en tiempo real y el proceso médico eficaz y la gestión de la mano de obra a través de tecnología RFID. Se propone un marco de aprendizaje adaptativo que apoya la coordinación del cuidado de la salud en tiempo real y analizar sus beneficios en comparación con el proceso tradicional de rutina y la gestión laboral. Se evaluaron 4 escenarios distintos, donde se encontró que la utilización de tecnología RFID para la gestión de recursos humanos proporciona una mejora marginal para los proveedores de servicios médicos de primera calidad, genera una mejora apreciable tanto en términos de eficiencia y calidad de servicio para las instituciones de salud pública, donde la disponibilidad de los recursos necesarios, tales como personal médico y el equipo está altamente restringida.

En el trabajo realizado por Najera et al. (2011), se muestra soluciones para dos escenarios de salud específicos obteniendo información en tiempo real. Por un lado, se analiza el caso de un sistema de seguimiento de equipos médicos para centros de salud que permitan tanto la localización en tiempo real y la prevención de robos, entregando. Por otro lado, se analiza una solución para el cuidado y el control de los pacientes en un hospital basado en tecnología RFID pasivo, proporcionando identificación perfecta de personal médico y pacientes, acelerando el acceso a la atención médica y control de tratamiento.

De acuerdo con las radiaciones electromagnéticas producidas por RFID no son perjudiciales debido a que los niveles de energía están bajo los límites de la IEEE estándar C.95-1-1991 (ANSI/IEEE, 2010) siendo de 3 KHz a 300 GHz, los cuales se refieren a los campos electromagnéticos de los niveles de exposición que son considerado seguro para los seres humanos. Benelli et al. (2010) muestran un cuadro comparativo de los niveles de frecuencia y sus aplicaciones en el sector salud, mostrando el máximo nivel de 10 GHz. Además, las interferencias con los marcapasos y desfibriladores implantables cardiovertores no son factibles de acuerdo con la potencia de emisión utilizados, esto incluye los marcapasos

compatibles con la norma CENELEC EN 45502-2-1 (Comité Europeo de Normalización Electrotécnica) de la Unión Europea (CENELEC, 2003). De todos modos la OMS (2007) menciona que se necesita más investigación sobre este tema. Van der Togt et al. (2008) evaluó la interferencia electromagnética (EMI) de los RFID activos y pasivos de 125 kHz 868 MHz, señalando que inducen incidentes en equipos médicos de cuidados críticos. En 123 pruebas de EMI, RFID inducido 34 incidentes EMI (22 incidentes peligrosos, 2 incidentes significativos y 10 clasificados como observaciones). Estos resultados indican que la aplicación de la tecnología RFID en el entorno de cuidados intensivos requiere de pruebas de EMI, dejando en claro que se necesita más investigación sobre las interferencias electromagnéticas en equipos y dispositivos médicos, así como los efectos de la energía de radio frecuencia en el cuerpo humano. Dependiendo de la aplicación específica de la salud donde se implementa la tecnología RFID, puede ser necesaria una investigación adicional. Sin embargo, este trabajo es realizado a la unidad de urgencia y no a la unidad de cuidados intensivos.

La tecnología RFID, es un elemento que permite aumentar la eficiencia en los sistemas bajo estudio, sin embargo, la implementación de estos sistemas requiere de instalación de hardware y software, lo que provoca interrupciones en los lugares a implementar. Piramuthu et al. (2011) y Amini et al. (2007) en sus estudios señalan que la simulación es una herramienta necesarias para el análisis de propuestas de implementación de nuevas tecnologías como es el caso de tecnologías RFID, donde es fundamental la realización pruebas, ejemplos y entrenamiento a estos nuevos sistemas. Para esto una alternativa es la simulación eventos discretos, siendo una herramienta que ha sido ampliamente utilizada para el diseño y análisis de sistemas.

Lo primero, es entender el significado de simulación y análisis, para Maria (1997) es necesario responder algunas preguntas ¿Qué es el modelamiento? ¿Qué es la simulación? ¿Qué es modelos de simulación y análisis? ¿Qué tipo de problemas son adecuados para la simulación? ¿Cómo seleccionar software de simulación?

¿Cuáles son las ventajas y desventajas en el modelado y simulación? El modelamiento es el proceso de construcción de un modelo, donde se representa el funcionamiento de un sistema. Ingalls (2011) señala que el modelo debe ser similar pero en general más sencillo que el sistema real, debe ser más que una aproximación, es decir, que sea lo más cercano a la situación real, incorporando las características de la realidad. Uno de los propósitos de un modelo es que el analista pueda entender los efectos de los cambios en el sistema. Por lo tanto, un buen modelo es un equilibrio entre el realismo y la simplicidad. La simulación es el funcionamiento del modelo del sistema, donde se puede ir evaluando para determinar los posibles problemas del modelo en un tiempo inferior al tiempo en el que llevaría probar distintos escenarios en la situación real. Según Maria (1997); Banks (1999); Law & Kelton (2000) y Law (2003) existen pasos necesarios para el desarrollo de un modelo de simulación los cuales son: identificar el problema, formular el problema, recolectar y procesar los datos del sistema real, formular y desarrollar un modelo, validar el modelo, documentar para futuros usos, seleccionar el diseño apropiado para el experimento, establecer condiciones experimentales para las corridas de simulación, performance de las corridas, interpretación y presentación de resultados y finalmente recomendar la adopción de nuevas medidas.

Existen varios estudios de simulación de procesos que se llevan a cabo en las distintas áreas de un establecimiento de salud. La mayoría lo realiza a partir de un software computacional, utilizan simulación a eventos discretos y tienen como objetivo conocer la eficiencia en la utilización de los recursos y la performance de los procesos. Jun et al. (1999) señala que la simulación de eventos discretos es una técnica de investigación que permite al usuario final, evaluar la eficiencia de los sistemas existentes de atención de salud. También se puede utilizar para pronosticar el impacto de los cambios en el flujo de pacientes, para examinar las necesidades de recursos humanos y físicos, o para investigar las complejas relaciones entre las variables del modelo como por ejemplo, tasa de llegadas o la tasa de servicio. Esta

información permite a los administradores seleccionar alternativas de manejo que se puede utilizar para reconfigurar los sistemas existentes, a mejorar el rendimiento del sistema o diseño, y para planificar nuevos sistemas, sin alterar el sistema presente. En los últimos años, la aplicación de simulación de eventos discretos en la atención de salud ha incrementado. Esto, se puede atribuir a los numerosos estudios exitosos basados en este tipo de simulación.

Tanto Saunder et al. (1989), como Samaha et al. (2003), Komashie & Mousavi (2005), Ruohonen (2006) y Duguay & Chetouane (2007) tienen por objetivo, disminuir los tiempos de espera, tiempos de estancia en el área, encontrar el número requerido de recursos físicos como humanos. Las diferencias se centran en que cada estudio trabaja con distintas características del área en estudio, como por ejemplo variar los datos de llegada de los pacientes, cambiando la dependencia de las llegadas, es decir, si dependen del tipo de paciente o de los días de la semana o si dependen de los horarios. Se hacen diferencias en que algunos agregan sistema de categorización y otros no para determinar si este tipo de clasificación de los pacientes tiene directa relación con los tiempos de los procesos en la unidad y genera diferencias en los resultados. Se varían los recursos físicos y los humanos. Se agregan o se quitan enfermeras, médicos, camas, números de box etc. Además se van evaluando distintas alternativas para la ayuda a la toma de decisiones. Sin embargo, todos trabajan con un software de simulación a eventos discretos como son Promodel, Arena, Cinema. Etc.

Wynter & Ivy (2009) realizaron un estudio a la unidad de urgencia del Hospital público del estado de Carolina del Norte. La metodología se basó en la utilización del software Arena para analizar la capacidad para capturar con precisión información y verificar el verdadero grado de preparación para la respuesta a una emergencia y determinar la eficiencia en el resultado.

El estudio de Brenner et al. (2010) se proporciona un conjunto de servicios para las diferentes categorías de pacientes, donde se presenta una metodología que utiliza la simulación del sistema, para determinar el número óptimo de recursos humanos y físicos, para maximizar la atención al paciente y para minimizar el tiempo del paciente en el sistema. El objetivo principal es evaluar el impacto de los diversos niveles de personal en materia de eficiencia de servicio. Se basó en un análisis de flujo de datos de los procesos relacionados a los pacientes.

Yeh & Lin (2007) En su trabajo encontrado en la literatura, combinan la simulación con la optimización para diseñar una herramienta que ayude en la toma de decisiones. La combinación se realiza para encontrar la mejor solución a un problema, integrando técnicas de optimización como por ejemplo la combinación de simulación con algoritmos genéticos, donde se usa el modelo de simulación para construir el flujo de pacientes a través de la unidad de urgencias y ver el impacto que produce las distintas programaciones de enfermeras, y los algoritmos genéticos se usan para determinar el número óptimo de la programación de enfermeras. Cabrera et al. (2011) encontraron que los enfoques basados en agentes y técnicas clásicas de optimización se complementan entre sí, abordando temas relacionadas con el modelado y la simulación. El modelo de servicio de urgencias se define en este trabajo como un modelo basado en agentes, formado con la totalidad de las normas que rigen el comportamiento de los agentes individuales del sistema, los agentes son activos y pasivos. Los agentes activos representan a las personas y entidades que actúen en su propia iniciativa (pacientes, personal sanitario, técnicos de admisión, las enfermeras y médicos), los agentes pasivos representan sistemas que son exclusivamente reactivos, tales como el sistema de altavoces, el sistema de información del paciente y servicios centrales de diagnóstico, demostrando que ambos tipos de agentes son esenciales a la hora del análisis del sistema. La simulación se llevó a cabo a través de una técnica de búsqueda exhaustiva lo que se logró en bajos tiempos de procesamiento.

2.6 Sistema de atención de Urgencia

El sistema de salud ha tenido grandes avances en el tratamiento de las enfermedades gracias al desarrollo farmacológico que existe, pero la entrega de los tratamientos como un servicio de atención muchas veces es ineficiente, inefectiva y poco amigable provocando mala calidad de atención, con un escalamiento de costos incontrolables. La simulación de procesos es una herramienta que permite entender el comportamiento dinámico de un sistema experimentando con un modelo computacional del mismo. Para comenzar, se debe entender que es urgencias.

Según la Organización Mundial de la Salud (OPS/OMS, 2010), la urgencia es, la aparición fortuita (imprevista o inesperada), en cualquier lugar o actividad, de un problema de salud de causa diversa y gravedad variable, que genera la conciencia de una necesidad inminente de atención por parte del sujeto que la sufre o de su familia.

La atención que ofrece debe ser 24 horas al día para los establecimientos que sean de atención cerrada. La Urgencia es un área que tiene mucha importancia dentro del establecimiento, ya que es una de las principales entradas de pacientes a un hospital o clínica. Esto provoca que sea un área económicamente importante, porque al ingresar pacientes de distintas complicaciones de salud, como por ejemplo, fracturas, resfríos, dolores musculares, dolores poco conocidos etc., genera que a cada paciente se deba aplicar un procedimiento distinto al hablar de los exámenes que se deben realizar, por ejemplo, scanner, radiografías, resonancias magnéticas, exámenes de sangre, etc. Por lo tanto, debe estar altamente relacionada con distintas áreas del establecimiento, como por ejemplo laboratorio, imagenología, hospitalización entre otras, aportando con derivación de pacientes hacia estas áreas de acuerdo a las necesidades de cada uno.

Una mala gestión de las operaciones de esta unidad provoca pérdidas económicas en las diferentes secciones del establecimiento. Muchas veces la gran

demanda de esta unidad provoca saturación del sistema. La gran demanda que existe se debe a que la población quiere una atención rápida, segura y de calidad. Lamentablemente muchos pacientes hacen uso inapropiado de la unidad. Por ejemplo en España según, el Ministerio de Sanidad y Política Social (2010) la mala utilización varía en un rango de 24% a 79%. Por esta razón existe una categorización de pacientes o un sistema triage.

La descripción de los recursos es esencial para conocer la situación actual de los procesos de la unidad de urgencia y para determinar los posibles problemas existentes.

La unidad de urgencia de la CUC, donde se realiza el estudio de simulación de procesos, dispone de recursos físicos y humanos, los cuales serán analizados a continuación.

2.6.1 Recursos Físicos

La sala de urgencias consta de 11 salas denominadas box de atención. En estos box es donde se entrega la atención por parte del personal médico hacia el paciente, tanto el análisis de los síntomas que tenga el paciente como el tratamiento a estos. La unidad de urgencia se divide en dos áreas, adulto y pediátrico. Esta división se realiza con la finalidad de no mezclar a ambos tipos de pacientes. Por lo tanto, existen box exclusivos para pacientes pediátricos y otros para pacientes adultos.

Área adultos:

- 3 box de adultos: lugar físico donde todos aquellos pacientes mayores de 14 años son atendidos. Es necesario mencionar que este box dependiendo del establecimiento puede estar separado o no por edad. Se trata todo diagnóstico que necesite medicamentos y/o tratamientos no invasivos.

- 1 Box de reanimación: lugar físico donde el paciente con riesgo de vida recibe atención médica inmediata, que le permite salvar su vida y estabilizarlo, para ser trasladado y/o hospitalizado. Solo se utiliza para pacientes graves, no se utiliza por ningún motivo con otro tipo de pacientes. Sirve para ambos tipo de pacientes, adultos y pediátricos
- 1 Box de procedimiento: lugar físico donde se realizan procedimientos invasivos. Se ocupa para todo tipo de paciente. Está equipado con material para realizar suturas, curaciones mayores, etc.
- 1 Box ginecológico: lugar físico equipado de manera especial para pacientes que tengan embarazo. Sin embargo en la clínica no es exclusivo, ya que se ocupa para todo tipo de paciente.

Área pediátrica:

- 4 box pediátricos: lugar físico donde son atendidos todos los pacientes menores de 14 años. Al igual que en adulto, es necesario mencionar que este box dependiendo del establecimiento puede estar separado o no por edad. Se trata todo diagnóstico que necesite medicamentos y/o tratamientos no invasivos.
- 1 Box IRA: lugar físico donde son atendidos todos los pacientes que requieren tratamiento de un kinesiólogo. Sin embargo en la clínica no es exclusivo, ya que se ocupa para todo tipo de paciente.

