

# PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

## FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD  
CATÓLICA**  
DEL PERÚ

### Diagnóstico y Mejora para el servicio de atención en el área de Emergencias de un hospital público

Tesis para optar por el Título de **Ingeniero Industrial** que presenta el bachiller:

**Iván Alfredo Salazar Morales**

**Asesor: Mg. Eduardo Carbajal López**

Lima, Mayo 2014

## Resumen

En el presente trabajo se describe las etapas de análisis, diagnóstico, propuesta de mejora de proceso, desarrollo de la propuesta de mejora y, finalmente, los resultados obtenidos del proceso de atención de los pacientes en el área de emergencias de un hospital público, en el cual se buscó de reducir los tiempos de espera en cola; debido a que este es uno de los principales problemas que se muestran frecuentemente en instituciones de atención de salud. El uso de la simulación de eventos discretos, la cual fue determinada como la mejor alternativa para solucionar la problemática, permitió desarrollar un modelo que representa la realidad de los procesos de atención de los pacientes en las diversas estaciones del área de emergencia, así como el flujo de personas a lo largo del área, con el fin de encontrar aquellas estaciones, y los sub procesos asociados, en donde se generan mayores tiempos de espera y, mediante la aplicación de la mejora propuesta, reducirlas. La mejora de procesos debe ser factible, tanto técnica como económica, ya que busca el perfeccionamiento de una empresa y del desempeño de sus procesos. En el análisis de datos se trabajó con data obtenida de la medición de tiempos hecha y de los registros previos que la institución misma poseía, cuanto más precisa sea esta medición más beneficiosa será para la toma de decisiones; debido a que, lo que se busca con esta es encontrar una función estadística que represente adecuadamente los tiempos de los procesos involucrados, de modo que los datos de salida obtenidos del modelo simulado reflejen correctamente la realidad. El modelo de simulación debe representar al más mínimo detalle el flujo del proceso en la realidad, tomando en cuenta todas las variables externas que alteren al sistema. Una vez terminada la modelación del sistema, se deben validar los datos de salida obtenidos del modelo, con lo que se sustentará la validez del modelo. Para esta validación, se debe demostrar que los datos de salida se encuentran dentro de los intervalos de confianza definidos, además de presentar condiciones que permitan truncar periodos de calentamiento. Una vez validados los resultados, se generó un modelo de optimización el cual contiene restricciones de operación y una función objetivo de minimización de tiempos en el hospital. Este resultado, generó un descenso de 43% sobre el tiempo total de espera inicial; adicionalmente, se evaluó económicamente los factores implicados al logro de este resultado obteniendo un valor presente neto de S/. 967'541.83 y una Tasa Interna de Retorno del 47.133%, demostrando así la viabilidad de la propuesta obtenida.

## Índice General

Índice de Tablas	iv
Índice de Gráficos	v
Introducción	1
Capítulo 1: Marco Teórico	2
1.1 Conceptos Estadísticos	2
1.1.1 Población y Muestra	2
1.1.2 Media muestral, Varianza muestral y Proporción esperada	3
1.1.3 Pruebas de Hipótesis	4
1.1.4 Intervalos de Confianza	5
1.1.5 Variables Aleatorias	5
1.2 Análisis de datos de entrada	9
1.2.1 Muestreo Aleatorio Simple	9
1.2.2 Pruebas de Bondad de Ajuste	10
1.3 Análisis de datos de salida	13
1.3.1 Validación de resultados	13
1.3.2 Análisis de resultados	14
1.4 Simulación de Eventos Discretos	15
1.4.1 Definición	16
1.4.2 Definiciones	18
1.4.3 Supuestos	20
1.4.4 Software	21
1.5 Definición del Sistema: Área de Emergencias	25
Capítulo 2: Descripción y Diagnóstico	27
2.1 Descripción de la empresa	27
2.1.1 La Organización	28
2.1.2 Sector y Actividad Económica	29
2.1.3 Perfil Empresarial y principios organizacionales	30
2.1.4 Instalaciones y medios operativos	32
2.1.5 Recursos	33
2.1.6 El Servicio	33
2.2 Diagnóstico del Servicio	34
2.2.1 Mapa de Macro procesos	34
2.2.2 Procesos de Nivel 2 y 3	34
2.2.3 Indicadores del proceso principal	37
2.2.4 Matriz de Identificación de los problemas	39