Aparte del área de box de atención, existe otra área en la cual se entrega atención, pero no en una sala denominada box, esta se denomina:

- Área de Berger: lugar físico en donde se realiza observación de pacientes. Se utiliza para pacientes que esperan exámenes o traspaso de medicamentos. Sirve para pacientes adultos y pediátricos. Por ejemplo pacientes que vienen

con gripe y se pasa un analgésico vía endovenosa, se dirigen a los Berger mientras esperan que termine el tratamiento, hasta que haya pasado todo el analgésico. También lo utilizan pacientes que se encuentran esperando por entrega de algún examen de radiografías, scanner, resonancia, laboratorio, etc.

Cercano al área de box se encuentra un área donde se reúnen las enfermeras y médicos.

- Staff de enfermería: es el Lugar físico en donde las enfermeras y médicos procesan la información de los pacientes. También sirve como descanso para el personal médico mientras esperan por alguna actividad a realizar.

Antes de ingresar a las áreas mencionadas los pacientes deben pasar por las áreas de admisión y la sala de espera.

- Admisión: lugar físico donde se realiza el registro de los datos personales del paciente en las bases de datos del sistema informático de la clínica. Tiene por objeto llevar el registro de ingresos, movimientos y egresos de pacientes desde la unidad de urgencias. Además, se realiza el pago por las atenciones prestadas una vez finalizada la atención. Esta área consta de 3 secretarías encargadas de la recepción y pago de atención. El paciente o un acompañante realizan los trámites administrativos que incluye la recolección de los datos demográficos, previsionales y motivo de consulta.
- Sala de espera: lugar físico en donde los pacientes esperan para ser atendidos luego de ser registrados en admisión. Los únicos pacientes que no pasan por esta área son los más graves o clase C1, ya que estos se dirigen directamente al box de reanimación. También, esta sala sirve para que los pacientes ya

atendidos esperen para el pago de las prestaciones entregadas por el establecimiento.

Para la construcción del modelo de simulación, fue necesario conocer el layout del área y tener en conocimiento la distribución de los recursos físicos mencionados anteriormente. El layout es mostrado en la figura 2.7.

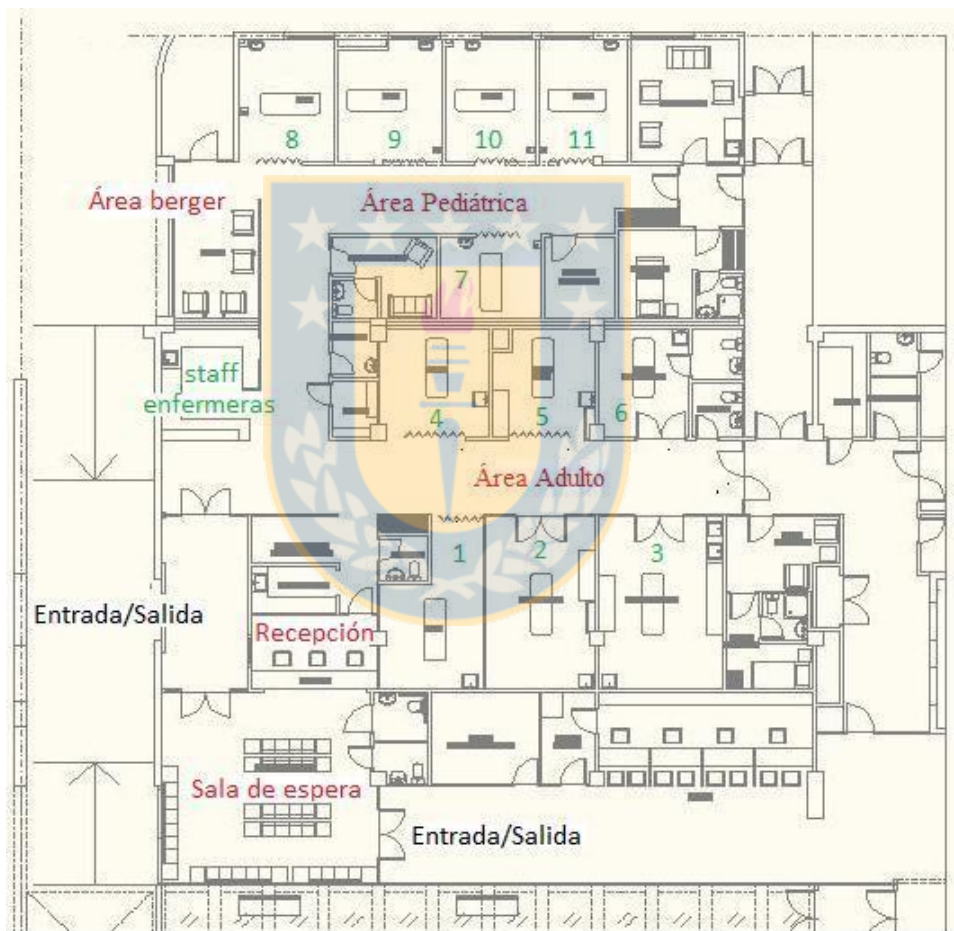


Figura 2.7: Plano de la Unidad de Urgencias de CUC. AutoCAD 2009

2.6.2 Recursos Humanos

La unidad de urgencia cuenta con recursos humanos los cuales se dividen en 2 médicos, y 4 enfermeras en las horas de mayor demanda, la cual es entre las 10:00 hasta las 20:00, porque es el horario donde existe mayor ingresos.

2.6.3 Categorización

En la clínica existe un sistema de clasificación de pacientes según su gravedad. Se debe mencionar que solo se ocupa cuando la demanda es muy alta (determinado por el personal médico), ya que no se ocupa comúnmente. Para la clasificación no se cuenta con un box exclusivo pero cuando existe alta demanda y el personal médico decide clasificar se ocupa principalmente el box 1. Sin embargo, en estricto rigor se categoriza en cualquier box disponible. La enfermera categoriza de acuerdo a la patología y al riesgo que posea el paciente, haciendo que pacientes salgan a sala de espera si no son prioridad (C3 siempre y cuando no sea dolor agudo y C4).

La gestión óptima de los servicios de salud, tiene como objetivo la eficiencia con calidad. Requiere de metodologías y herramientas que den respuesta a las necesidades de los gerentes en su misión de mejorar el estado de salud de la población. La realización de un “*triage*” sobre pacientes retorna beneficios de inmediato que ayudan a la gestión sanitaria. Estos beneficios se notan mucho más cuando existe un aumento de la demanda considerable, en donde se exige atención a una cantidad mayor de pacientes en un determinado momento provocando un aumento en el tiempo de espera de la atención (OPS/OMS, 2010). El concepto “*triage*”, evalúa a los pacientes que llegan a la unidad de urgencias, para conocer el estado de salud junto al nivel de gravedad que posee. Se pueden clasificar en colores o siglas, las cuales son 5, por ejemplo clases C1, C2, C3, C4, C5, desde la más grave a la menos grave. Esto ayuda a la disminución de los tiempos de espera para las personas que poseen mayores riesgos, dando una mejor atención a estos pacientes.

Una priorización o RAC, bien realizada es la clave de la unidad de urgencias según (Navarro, 2009).

La clasificación realizada en la Clínica es la siguiente.

- C1: Paciente en riesgo vital, que requieren de atención inmediata
- C2: Paciente grave que necesita rápida atención.
- C3: Paciente menos grave, que puede esperar en sala de espera la atención médica.
- C4: Paciente con la gravedad más baja, que pueden esperar la atención médica.

2.6.4 *Procesos*

Una vez analizado e identificado detalladamente los recursos físicos y humanos del área en estudio, se deben dar a conocer los flujos que tienen los distintos procesos que se ejecutan dentro de la unidad de urgencia. El conocer los procesos ayuda a identificar de manera más precisa las distintas problemáticas que se deben abordar en el trabajo, para posteriormente encontrar soluciones que aporten información correcta que ayuden a la toma de decisiones.

No todas las unidades de urgencias trabajan de la misma manera, teniendo cada una definido los procesos a seguir. La CUC realiza categorización solo si existe una demanda muy elevada. El proceso de atención es mostrado en el diagrama siguiente 2.8.

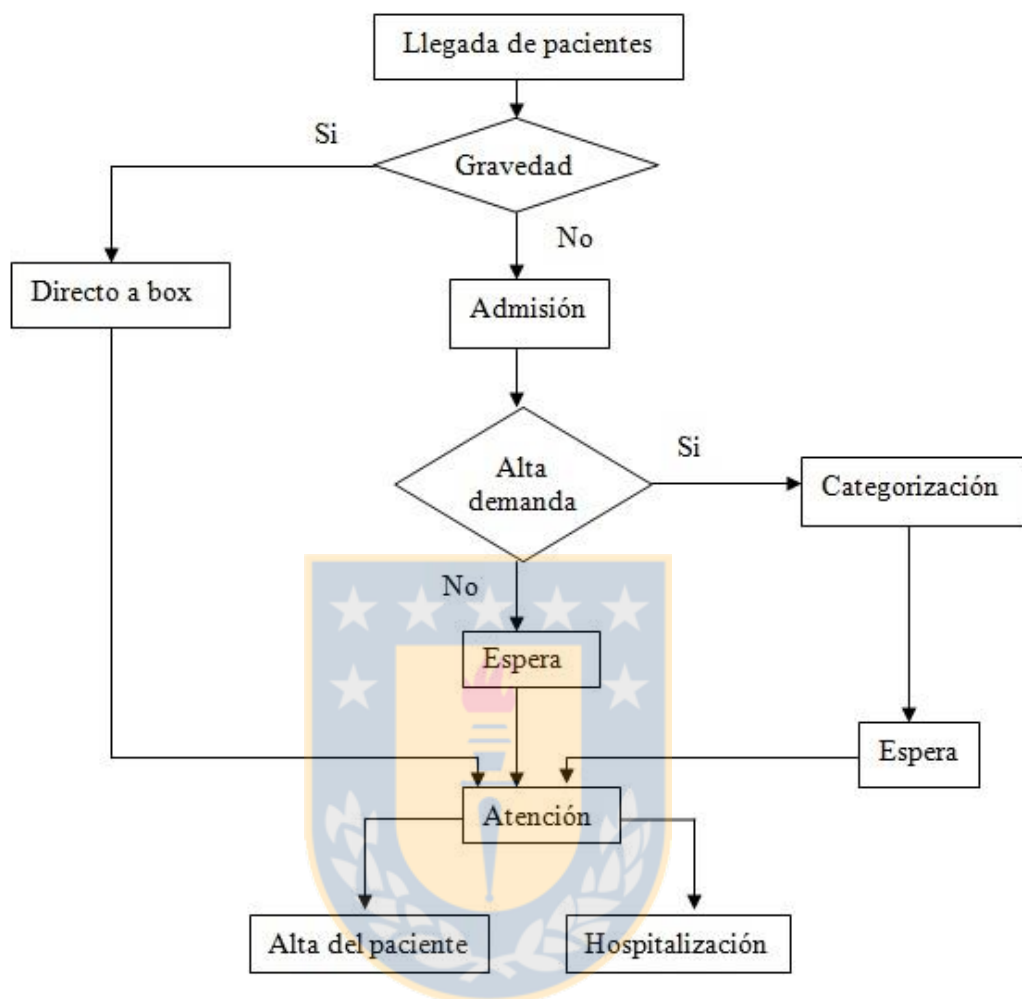


Figura 2.8: Diagrama de flujo, mostrando el proceso de atención completo.

La figura 2.8, muestra las etapas que debe seguir un paciente que ingresa a la urgencia. Se puede apreciar que comienza con la llegada del paciente, se determina si el paciente es grave o no. Si el paciente es grave (clase C1) o se encuentra con riesgo vital pasa directo a box para recibir atención inmediata y una vez que se estabiliza determinar si requiere hospitalización o se encuentra de mejor forma y es dado de alta. De otra forma, si el paciente no es clasificado como grave, debe pasar a admisión para registrar sus datos personales. Ahora si existe una demanda muy elevada se hace efectivo el proceso de categorización según gravedad, dejando en

última prioridad de atención a la clase C4, siendo estos los pacientes que más deben esperar para que reciban atención. Sin embargo, es importante mencionar que al ser una clínica privada este tipo de categorización se trata de realizar lo menos posible para pacientes que no sean graves, porque los pacientes no deben sentir un trato injusto y así querer volver al establecimiento, ya que al categorizar, muchos pacientes se molestan porque uno que llegó después fue atendido antes cuando la gravedad no se encuentra a la vista. Finalmente, al término de la atención para todos los pacientes se evalúa si requieren de hospitalización o solo de alta médica.

La categorización cuando existe alta demanda la debe realizar un encargado especializado en el tema. La figura 2.9, muestra cómo es el flujo general de la atención de urgencias cuando existe alta demanda utilizando categorización de pacientes.

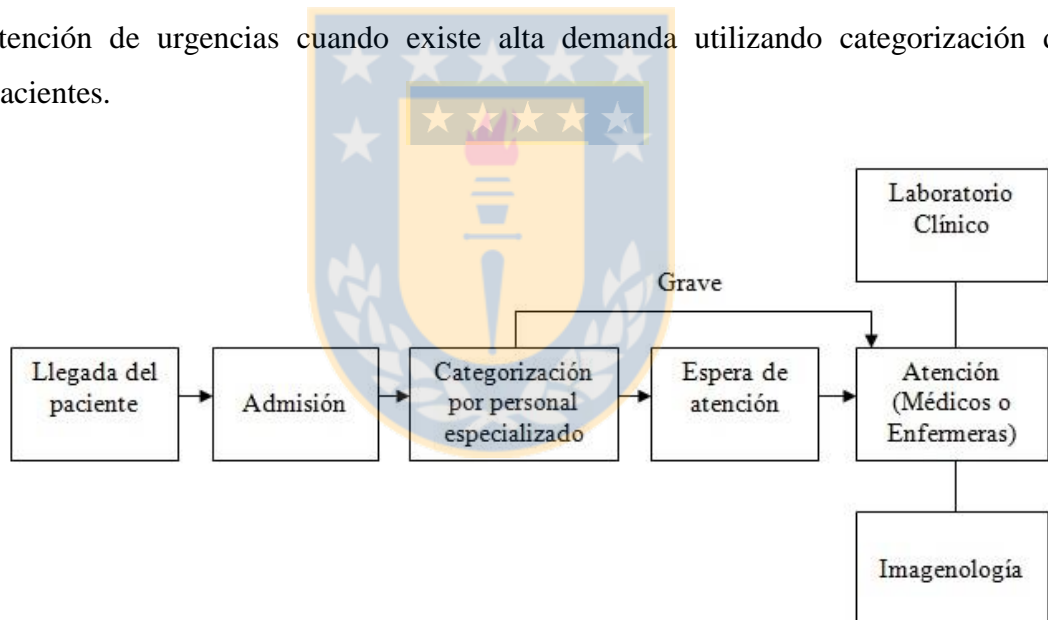


Figura 2.9: Diagrama de flujo categorización.

Una vez que ingreso al área de atención, el paciente permanece un largo periodo de tiempo, dependiendo de su gravedad. Dentro de ese lapso, existen varios procesos que se realizan. El primer proceso se muestra en la figura 2.10.

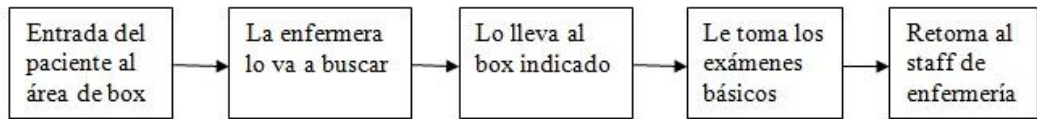


Figura 2.10: Diagrama de flujo de enfermeras.

Cuando el paciente se encuentra en la sala de espera es llamado para su inicio de atención. Este llamado lo realiza la enfermera, la cual se mueve desde el staff de enfermería hacia la sala de espera. Junto al paciente se dirigen hacia el box asignado para dar inicio a la atención, le realiza los chequeos básicos como el control de signos vitales. Luego, se dirige al staff de enfermería.

Posteriormente, existe un proceso de utilización del médico, donde muestra las actividades realizadas por el médico de turno, mostrado en la figura 2.11.



Figura 2.11: Diagrama de flujo del Médico.

En la figura 2.12 se muestra el flujo que realiza el paciente dentro de la unidad de urgencias.

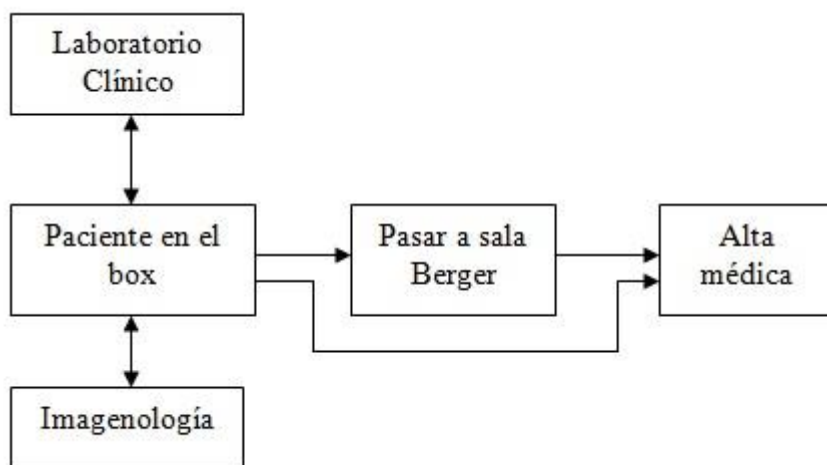


Figura 2.12: Diagrama de flujo del paciente dentro del área de atención.

El diagrama 2.12, muestra que los pacientes que están dentro de un box después de su atención médica, pueden ser dados de alta y dirigirse a la sala de espera donde deben pagar por la atención o pueden pasar a la sala de berger. Los que pasan a esta sala son los que deben esperar por un paso de medicamento, o por la espera de un examen que puede ser de laboratorio, imagenología o de algún otro tipo. Generalmente esta espera de exámenes es bastante grande, entonces para no tener ocupado un box con el paciente en espera de exámenes se hace pasar al área de berger, con el fin de descongestionar el área de box.

Simulación del sistema de atención de paciente

En base a la información recolectada se definieron los recursos disponibles. Esto permitió realizar un levantamiento de proceso de la unidad de urgencia. Este levantamiento es esencial para determinar la manera en que se construirá el modelo. El software utilizado se llama Arena Simulation 14.5 desarrollado por la empresa Rockwell Automation, el cual es una herramienta informática para la creación de modelos de simulación. Este software ha sido desarrollado pensando en la simulación de procesos productivos como los encontrados en fábricas o empresas manufactureras, sin embargo, su uso puede extenderse a otros campos como los sistemas de servicios, por ejemplo: aeropuertos, central de llamados, supermercados, bancos, hospitales, etc.

El sistema de simulación de Arena posee capacidad para hacer frente a los elementos físicos de un sistema en términos gráficos, pero especialmente a los elementos lógicos de un sistema. Arena se compone de un entorno de trabajo en el cual se realiza la definición del modelo lógico. Después de que el usuario ha definido los componentes lógicos del modelo, entonces se compila en un modelo ejecutable. El modelo ejecutable es totalmente interactivo, puede ser detenido en cualquier instante de tiempo simulado para ver las estadísticas y el estado de modelo. Arena combina la facilidad de uso de un simulador con la potencia y la flexibilidad de un lenguaje de simulación.

Para definir los sistemas y/o procesos, el usuario simplemente crea entidades geométricas, como las rutas y estaciones de trabajo, además se deben incorporar los parámetros de funcionamiento. El entorno de ejecución del modelo permite obtener las estadísticas en cualquier instante de tiempo durante la ejecución de la simulación. Estas características de la ejecución del modelo hacen que sea más fácil verificar y validar modelos de sistemas complejos.

Arena considera dos tipos de áreas de trabajo dentro de un modelo de simulación básico, el *Basic Process* o procesos básicos, y el *Reports* o reportes. Además, se pueden integrar sistemas como *Advanced Process* o procesos avanzados y *Advanced Transfer* o transportes avanzados. (Rockwell software, 2005)

Basic Process: son los elementos básicos y principales que describen el comportamiento y la lógica del modelo. Permiten crear los distintos tipos de procesos o acciones existentes. Es la columna vertebral de un modelo en Arena, ofreciendo a la simulación características requeridas para modelar problemas del mundo real.

Reports: se refieren a los distintos reportes o estadísticas que se pueden obtener una vez modelado y simulado el sistema.

Advanced Process: permite realizar operaciones avanzadas, donde se puede incorporar características más detalladas a los procesos básicos. Además, permite incorporar nuevas figuras geométricas más especializadas.

Advanced Transfer: permite dibujar las trayectorias de los vehículos guiados y describir sus características. Estos sistemas permiten trasladar elementos de un lugar a otro de acuerdo a las características necesarias del sistema.

3.1 Construcción del modelo

El modelo construido es representado en la figura 3.1, donde se realiza una visión panorámica de la simulación, para visualizar la estructura del modelo lógico creado en el software.

Unidad de Urgencia CUC

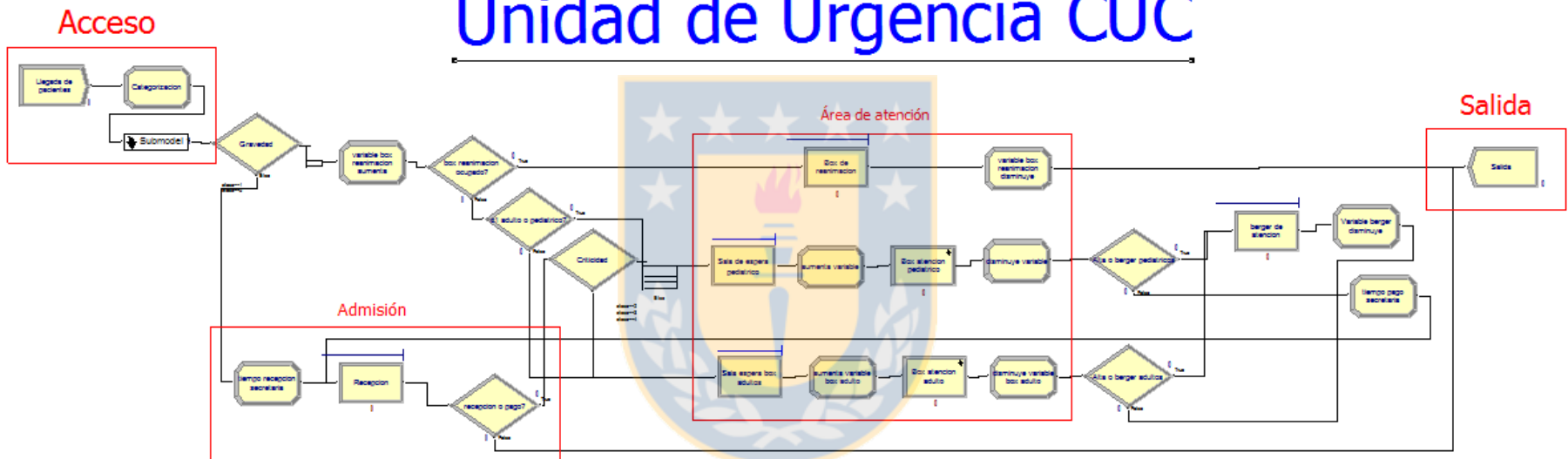


Figura 3.1: Representación lógica del modelo de unidad de urgencia. Arena Simulation 14.5.

Para tener una mejor visualización del modelo se detalla el proceso de construcción paso por paso.

3.1.1 Área de llegada de pacientes

El área de llegada de pacientes es donde se define el acceso hacia la unidad, independiente como se produzca la llegada. Para la creación de esta actividad, se utilizó un componente lógico llamado *Create*, que es el punto de partida del modelo, aquí se definió la distribución de probabilidades que representa a la tasa de llegada. Además, se debe incorporar el tipo de paciente que llega, según la clasificación, los pacientes se dividen en adultos y pediátricos. Cada clase, se divide en 4 subclase, representando la categorización de pacientes según su nivel de gravedad. Esto fue representado en el modelo lógico con un *Assign*, donde se asignó un atributo como parámetro a cada entidad entrante de acuerdo a la categorización de la sección 2.7.3.

La imagen siguiente muestra en detalle el área de llegada de pacientes creada en el modelo lógico.



Figura 3.2: Representación lógica del área de acceso a la unidad de urgencia. Arena Simulation 14.5

Una vez definida la entrada y categorizado al paciente, se incorpora el tiempo de atención para cada clase. Se crea un submodelo, donde dentro de él se define la distribución de probabilidades que representa el tiempo de atención para cada tipo

de pacientes. En una primera instancia se discrimina que tipo de paciente es, esto se logra incorporando un componente lógico llamado *Decide*, el cual verifica que clase de paciente es y asigna la distribución de probabilidades correspondiente a su clase.

Luego se discrimina si el paciente es grave, se dirige directo al box de reanimación o el paciente debe pasar por admisión.

3.1.2 Área de admisión

El área de admisión es el lugar donde se realiza la recepción y el pago de las prestaciones. Aquí, existen 3 secretarías representadas por un *Resource*, el cual trabaja de acuerdo a el tipo de paciente, es decir, utiliza una distribución de probabilidades distinta para el tiempo de atención de un paciente que ingresa, y otra distinta para el paciente que termino su atención. Para ello, se debe asignar un atributo tiempo de atención para los pacientes entrantes y los pacientes de alta. Luego el paciente debe ser atendido por las secretarías, se crea un componente lógico llamado *Process*, el cual representa el proceso de atención de las secretarías. Si existe una secretaria desocupada el paciente pasa directo a atenderse con ella, sino, el paciente debe esperar en cola para su atención. La figura siguiente representa la lógica del modelo que representa el área de admisión.

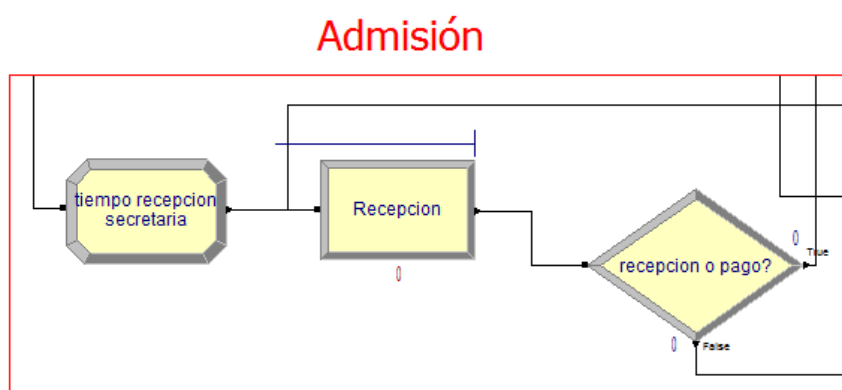


Figura 3.3: Representación lógica del área de admisión en la unidad de urgencia.

Arena Simulation 14.5

Como se puede apreciar en la figura anterior, existe un componente lógico de discriminación, el cual verifica si el paciente espera por atención o el paciente fue dado de alta. Si el paciente espera por la atención, se dirige a la sala de espera para ser llamado en su turno, si el paciente fue dado de alta, se dirige a la salida de la unidad de urgencia.

3.1.3 Área de atención

El área de atención se divide en tres zonas, una que posee el box de reanimación, box para pacientes adultos y box para pacientes pediátricos. Cada tipo de paciente es direccionado a su determinada zona, es decir, no puede ser atendido un paciente adulto en la zona de atención para pacientes pediátricos. Se creó un *Decide*, el cual discrimina de acuerdo al tipo de clase. Si es C1-A y C1-P pasan directo al box de reanimación, si son C2-P, C3-P, C4-P pasan al área pediátrica (parte central figura 3.4) y si son C2-A, C3-A, C4-A pasan al área adulta (parte inferior figura 3.4).

El área de atención en una primera instancia posee la sala de espera, es una zona donde los pacientes esperan para ser atendidos, estos pacientes son llamados de acuerdo a un orden de llegada. Las zonas de adulto y pediátrico poseen 5 box cada uno, por lo tanto, se realiza una revisión del estado de los box, si los 5 box se encuentran ocupados, el paciente debe esperar en la sala de espera, por otro lado, si alguno de los box se encuentra desocupado (un paciente fue dado de alta), el paciente entra a la zona de box. Para la sala de espera se crea un componente lógico llamado *Hold*, el cual posee la cualidad de almacenar entidades hasta que tenga una señal o alguna condición que determine que libere a una entidad. En este caso, este componente lógico liberará a una entidad, siempre y cuando la variable que determina el box de atención adulto o pediátrico sea menor o igual a cuatro, lo que refleja que algún box se encuentra desocupado. Esta variable aumenta cada vez que

un paciente entra al área de box, y disminuye cuando el paciente es dado de alta o dirigido a la sala de observaciones. La figura siguiente muestra el proceso.



Figura 3.4: Representación lógica del área de atención en la unidad de urgencia.

Arena Simulation 14.5

Cuando la variable es menor o igual a cuatro, el paciente se dirige al box que se encuentra desocupado, para ello, se crea un *Process* con la característica de ser un submodelo, es decir, que dentro de él se crea la lógica que abarca todo el proceso de atención en el box. Para ambas áreas, adulto y pediátrico se trabaja de la misma forma, por lo tanto para términos prácticos la explicación representa ambas zonas. Cuando el paciente es llamado a la zona de box, es acompañado por la enfermera, la cual lo dirige al box desocupado y lo orienta en las actividades a realizar, además le

realiza un examen básico para determinar en qué situación se encuentran los signos vitales. Luego con un *Decide*, se determina qué box es el que está desocupado, esto a través de una variable que es específica para cada box de atención, la cual con un cero indica que está desocupado y con un uno indica que está ocupado. El box es representado como un *Resource*, el cual se encuentra enlazado al atributo tiempo de atención. Este atributo explicado anteriormente, fue creado para especificar a cada clase su tiempo de atención representada en su distribución de probabilidades ajustada. Por lo tanto, según el atributo tiempo de atención que la entidad posea, será el tiempo de atención requerido en el box.

Se realiza una serie de decisiones a través de diversos componentes lógicos, donde se determina si el paciente, es dado de alta o se dirige a la sala de observaciones o berger, según los datos obtenidos se tendrá el número de pacientes que son dados de alta o son llevados a la sala de observaciones, además, se debe determinar el estado de la sala de observaciones a través de una variable, la cual indica si el número de entidades dentro de la sala es mayor a tres, entonces el paciente debe seguir en el box, ya que se encuentra ocupada, de no ser así el paciente sale del box y es llevado a la sala de observaciones, esto porque la capacidad de la sala es de cuatro pacientes. Finalmente, los pacientes que son dados de alta y los que son dirigidos a la sala de observaciones, hace que la variable estado del box disminuya a cero y así otro paciente en espera de atención pueda entrar. Para los pacientes que son llevados a la sala de observaciones deben esperar el tiempo acordado y luego dados de alta. Una vez dados de alta, los pacientes deben ser dirigidos a admisión para el pago de la prestación otorgada, para ello deben esperar a que se encuentre una secretaria desocupada, luego ser atendidos por ella de acuerdo al tiempo de atención estimado para el pago de prestación según el ajuste de distribución de probabilidades. Finalmente, una vez realizado el pago de la prestación son direccionados a la salida de la unidad de urgencia mostrada en la siguiente imagen.

Salida

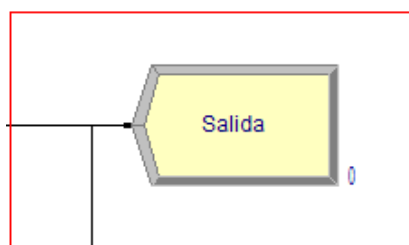


Figura 3.5: Representación lógica de salida en la unidad de urgencia. Arena Simulation 14.5

3.1.4 Integración del sistema RFID al modelo de simulación

Los sistemas RFID a través de sus componentes emisor y receptor, permiten guardar y leer información sobre ellos. La propuesta es que cada paciente tenga una pulsera que contenga la etiqueta RFID. También el personal médico debe tener su propia pulsera o collar con la etiqueta. En cada box se debe encontrar un receptor para obtener información cada vez que una etiqueta pase por el pórtico que posee el receptor, en primera instancia se piensa en que el pórtico debe ser ubicado en cada puerta de las distintas áreas, ya sea box de urgencia, staff de enfermería, sala de observaciones, sala de examen, entrada unidad de box, con el propósito de obtener la mayor cantidad de información y poder tener mayor control sobre el objetivo.

Esto que se realiza en la realidad, puede ser modelado y representado gráficamente a través de un software computacional como es el caso de Arena. Esto permite evaluar distintas configuraciones de implementación de la tecnología.

Al modelo actual creado con anterioridad, se integra la tecnología RFID a través de nuevos componentes lógicos, en este caso utiliza uno llamado *ReadWrite*, el cual es un elemento que permite leer y escribir información de un archivo, ya sea texto o planilla Excel, representando la misma lógica con la cual trabaja el sistema RFID.

El problema existente muestra que cuando un paciente se encuentra en el box de atención, y sale a realizar un examen, ya sea, de radiografía, o toma de muestra, etc., no existe una retroalimentación o comunicación entre las áreas dentro de la unidad de urgencia, lo que ocurre es que cuando este paciente desocupa el box por un instante de tiempo, pero sin haber obtenido el alta, no se ocupa el box por otro paciente. La creación de este sistema en el modelo, se basa en la utilización del box en el mayor tiempo posible, es decir, cuando el paciente sale del box a otro lugar, el sistema RFID capta el instante de tiempo y en base a información ingresada al sistema que sería el tipo de examen que se realizará, el sistema que está conectado al modelo completo, busca dentro de los pacientes que se encuentran esperando al paciente que posee por probabilidad el tiempo de atención menor que el tiempo que se demora el paciente en la toma de exámenes, la siguiente figura muestra la lógica creada.

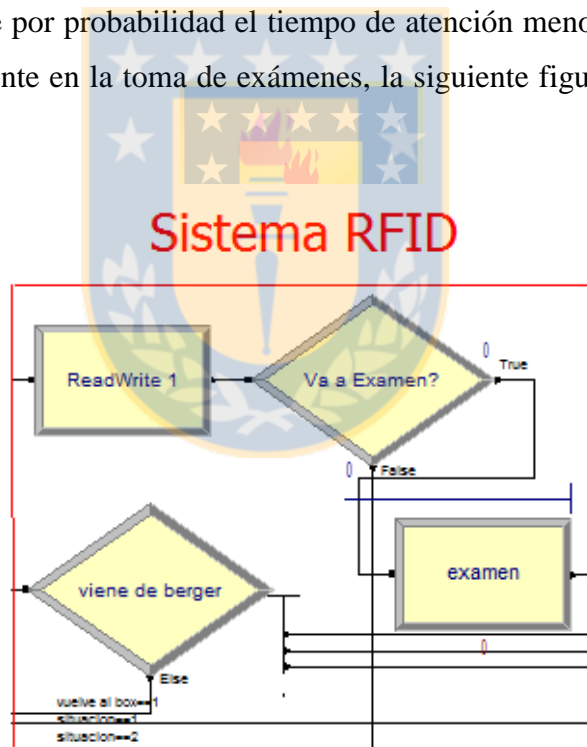


Figura 3.6: Representación lógica de sistema propuesto en la unidad de urgencia.

Arena Simulation 14.5

Esto se logra a través de la utilización de variables que indican estados de los recursos. En este caso existe una variable estado del box, una variable examen y una

variable sistema. Como se explicó anteriormente, los pacientes que se encuentran en la sala de espera son llamados a partir de la variación de la variable que verifica el número de box ocupados, si el número de box es menor o igual a cuatro, entonces quiere decir que existe un box desocupado. Sin embargo, ahora no existe solo esa condición, ya que, se debe dejar pasar a los pacientes que tengan el menor tiempo de atención, esto se logra modificando la condición anterior. Se ingresan dos condiciones compuestas las que quedan de la siguiente manera; la variable que verifica el número de box debe ser menor o igual a cuatro y la variable examen debe ser menor o igual a uno, o, la variable que verifica el número de box debe ser menor o igual a cuatro y la variable examen debe ser menor que uno. Esto señala que solo pasará un paciente a la zona de box en dos circunstancias, la primera es cuando existe un box desocupado pero en la zona de examen existe un paciente, la segunda indica que pasará un paciente a la zona de box si existe un box desocupado pero que la zona de examen se encuentre desocupada. Luego, con un componente lógico de decisión se determina si la variable examen es mayor o igual a uno. Si es así, se debe dejar pasar al que posea el menor tiempo, si la variable examen es menor que uno debe dejar pasar al primero en la cola. Estas decisiones lógicas, permiten que el box se utilice por un paciente mientras el otro paciente se encuentra en otra zona, y cuando vuelva de examen, el paciente que ingreso ya fue dado de alta. La realización del modelo lógico se creó utilizando dos tipos de colas ordenadas de distinta forma, una se ordena de manera FIFO y la otra se ordena por tiempo de proceso. Cuando los box se encuentran ocupados los pacientes están en una cola de espera, cuando el box se desocupa pasan todos los pacientes que se encontraban en cola a un *Decide*, donde se verifica la condición del paciente que salió del box, es decir, se determina si fue dado de alta o salió a realizar algún tipo de examen. Dependiendo de la condición de salida pasan a la cola respectiva. Una vez que se determinó que paciente debe ingresar, los demás pacientes deben volver a la cola inicial a esperar otro cambio en el sistema.

Para el proceso de recolección de información, se utilizaron datos estadísticos extraídos de la base de datos de la CUC por un periodo de 40 días; para ajustar las distribuciones de probabilidad a los datos recolectados, se tomó una muestra de observaciones para validar cada una de las variables de sistema. Para realizar el ajuste de las distribuciones de probabilidad se utilizó la versión estudiante del software @Risk. Para todas las distribuciones de probabilidad utilizadas en el modelo de simulación se consideró un p-value superior a 0,05.

Es necesario detallar, que para la recolección de datos se tomaron las horas que poseían mayor demanda, las cuales eran entre las 10:00 y las 20:00, dejando de lado para efectos de análisis las horas entre las 21:00 y las 9:00. La sencilla razón es que la demanda en esas horas es muy baja y pueden afectar los resultados de las horas en estudio, las cuales son relevantes para la toma de decisiones. A continuación se detallan las variables por cada etapa de proceso y una breve descripción.

3.2 Categorización

Se analiza la distribución que posee cada nivel de categorización que llega en un periodo de 40 días de acuerdo a la base de datos obtenida en el mes de junio – agosto con un total de 3884 pacientes. La categorización es realizada por la clínica.

Tabla 3.1: Distribución de pacientes por categorización.

| Tipo de pacientes | N° de pacientes | % |
|-------------------|-----------------|--------|
| C4 - P | 1280 | 32,96 |
| C3 - P | 304 | 7,83 |
| C2 - P | 6 | 0,15 |
| C1 - P | 17 | 0,44 |
| C4 - A | 1656 | 42,64 |
| C3 - A | 547 | 14,08 |
| C2 - A | 28 | 0,72 |
| C1 - A | 46 | 1,18 |
| Total | 3884 | 100,00 |

La tabla 3.1, muestra la distribución de los tipos de pacientes, el número y el porcentaje de cada tipo de paciente sobre el total. Se puede ver, que se analizaron 8 tipos de pacientes, divididos en dos categorías: 4 pediátricos (representados por una P) y 4 adultos (representados por una A). Cada categoría se subdivide en 4 categorías, mostrando el nivel de complejidad de su atención.

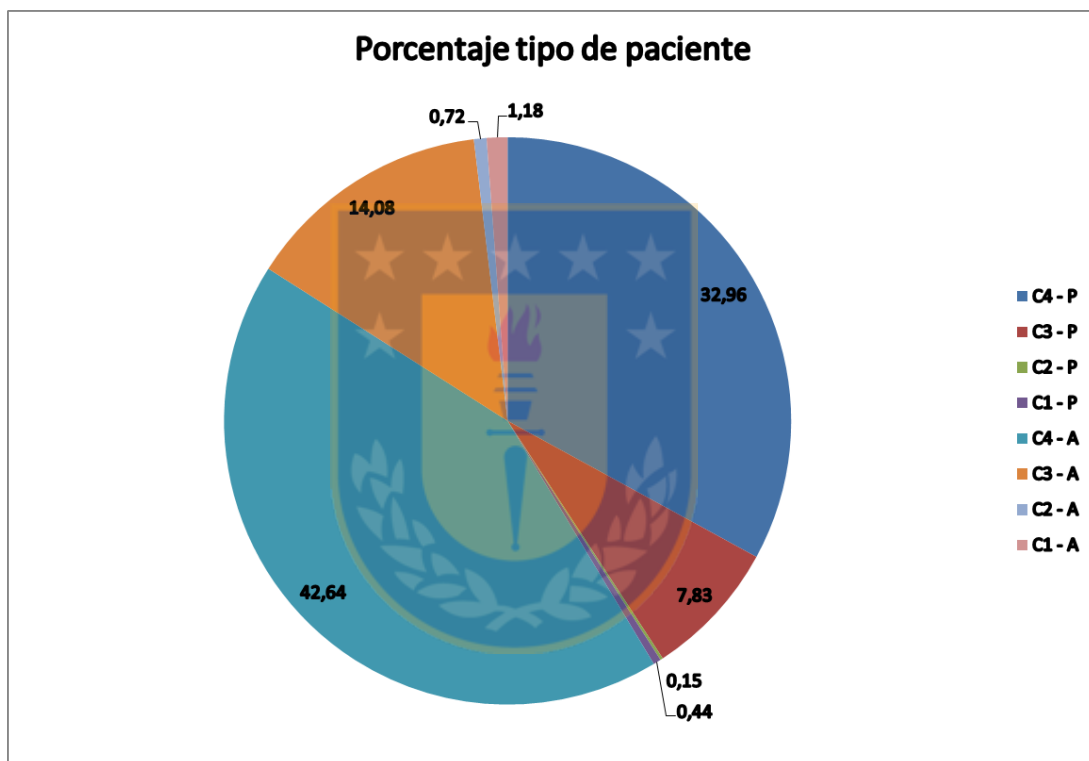


Figura 3.7: Distribución de pacientes ingresados por cada tipo de clase.

El gráfico de la figura 3.7, muestra la distribución de los ingresos por tipo de pacientes, divididos por clase y edad. Se ve, que el mayor ingreso a la unidad de urgencias es de pacientes adultos menos grave (C4-A) teniendo un 42,64% del total de ingresos. Siguen los pacientes pediátricos menos graves (C4-P) con un 32,96%. Esto muestra, que un 75% del total son pacientes de clase C4.

La tabla 3.2 muestra el número promedio de pacientes que llegan por hora, dando un promedio de 7,23 pacientes por hora al día. El promedio se determinó con los valores de los horarios con mayor demanda, siendo estos los horarios objetivos.

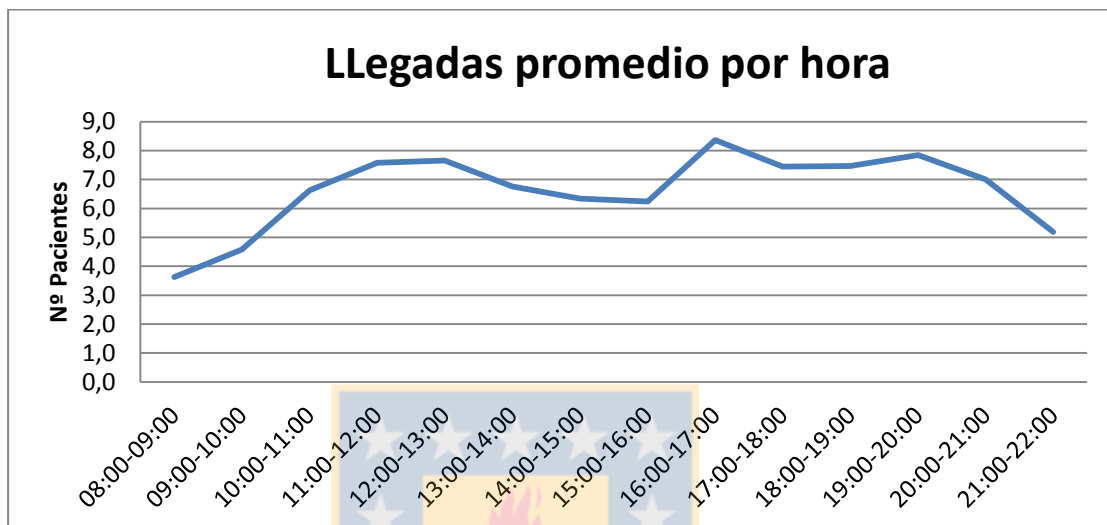


Figura 3.8: Número promedio de pacientes por hora al día.

Se puede apreciar en la figura 3.8 que la tendencia de llegadas de pacientes por hora va disminuyendo después de las 20:00 hasta las 10:00, por lo tanto, no se consideran a la hora de obtener el promedio de llegadas de pacientes.

Tabla 3.2: Ingreso de pacientes promedio diferenciados por día de la semana.

| Días | Nº de pacientes promedio por hora al día | Nº de pacientes totales por día |
|-----------|--|---------------------------------|
| Lunes | 8,5 | 85,3 |
| Martes | 7,2 | 72,0 |
| Miércoles | 6,7 | 67,3 |
| Jueves | 5,9 | 59,0 |
| Viernes | 6,5 | 65,2 |
| Sábado | 8,0 | 79,8 |
| Domingo | 7,6 | 76,2 |

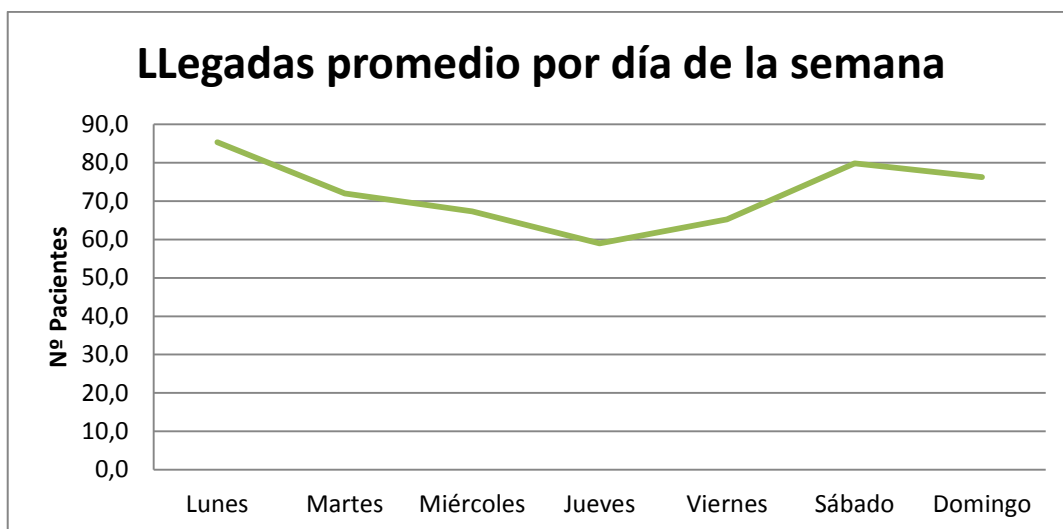


Figura 3.9: Número de llegadas promedio de pacientes por día de la semana.

La variación que existe entre los días de la semana posee un promedio de pacientes por hora de $7,2 \pm 1,3$. Se utilizó el promedio para toda la semana.

3.3 Ajuste de la distribución de la tasa de llegada

La mayoría de los sistemas de llegadas poseen una distribución Poisson. Por lo tanto, la hipótesis que se debe validar es que los datos recolectados sí poseen una distribución Poisson. Según Anderson, et. al. (2008) y Levin, et. al. (2004) se debe realizar una prueba de bondad de ajuste de distribución.

Para esto se utilizó el estadístico de prueba Chi-cuadrado para una distribución Poisson, el cual entrega un valor final que nos demuestra si se acepta o no la hipótesis. El valor final es el valor estadístico de prueba, el cual posee un respectivo p-value que es el nivel de significancia. Para la distribución de Poisson, se utilizó un nivel de significancia 0,05. Por lo tanto, un p-value $> 0,05$ demuestra que no se puede rechazar la hipótesis.

Para la prueba, se tomó un valor aleatorio de 100 muestras del total de datos siendo 676 llegadas de pacientes las cuales se distribuyeron en intervalos de una hora. Los datos analizados a través de la prueba de bondad de ajuste arrojaron un valor del estadístico chi-cuadrado $X^2 = 7,33$. Este valor corresponde a un área o probabilidad de la distribución chi-cuadrada mayor que 0,1, por lo tanto, se sabe que el p-value $> 0,05$. De acuerdo a Anderson, et. al. (2008) y Levin, et. al. (2004), no se puede rechazar la hipótesis, por ende, no se puede rechazar la suposición de que la distribución de probabilidad de llegada de los pacientes sigue una distribución Poisson.

A través de un software estadístico, se puede corroborar lo realizado analíticamente con la prueba del chi-cuadrado. Se utilizó el software @RISK versión estudiante para ver gráficamente el ajuste de distribución y determinar exactamente el p-value, dando como resultado lo mostrado en la tabla 3.3.

Tabla 3.3: Tasa de llegada de pacientes a la unidad de urgencias.

| Variable | Distribución | Llegadas Promedio (N°) | p-value |
|-----------------|---------------------|-------------------------------|----------------|
| Tasa de llegada | Poisson | 7,03 | 0,8745 |

Según el análisis realizado por el software a la tasa de llegada, y de acuerdo a los valores arrojados y mostrados en la tabla 3.3, se confirma la hipótesis que los datos siguen una distribución Poisson, ya que, el p-value es 0,8745 siendo mayor que 0,05.

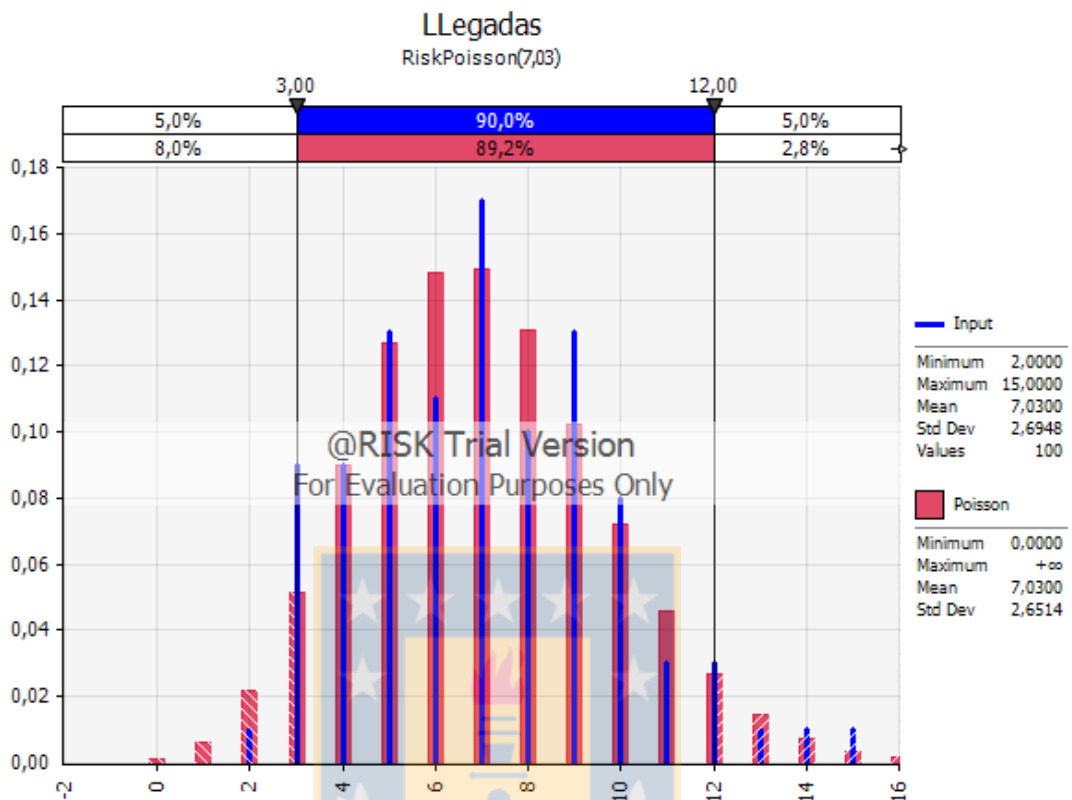


Figura 3.10: Distribución de probabilidad de llegadas de pacientes. Gráfica obtenida en @Risk.

La figura 3.10, muestra que los datos siguen una distribución Poisson. Además, se puede observar que del total de 100 datos tomados aleatoriamente el 90% se encuentra entre 3 y 12. Por lo tanto, la tasa de llegada se distribuye exponencial con media 8,5 minutos, es decir, el tiempo entre llegadas es de 8,5 minutos.

3.4 Ajuste distribución tasa de servicio

La tasa de servicio es el número de pacientes que son atendidos por un instante de tiempo. Para los datos obtenidos se determinó el número de pacientes atendidos por hora.

Para determinar las tasas de servicios se debió determinar el tiempo de atención para cada clase de ambos tipos de pacientes.

3.4.1 *Tiempo requerido de atención para pacientes C1-P*

Para calcular el tiempo de atención de la clase C1-P, se tomó una muestra de los datos y se ajustó a una distribución de probabilidad, que representa el tiempo que demora el paciente en el box de atención desde el inicio al término de su atención.

Tabla 3.4: Tiempo de atención para la clase C1-P.

| Variable | Distribución | Parámetros | Tiempo Promedio (min) | P-value |
|----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------|----------------|
| Tiempo atención C1-P | Triangular | (10,68; 10,68; 50,449) | 23,9383 | 0,6547 |

De la figura 3.11 (Ver Anexo A) se puede observar que los datos se ajustan a una distribución triangular. Un p-value mayor a 0,05 indica que no existe suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula. El p-value mostrado en la tabla 3.4, indica que es posible utilizar la distribución de probabilidad triangular.

Del total de pacientes encontrados se muestra que el 90% se encuentra entre 10,68 y 44,08 minutos. Dando como resultado un promedio de 23,93 minutos.

3.4.2 *Tiempo requerido de atención para pacientes C1-A*

Al igual que en el caso anterior, se ajustó a una distribución de probabilidades los tiempos de atención recolectados para la clase C1-A.

Tabla 3.5: Tiempo de atención para la clase C1-A.

| Variable | Distribución | Parámetros | Tiempo Promedio (min) | P-value |
|----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------|----------------|
| Tiempo atención C1-A | Triangular | (15,58; 15,58; 165,26) | 65,4753 | 0,8810 |

De la figura 3.12 (Ver Anexo A) se puede observar que los datos se ajustan a una distribución triangular. El p-value mostrado en la tabla 3.5, indica que es posible utilizar la distribución de probabilidad triangular.

Del total de pacientes encontrados se muestra que el 90% se encuentra entre 15,6 y 141,5 minutos. Dando como resultado un promedio de 65,4753 minutos.

3.4.3 *Tiempo requerido de atención para pacientes C2-P*

Del total de muestras tomadas se ajustaron los datos a una distribución de probabilidades, dando los siguientes resultados.

Tabla 3.6: Tiempo de atención para la clase C2-P.

| Variable | Distribución | Parámetros | Tiempo Promedio (min) | P-value |
|----------------------|---------------------|---------------------|------------------------------|----------------|
| Tiempo atención C2-P | Triangular | (28,16; 44,5; 44,5) | 39,0533 | 0,97 |

De la figura 3.13 (Ver Anexo A) se puede observar que los datos se ajustan a una distribución triangular. El p-value mostrado en la tabla 3.6, indica que es posible utilizar la distribución de probabilidad triangular.

Del total de pacientes encontrados se muestra que el 90% se encuentra entre 31,02 y 44,5 minutos. Dando como resultado un promedio de 39,0533 minutos.

3.4.4 Tiempo requerido de atención para pacientes C2-A

Del total de muestras tomadas se ajustaron los datos a una distribución de probabilidades, dando los siguientes resultados.

Tabla 3.7: Tiempo de atención para la clase C2-A.

| Variable | Distribución | Parámetros | Tiempo Promedio (min) | p-value |
|----------------------|---------------------|-------------------|------------------------------|----------------|
| Tiempo atención C2-A | Normal | (87,847; 16,48) | 74,789 | 0,248 |

De la figura 3.14 (Ver Anexo A) se puede observar que los datos se ajustan a una distribución normal. El p-value mostrado en la tabla 3.7, indica que es posible utilizar la distribución de probabilidad normal.

Del total de pacientes encontrados se muestra que el 90% se encuentra entre 53,5 y 113,9 minutos. Dando como resultado un promedio de 87,847 minutos.

3.4.5 Tiempo requerido de atención para pacientes C3-P

Se tomó una muestra de 100 datos elegidos aleatoriamente del total real de la población de la clase C3-P para ajustar a una distribución de probabilidades.

Tabla 3.8: Tiempo de atención para la clase C3-P.

| Variable | Distribución | Tiempo Promedio (min) | p-value |
|----------------------|---------------------|------------------------------|----------------|
| Tiempo atención C3-P | Exponencial | 43,6247 | 0,1447 |

De la figura 3.15 (Ver Anexo A) se puede observar que los datos se ajustan a una distribución exponencial. El p-value mostrado en la tabla 3.8, indica que es posible utilizar la distribución de probabilidad exponencial.

Del total de pacientes encontrados se muestra que el 90% se encuentra entre 7,7 y 109 minutos. Dando como resultado un promedio de 43,62 minutos.

3.4.6 *Tiempo requerido de atención para pacientes C3-A*

Se tomó, una muestra de datos elegidos aleatoriamente del total real de la población de la clase C3-A para ajustar a una distribución de probabilidades.

Tabla 3.9: Tiempo de atención para la clase C3-A.

| Variable | Distribución | Parámetros | Tiempo Promedio (min) | p-value |
|----------------------|---------------------|-------------------------|------------------------------|----------------|
| Tiempo atención C3-A | Triangular | (24,693;51,067; 85,003) | 53,5877 | 0,9973 |

De la figura 3.16 (Ver Anexo A) se puede observar que los datos se ajustan a una distribución triangular. El p-value mostrado en la tabla 3.9, indica que es posible utilizar la distribución de probabilidad triangular.

Del total de pacientes encontrados se muestra que el 90% se encuentra entre 32,1 y 75,1 minutos. Dando como resultado un promedio de 53,5877 minutos.

3.4.7 *Tiempo requerido de atención para pacientes C4-P*

Se tomó una muestra de 100 datos elegidos aleatoriamente del total real de la población de la clase C4-P para ajustar a una distribución de probabilidades.

Tabla 3.10: Tiempo de atención para la clase C4-P.

| Variable | Distribución | Tiempo Promedio (min) | p-value |
|-------------------------|---------------------|------------------------------|----------------|
| Tiempo de atención C4-P | Exponencial | 28,5749 | 0,2719 |

De la figura 3.17 (Ver Anexo A) se puede observar que los datos se ajustan a una distribución exponencial. El p-value mostrado en la tabla 3.10, indica que es posible utilizar la distribución de probabilidad exponencial.

Del total de pacientes encontrados se muestra que el 90% se encuentra entre 8,0 y 67,5 minutos. Dando como resultado un promedio de 28,57 minutos.

3.4.8 *Tiempo requerido de atención para pacientes C4-A*

Se tomó, una muestra de datos elegidos aleatoriamente del total real de la población de la clase C4-A, para ajustar a una distribución de probabilidades.

Tabla 3.11: Tiempo de atención para la clase C4-A.

| Variable | Distribución | Parámetros | Tiempo Promedio (min) | p-value |
|----------------------|---------------------|-----------------------|------------------------------|----------------|
| Tiempo atención C4-A | Triangular | (17,812;31,367;62,54) | 37,2397 | 0,7896 |

De la figura 3.18 (Ver Anexo A) se puede observar que los datos se ajustan a una distribución triangular. El p-value mostrado en la tabla 3.11, indica que es posible utilizar la distribución de probabilidad triangular.

Del total de pacientes encontrados se muestra que el 90% se encuentra entre 22,28 y 54,17 minutos. Dando como resultado un promedio de 37,2397 minutos.

3.5 Tiempo atención secretaria

El tiempo de atención de las secretarías en recepción, se divide en dos categorías. Es decir, existen dos tiempos distintos de atención según el paciente. Si el paciente viene llegando a la unidad de urgencia se le denomina tiempo de admisión, y si el paciente se dirige a recepción luego de ser atendido se denomina tiempo de pago.

3.5.1 Tiempo admisión

Se tomó un total de 50 muestras para el ajuste de distribución de probabilidades, los cuales solo fueron tomados a pacientes que venían llegando.

Tabla 3.12: Tiempo de atención de admisión en secretaria.

| Variable | Distribución | Parámetros | Tiempo Promedio (min) | p-value |
|-----------------|--------------|-------------------|-----------------------|---------|
| Tiempo admisión | Triangular | (0,22; 1,15; 4,2) | 1,8579 | 0,93 |

De la figura 3.19 (Ver Anexo A) se puede observar que los datos se ajustan a una distribución triangular. El p-value mostrado en la tabla 3.12, indica que es posible utilizar la distribución de probabilidad triangular.

Del total de pacientes encontrados se muestra que el 90% se encuentra entre 0,783 y 3,433 minutos. Dando como resultado un promedio de 1,8578 minutos.

3.5.2 Tiempo para pago

Se tomó un total de 50 muestras para el ajuste de distribución de probabilidades, los cuales solo fueron medidas en pacientes que terminaron su atención.

Tabla 3.13: Tiempo de atención secretaria pago.

| Variable | Distribución | Parámetros | Tiempo Promedio (min) | p-value |
|-----------------|---------------------|----------------------|------------------------------|----------------|
| Tiempo Pago | Triangular | (0,52; 5,06; 15,404) | 7,33 | 0,5428 |

De la figura 3.20 (Ver Anexo A) se puede observar que los datos se ajustan a una distribución triangular. El p-value mostrado en la tabla 3.13, indica que es posible utilizar la distribución de probabilidad triangular.

Del total de pacientes encontrados se muestra que el 90% se encuentra entre 3,2 y 13,55 minutos. Dando como resultado un promedio de 7,33 minutos.

3.6 Distribución de tiempo en la sala berger

A partir de observaciones y conversaciones con personal médico, se logró determinar que las atenciones en la sala de observaciones o sala de berger en la mayoría de los casos duran alrededor de una hora.

La figura 3.21 y 3.22 muestran la proporción de pacientes que son dirigidos a esta área una vez atendidos en el box de atención para suministrar medicamentos estando bajo supervisión o esperando exámenes. El porcentaje de pacientes que se dirigen a la sala berger es distinto para ambos tipos. El 60% de los pacientes adultos se dirige a berger y el 40% de los pacientes pediátricos se dirigen a berger.

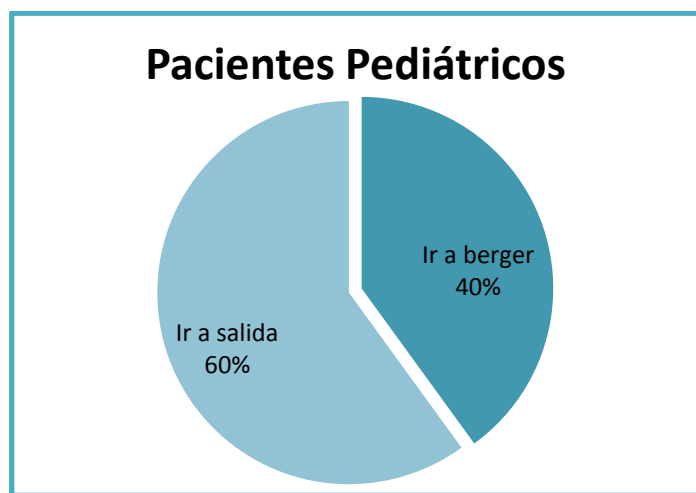


Figura 3.21: Distribución porcentual en la utilización de sala berger para pacientes

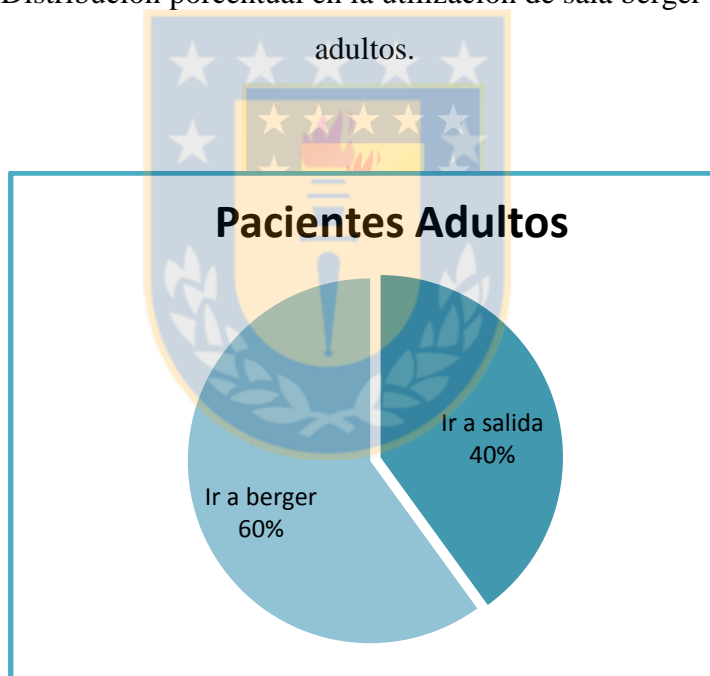


Figura 3.22: Distribución porcentual en la utilización de sala berger para pacientes pediátricos.

Resultados

En este capítulo, se presentan los resultados entregados a partir de las corridas de simulación del modelo desarrollado. Se mostrarán los resultados de las medidas de desempeño elegidas como; productividad, tiempos de espera de atención adulto/pediátrico y tiempo de espera en admisión. Los resultados serán obtenidos de distintos escenarios analizados, donde se variarán factores de entrada del modelo. Se consideró que el tiempo de examen es 20 minutos y el 40% de los pacientes son dirigidos a toma examen.

4.1 Modelo de simulación como situación actual (5 réplicas)

Esta sección muestra las medidas de desempeño que se quieren obtener como salidas de las corridas de simulación. Primero, se debe obtener una muestra inicial o semilla con una cantidad de réplicas determinada, las cuales serán definidas aleatoriamente por el usuario. La semilla permitirá obtener resultados iniciales que ayudarán a determinar el número de corridas de simulación necesarias, utilizando los recursos básicos mencionados en las secciones anteriores.

La tabla 4.1, muestra los resultados obtenidos de las distintas variables de salida como respuesta para el modelo creado inicialmente a partir de las 5 réplicas iniciales. La productividad, muestra el número total de pacientes atendidos durante las horas de simulación obteniendo un promedio de 67. En los tiempos de espera de atención para pacientes adultos y pediátricos se obtuvo un promedio de 13.41 y 1.2 minutos respectivamente. En los tiempos de espera de atención en secretaría para admisión se obtuvo un promedio de 0.14 minutos respectivamente.

Tabla 4.1: Resultados del modelo de simulación inicial en situación actual. Número de corridas es igual a 5.

| Situación Actual | | |
|--|---------------|----------------------------|
| Respuesta | Medida | Valores (pacientes) |
| Productividad | Promedio | 67 |
| Respuesta | Medida | Valores (min) |
| Tiempo de espera atención adulto | Promedio | 13.41 |
| Tiempo de espera atención pediátrico | Promedio | 1.2 |
| Tiempo de espera secretaria (admisión) | Promedio | 0.14 |

4.2 Determinación del número de réplicas para el modelo de simulación

Para determinar el número de réplicas “R” necesarias se utilizó la fórmula 1 la cual fue planteada por (Banks et al. 2005).

$$R \geq \left(\frac{Z_{\alpha/2} \cdot S_0}{\epsilon} \right)^2 \quad (1)$$

Para la obtención del número de réplicas R, primero se debe asumir una muestra inicial, la cual llamaremos R₀. Esta muestra inicial de R₀ replicas independientes, será utilizada para obtener los estimadores iniciales de S₀² de varianza poblacional. Posteriormente se resuelve la inequación anterior, y se debe escoger el menor valor de R tal que R >= R₀. A continuación, se detallan los parámetros utilizados en la ecuación 1.

R₀ = 5, representa la cantidad inicial de réplicas realizadas.

\bar{y} : representa el promedio total de pacientes atendidos o productividad promedio, en las 5 réplicas iniciales.

S₀: representa la desviación estándar de las 5 réplicas iniciales realizadas.

Se tiene que $\epsilon = (0.04\% * \bar{y})$, esto debido a que se consideró un error máximo permitido de un 5% para cada ítem.

El nivel de confianza es $1-\alpha = 0,95$, teniendo un $Z_{\alpha/2} = 1,96$

R: representa la cantidad de réplicas necesarias que se deben realizar para cumplir con la ecuación.

Tabla 4.2: Cálculo del número de réplicas necesarias.

| Ítem | R_0 | \bar{y} | S_0 | ϵ | $Z_{\alpha/2}$ | $\left(\frac{Z_{\alpha/2} \cdot S_0}{\epsilon}\right)^2$ | R |
|---------------|-------|-----------|-------|------------|----------------|--|----|
| Productividad | 5 | 67 | 5,38 | 2,68 | 1,96 | 15.48 | 16 |

4.3 Modelo de simulación como situación actual (16 réplicas)

Se utilizó el número de simulaciones que se obtuvo como resultado en la sección anterior, el cual resultó 16 réplicas. Los resultados obtenidos de las corridas de simulación evaluados en situación actual se muestran en la tabla 4.3. Se puede ver que, la respuesta productividad obtuvo un promedio de 65.12 pacientes atendidos. El tiempo de espera de atención promedio para pacientes adultos y pediátricos fue de 15.38 y 1.68 minutos respectivamente. El tiempo de espera promedio en secretaria para admisión y pago fue de 0.138 minutos respectivamente.

Tabla 4.3: Resultados del modelo de simulación inicial en situación actual.

Número de corridas es igual a 16.

| Situación Actual | | |
|--|---------------|---------------------------|
| Respuesta | Medida | valores (paciente) |
| Productividad | Promedio | 65.12 |
| Respuesta | Medida | valores (min) |
| Tiempo de espera atención adulto | Promedio | 15.38 |
| Tiempo de espera atención pediátrico | Promedio | 1.68 |
| Tiempo de espera secretaria (admisión) | Promedio | 0.138 |

4.4 Modelo de simulación utilizando sistema propuesto

Al igual que la sección anterior, se utilizó el número de simulaciones que se obtuvo como resultado en la sección 4.2, un total de 16 réplicas. Además, se consideró solo los procesos de atención adulto, debido a la limitante de entidades del software, sin embargo es necesario mencionar que los procesos siguen la misma lógica, pero con diferentes datos.

Los resultados obtenidos de las corridas de simulación evaluados con la implementación de sistema RFID se muestran en dos escenarios. En el primer escenario se implementó el sistema, pero no se utilizó para la gestión de los recursos, es decir, se basó en la situación actual. En el segundo escenario se implementó el sistema y se utilizó para la gestión de recursos. Los resultados de la tabla 4.4 obtenidos para el modelo de pacientes adultos sin sistema RFID mostraron que el tiempo promedio de espera de atención es de 12,1 minutos y la utilización de los box son de la siguiente manera; la utilización del box 1 fue de 65,01%, para el box 2 fue de 67,26%, para el box 3 fue de 60,15%, para el box 4 fue de 52,89% y para el box 5 fue de 46,57%. El box de reanimación obtuvo un porcentaje bajo de utilización.

Tabla 4.4: Resultados de la utilización de los recursos en el modelo de simulación pacientes adultos en situación actual. Número de corridas es igual a 16.

| Situación Actual | | |
|---------------------------|---------------|---------------------|
| Respuesta | Medida | Tiempo (min) |
| Tiempo espera de atención | Promedio | 12,1 |
| Respuesta | Medida | Valores (%) |
| Utilización Box 1 adulto | Promedio | 65,01 |
| Utilización Box 2 adulto | Promedio | 67,26 |
| Utilización Box 3 adulto | Promedio | 60,15 |
| Utilización Box 4 adulto | Promedio | 52,89 |
| Utilización Box 5 adulto | Promedio | 46,57 |

Los resultados de la tabla 4.5 obtenidos para el modelo de pacientes adultos con sistema RFID y gestión de recursos mostraron que el tiempo promedio de espera de atención es de 2,88 minutos y la utilización de los box son de la siguiente manera; la utilización del box 1 fue de 77,01%, para el box 2 fue de 76,19%, para el box 3 fue de 64,91%, para el box 4 fue de 53,19% y para el box 5 fue de 42,45%. El box de reanimación obtuvo un porcentaje casi cero

Tabla 4.5: Resultados del modelo de simulación inicial en escenario con sistema RFID. Número de corridas es igual a 16.

| Situación Propuesta | | |
|----------------------------|---------------|---------------------|
| Respuesta | Medida | Tiempo (min) |
| Tiempo espera de atención | Promedio | 2,88 |
| Respuesta | Medida | Valores (%) |
| Utilización Box 1 adulto | Promedio | 77,01 |
| Utilización Box 2 adulto | Promedio | 76,19 |
| Utilización Box 3 adulto | Promedio | 64,91 |
| Utilización Box 4 adulto | Promedio | 53,19 |
| Utilización Box 5 adulto | Promedio | 42,45 |

Discusión

En este capítulo se detallan los resultados alcanzados con la metodología propuesta. Los resultados obtenidos en el modelo de simulación utilizando 16 réplicas y en situación actual muestran el desequilibrio entre los tiempos promedio de espera de atención adulto y pediátrico. Los resultados son lógicos a la situación actual, porque los tiempos de atención para cada categorización son mayores en los pacientes adultos que en los pacientes pediátricos, donde se utiliza la misma cantidad de recursos denominados box de atención, generando tiempos de espera mayores.

Al utilizar la implementación del sistema RFID en el modelo de simulación que existió un aumento de la utilización de los box en el modelo con sistema RFID propuesto y gestión de recursos versus el modelo inicial en situación actual. El box 1 aumento en 12%, el box 2 aumento en 8,93%, el box 3 aumento 4,76%, el box 4 aumento 0,3% lo que no es relevante y el box 5 disminuyó 4,12%. Los resultados obtenidos tienen sentido, debido a que la misma cantidad de pacientes son atendidos en el mismo tiempo y con la misma cantidad de recursos. El aumento considerable en 3 de los 5 box es porque se atienden pacientes en lapsos donde los box actualmente no se utilizan, que es el caso cuando un paciente sale del box sin terminar su atención. Que el box 5 disminuyera su utilización, muestra que tener menos pacientes en cola, existe menos tiempo en que todos los box se encuentran ocupados, ya que los requerimientos son atendidos por los box anteriores, lo que hace que en menos lapsos el quinto box se utilice.

La disminución del tiempo de espera promedio de atención se explica porque los box se encuentran más tiempos activos de acuerdo a la decisión ingresada con el sistema RFID, es decir, existen menos tiempos muertos.

Conclusiones

El propósito de la investigación fue apoyar la gestión recursos de unidades de urgencia en un centro de salud mediante un sistema que utilice la tecnología de Radio Frequency Identification (RFID). El sistema permite el control y seguimiento en tiempo real de los recursos y los pacientes respectivamente. La simulación, permitió evaluar el impacto económico potencial del sistema propuesto.

El modelo de simulación, permitió conocer el funcionamiento de la unidad de urgencias de la clínica universitaria y evaluar el desempeño real. En una primera instancia se simuló el proceso actual, donde se determinó sus medidas de desempeño. El promedio de pacientes atendidos es de 65,12 además, además se obtuvo que los tiempos de espera promedio en pacientes adultos y pediátricos son dispares. Esto resulta bastante lógico, ya que llegan más pacientes adultos y tiempos de atención promedio mayores que pacientes pediátricos. También, se pudo conocer que los tiempos promedio de espera para admisión eran muy bajos, debido a que el tiempo promedio de atención de las secretarías es menor que el tiempo entre llegadas.

La utilización de sistemas RFID, permite tener un seguimiento y control en tiempo real de los recursos disponibles permitiendo tomar decisiones en tiempo real aportando a la gestión y optimización de los recursos. El modelo de simulación con el sistema RFID, permitió aumentar la utilización de los recursos y disminuir el tiempo promedio de espera de atención en 4 veces mediante la toma de decisiones dinámicas.

Finalmente, la evidencia experimental permitió concluir que la simulación a eventos discretos, es una buena y factible alternativa para evaluar el impacto de sistemas que usen RFID.

La metodología propuesta permite no interferir en el normal funcionamiento ni tampoco se corre el riesgo de perjudicar las actividades.



Bibliografía

- Ahsan, K., 2006. RFID Components , Applications and System Integration with Healthcare Perspective. In InTech.
- Amini, M. et al., 2007. Simulation Modeling and Analysis: A Collateral Application and Exposition of RFID Technology. *Production and Operations Management*, 16(5), pp.586–598.
- Anderson, D., Sweeney, D. & Williams, T., 2008. *Estadística para administracion y economia*. 10a. edici. Cengage Learning, ed., Thomson/Southwestern.
- ANSI/IEEE, 2010. IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frecuency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz. *American National Standards Institute and the Institute of Electrical and Electronics Engineers*.
- Banks, J., 1999. DISCRETE EVENT SIMULATION. *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*, pp.7–13.
- Banks, J. et al., 2005. *Discrete-Event System Simulation* Fourth Edi., Pearson Prentice Hall.
- Benelli, G., Parrino, S. & Pozzebon, A., 2010. RFID Applications for Sanitary Environments. In *Sustainable Radio Frequency Identification Solutions*. InTech.
- Booth, P., Frisch, P.H. & Miodownik, S., 2006. Application of RFID in an integrated healthcare environment. *Conference proceedings : ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Conference*, 1, pp.117–9.
- Brenner, S. et al., 2010. Modeling and analysis of the emergency department at University of Kentucky Chandler Hospital using simulations. *Journal of emergency nursing: JEN: official publication of the Emergency Department Nurses Association*, 36(4), pp.303–10.
- Cabrera, E. et al., 2011. Optimization of Healthcare Emergency Departments by Agent-Based Simulation. *Procedia Computer Science*, 4, pp.1880–1889.

- CENELEC, 2003. Active implantable medical devices Part 2-1: Particular requirements for active implantable medical devices intended to treat bradyarrhythmia (cardiac pacemakers). , 3.
- Duguay, C. & Chetouane, F., 2007. Modeling and Improving Emergency Department Systems using Discrete Event Simulation. *Society for modeling and simulation international*, 83(4), pp.311–320.
- Edelheim, J., 2007. Effective Use of Simulations in Hospitality Management Education - A Case Study. *The Journal of Hospitality Leisure Sport and Tourism*, 6(1), pp.18–28.
- Fuhrer, P. & Guinard, D., 2006. Building a Smart Hospital using RFID technologies. *stEuropean Conference on eHealth (ECEH06), Fribourg, Switzerland, October*.
- Hillier & Lieberma, 2001. *Introduction to Operations Research* Seventh ed., Mc Graw- Hill.
- Ingalls, R.G., 2011. Introduction to Simulation. *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference*, pp.1379–1393.
- Jun, J., Jacobson, S. & Swisher, J., 1999. Application of discrete-event simulation in health care clinics : A survey. *Palgrave Macmillan Journals on behalf of the Operational Research Society*, 50(2), pp.109–123.
- Khan, M.A., Sharma, M. & R, B.P., 2009. A Survey of RFID Tags. , 1(4), pp.4–7.
- Komashie, A. & Mousavi, A., 2005. Modeling emergency departments using discrete event simulation techniques. *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*, pp.2681–2685.
- Law, A., 2003. How to conduct a successful simulation study. *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, pp.66–70.
- Law, A. & Kelton, D., 2000. *Simulation Modeling and Analysis* McGraw-Hil. E. Munson, ed., Thomas Casson.
- Levin, R. et al., 2004. *Estadística para administración y economía*. Séptima Ed. P. Educación, ed., Mexico.

- Maria, A., 1997. Introduction to Modeling and Simulation. *Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference*, pp.7–13.
- Ministerio de Sanidad y Política Social, 2010. Unidades de Urgencias Hospitalarias. Estándares y recomendaciones. , p.16.
- Mukhopadhyay, S.K., Zhu, X. & Kurata, H., 2012. A review of RFID technology and its managerial applications in different industries. *Journal of Engineering and Technology Management*, 29(1), pp.152–167.
- Najera, P., Lopez, J. & Roman, R., 2011. Real-time location and inpatient care systems based on passive RFID. *Journal of Network and Computer Applications*, 34(3), pp.980–989.
- Navarro, M., 2009. Protocolo de priorización de demanda o rac: recepción, acogida y categorización. , 2, pp.1–35.
- OMS, 2007. Children's EMF Research Agenda. *World Health Organization*, pp.1–9. Available at: <http://www.who.int/peh-emf/research/children/en/>.
- OMS, 2013. Temas de salud “Envejecimiento”. *World Health Organization*. Available at: <http://www.who.int/topics/ageing/es/>.
- OPS/OMS, 2010. *Manual para la implementación de un sistema de triaje para los usuarios de urgencias*, Washington, DC.
- Piramuthu, S. et al., 2011. Adaptive knowledge-based system for health care applications with RFID-generated information. *Decision Support Systems*, 51(1), pp.198–207.
- Piramuthu, S. & Zhou, W., 2010. Framework, strategy and evaluation of health care processes with RFID. *Decision Support Systems*, 50(1), pp.222–233.
- Poblete, R., 2011. Atención de urgencia: ¿espera razonable? - Red Salud UC. Available at: <http://redsalud.uc.cl/link.cgi/VidaSaludable/PalabradeDoctor/4212>.
- Rockwell software, 2005. *Arena User 's Guide*. , (October).
- Ruohonen, T., 2006. Simulation model for improving the operation of the emergency department of special health care. *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference*, pp.453–458.

- Samaha, S., Starks, D.W. & Armel, W.S., 2003. The use of simulation to reduce the length of stay in an emergency department. *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, pp.1907–1911.
- Saunders, C., Makens, P. & Leblanc, L., 1989. Modeling emergency department operations using advanced computer simulation systems. *Annals of emergency medicine*, 18(2), pp.134–140.
- Tay, L. & Becerra, A., 2011. Ley de urgencia y riesgo vital. *Revista Medica Clinica las Condes*, 22(5), pp.585–591.
- Thayanathan, V. & Alzahrani, A., 2012. RFID-based Body Sensors for e-Health Systems and Communications. *The Fourth International Conference on eHealth, Telemedicine, and Social Medicine*, (c), pp.237–242.
- Van der Togt, R. et al., 2008. Electromagnetic interference from radio frequency identification inducing potentially hazardous incidents in critical care medical equipment. *JAMA : the journal of the American Medical Association*, 299(24), pp.2884–90.
- Tzeng, S.-F., Chen, W.-H. & Pai, F.-Y., 2008. Evaluating the business value of RFID: Evidence from five case studies. *International Journal of Production Economics*, 112(2), pp.601–613.
- Wiler, J.L. et al., 2010. Optimizing emergency department front-end operations. *Annals of emergency medicine*, 55(2), pp.142–160.e1.
- Wynter, S. a. & Ivy, J.E., 2009. Simulating public health emergency response: A case study of the 2004 North Carolina State Fair E. Coli Outbreak. *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference (WSC)*, pp.1957–1968.
- Yeh, J. & Lin, W., 2007. Using simulation technique and genetic algorithm to improve the quality care of a hospital emergency department. , 32, pp.1073–1083.

Anexo A

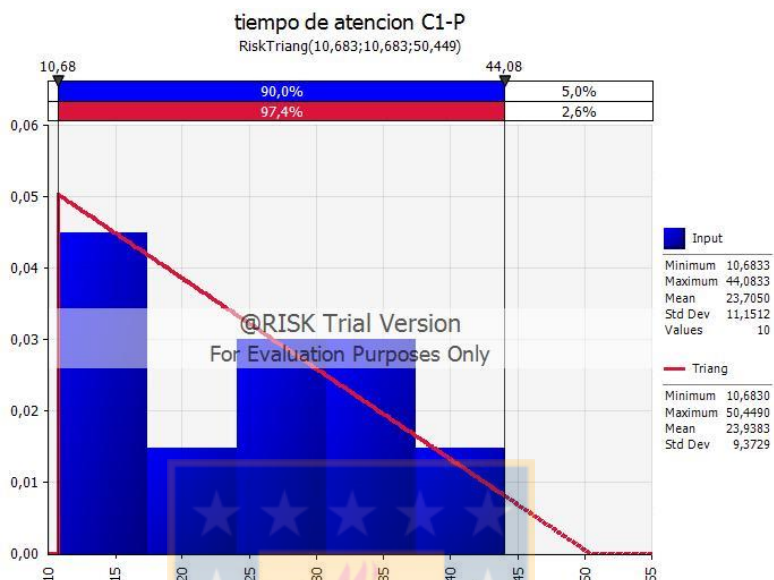


Figura 3.11: Distribución de probabilidad del tiempo de atención de la clase C1-P

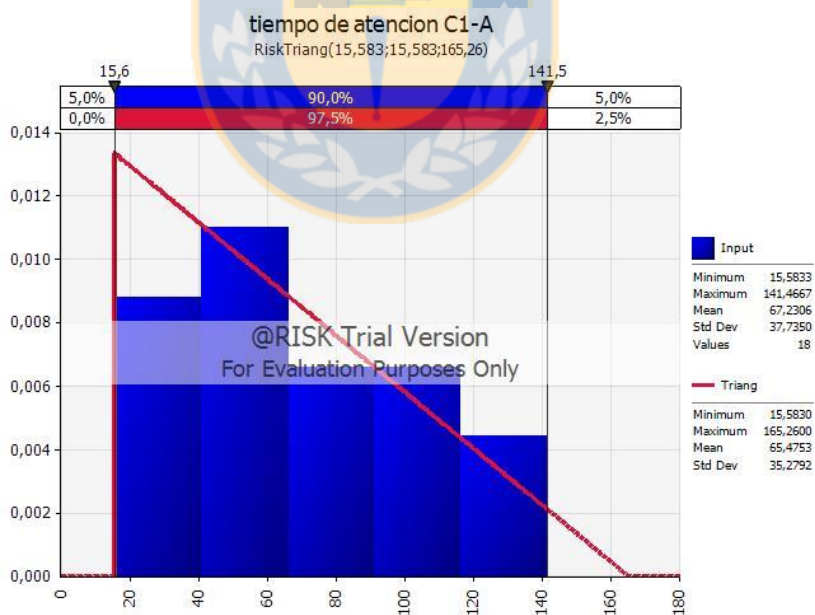


Figura 3.12: Distribución de probabilidad del tiempo de atención de la clase C1-A

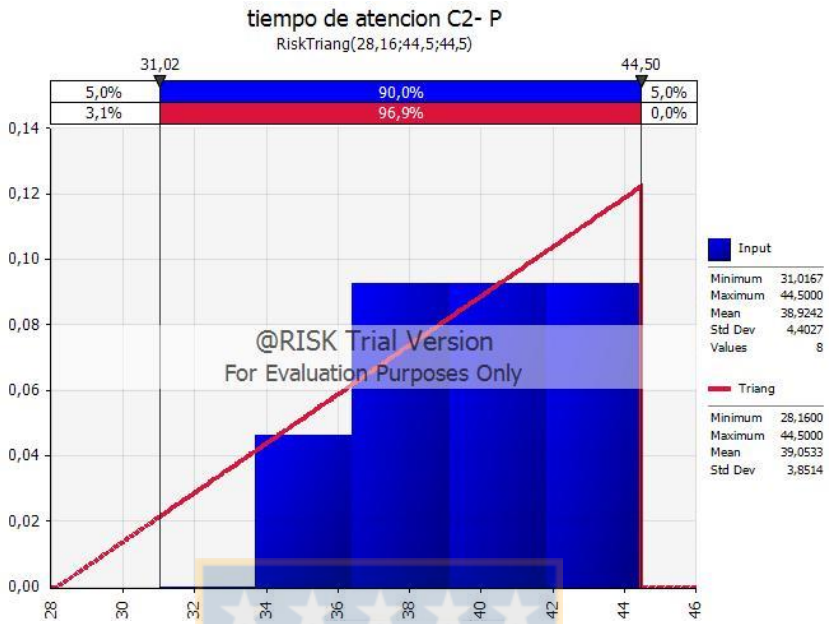


Figura 3.13: Distribución de probabilidad del tiempo de atención de la clase C2-P

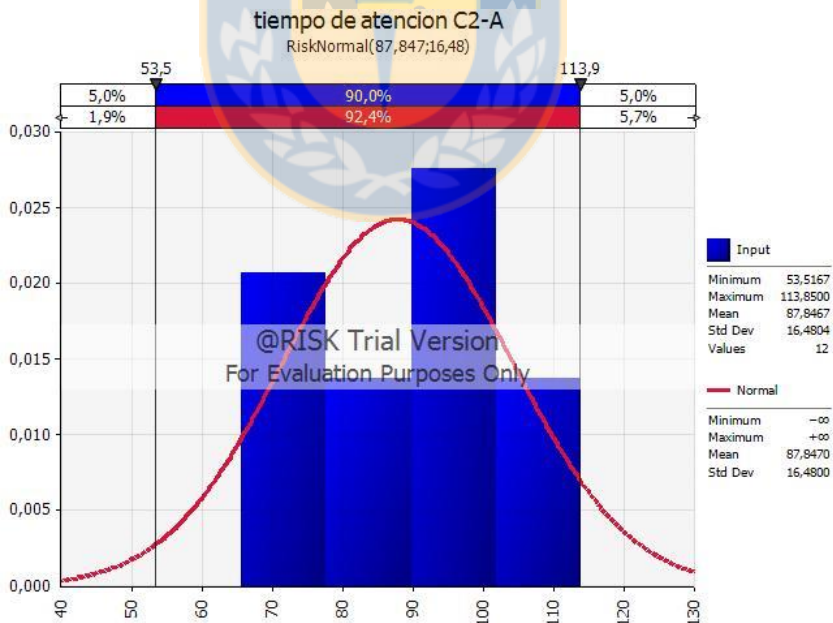


Figura 3.14: Distribución de probabilidad del tiempo de atención de la clase C2-A

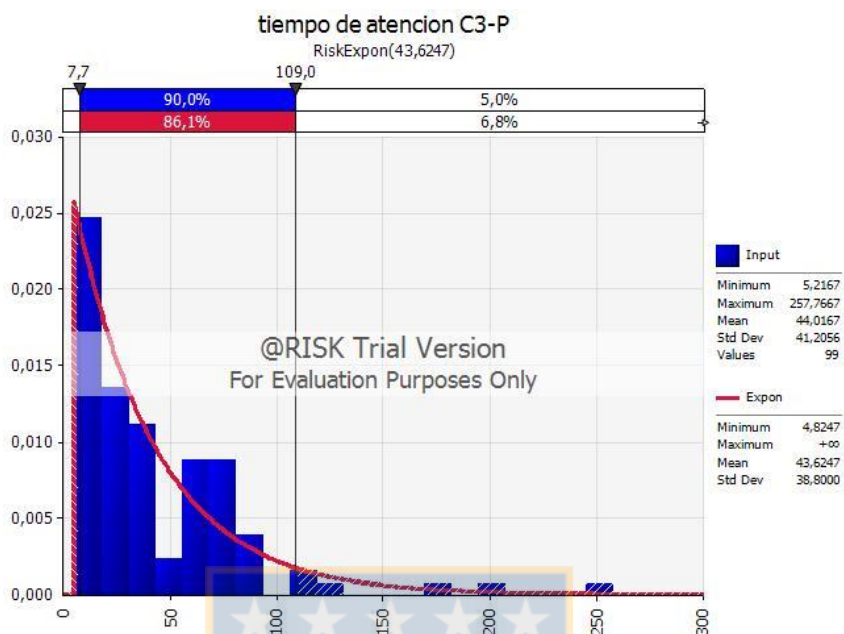


Figura 3.15: Distribución de probabilidad del tiempo de atención de la clase C3-P

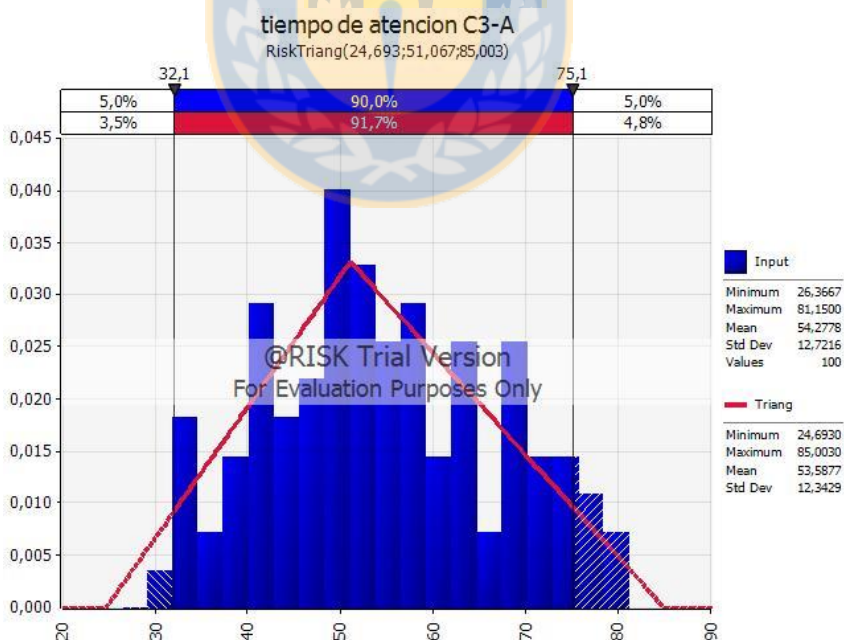


Figura 3.16: Distribución de probabilidad del tiempo de atención de la clase C3-A

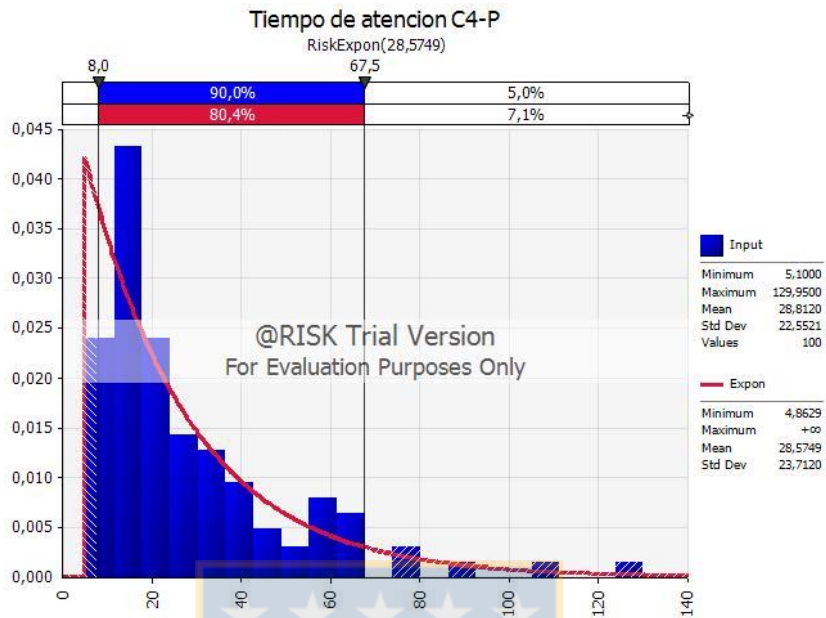


Figura 3.17: Distribución de probabilidad del tiempo de atención de la clase C4-P

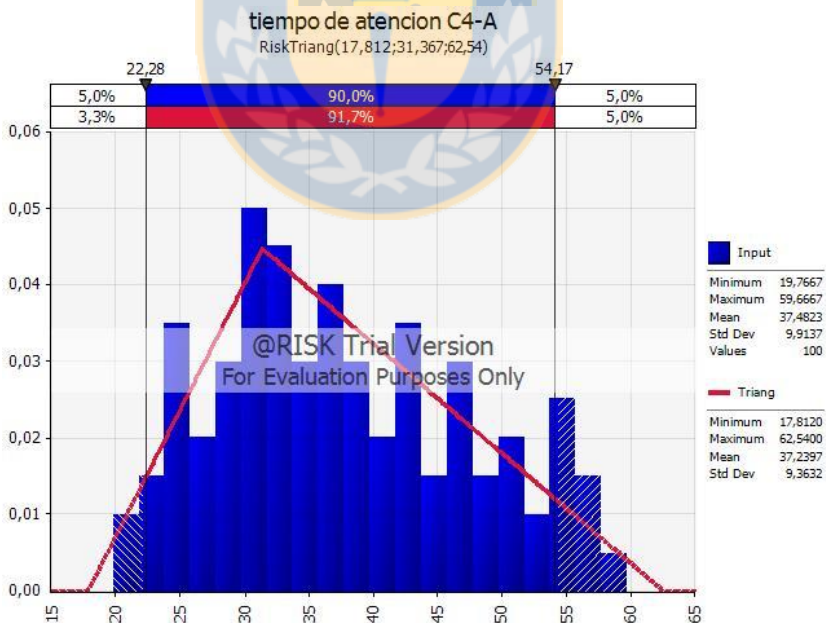


Figura 3.18: Distribución de probabilidad del tiempo de atención de la clase C4-A

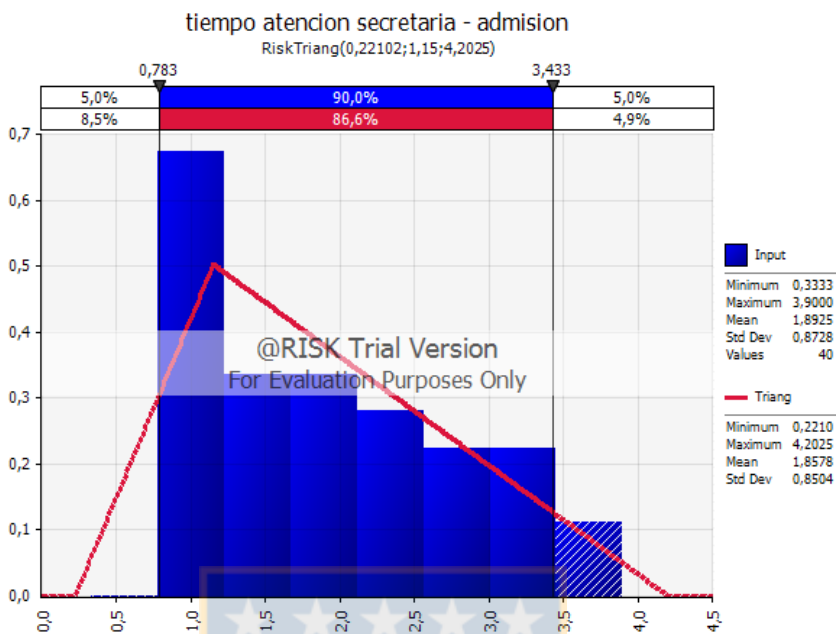


Figura 3.19: Distribución de probabilidad del tiempo de atención en secretaria (admisión)

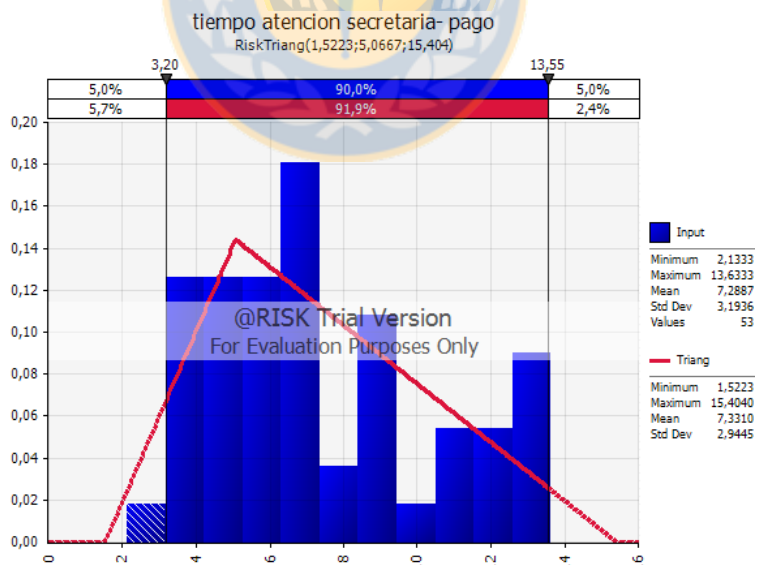


Figura 3.20: Distribución de probabilidad del tiempo de atención en secretaria (pago prestación)