2.2.5 Priorización y Selección del problema	40
2.2.6 Identificación de causas	40
2.2.7 Selección de causa raíz	41
2.2.8 Contramedidas	42
Capítulo 3: Desarrollo del modelo	47
3.1 Definición del Sistema de Colas	47
3.2 Identificación de Entidades, Atributos, Recursos, Estaciones y colas	48
3.3 Supuestos	51
3.4 Descripción del modelo	52
Capítulo 4: Análisis de datos	61
4.1 Recopilación de datos	61
4.1.1 Determinación de datos	61
4.1.2 Clasificación de datos	62
4.2 Tamaño de muestra	63
4.2.1 Estimación de la media	65
4.2.2 Estimación de la proporción	66
4.3 Pruebas de bondad de ajuste	67
4.4 Resumen de Variables Aleatorias	69
Capítulo 5: Análisis y Validación de Resultados	71
5.1 Análisis de Resultados	71
5.1.1 Definición del Sistema	71
5.1.2 Análisis del Estado Estable	74
5.1.3 Cálculo de la Longitud de Réplica	76
5.2 Validación de Resultados	77
5.2.1 Prueba de Hipótesis t-student	77
Capítulo 6: Propuestas de mejora	79
6.1 Definición de Controls	79
6.2 Definición de Responses	81
6.3 Restricciones	82
6.4 Objetivo	82
6.5 Resultados	82
Capítulo 7: Evaluación Técnica y Económica	84
7.1 Evaluación Técnica	84
7.2 Evaluación Económica	85
7.2.1 Inversión	85
7.2.2 Costos	86
7.2.3 Ingresos	86

7.2.4 Costo promedio ponderado del capital (WACC)	88
7.2.5 Indicadores Financieros (VAN, TIR)	89
Capítulo 8: Conclusiones y Recomendaciones	91
8.1 Conclusiones	92
8.2 Recomendaciones	92
Referencias Bibliográficas	93



## Índice de Tablas

Tabla 1: Resultados de las pruebas de Hipótesis	3
Tabla 2: Distribuciones de variables discretas	5
Tabla 3: Distribuciones de variables continuas	6
Tabla 4: Matriz de Identificación de los problemas	37
Tabla 5: Matriz de riesgo-impacto	39
Tabla 6: Matriz FACTIS	43
Tabla 7: Clasificación de datos	56
Tabla 8: Matriz de cálculos ANOVA	56
Tabla 9: Cálculo del estadístico F para las pruebas de hipótesis	57
Tabla 10: Cálculo de los tamaños de muestra, Variables Aleatorias	59
Tabla 11: Cálculo de tamaños de muestra, probabilidades	60
Tabla 12: Cuadro resumen de las Variables Aleatorias	62
Tabla 13: Resultados de corrida del Caso 1	65
Tabla 14: Resultados de corrida del Caso 2	65
Tabla 15: Resultados de corrida del Caso 3	65
Tabla 16: Resultados de corrida del Caso 4	66
Tabla 17: Cálculo de la Longitud de Réplica del modelo	69
Tabla 18: Resumen de pruebas t-student realizadas	71
Tabla 19: Rango de variación de los controls utilizados	73
Tabla 20: Resumen de responses utilizados	74
Tabla 21: Resultados obtenidos del Optquest	76
Tabla 22: Reducción de los tiempos máximos de espera en el sistema	77
Tabla 23: Resumen de la inversión	78
Tabla 24: Resumen de costos incurridos por personal adicional	79
Tabla 25: Tabla de ingresos obtenidos en el hospital por estación	80
Tabla 26: Ingresos relevantes del flujo de caja	80
Tabla 27: Datos para la estimación del COK	81
Tabla 28: Tabla de Resultados del flujo de caja	83



## Índice de Gráficos

Figura 1: Diagrama de Flujo de la simulación de eventos discretos	16
Figura 2: Organigrama de la Dirección de Salud de la PNP	27
Figura 3: Mapa de Macroprocesos de la empresa	33
Figura 4: Mapa de procesos de nivel 2 “Atención de Salud”	34
Figura 5: Flujograma de la atención del paciente en el área de emergencias	35
Figura 6: Diagrama de Ishikawa	38
Figura 7: Modelo del proceso de evaluación en Triage	49
Figura 8: Modelo del proceso de realizar la historia clínica en ventanilla	50
Figura 9: Modelo del proceso de atención en clasificación	51
Figura 10: Modelo del proceso de atención en laboratorio	52
Figura 11: Modelo del proceso de atención en Inscripción Rayos X	52
Figura 12: Modelo del proceso de atención en Rayos X	52
Figura 13: Modelo del proceso de atención por Interconsulta	52
Figura 14: Modelo del proceso de atención en Shock Trauma	53
Figura 15: Modelo del proceso de hospitalización	53
Figura 16: Modelo de atención en Farmacia	53
Figura 17: Prueba de Bondad de Ajuste del tiempo de atención en Triage	61
Figura 18: Fit All Summary de la variable tiempo de atención en Triage	62
Figura 19: Ploteo de TAVG espera en cola triaje	67
Figura 20: Truncamiento del periodo de calentamiento	67
Figura 21: Correlograma del periodo estable	67
Figura 22: Truncamiento con la cantidad de batches obtenidos	68
Figura 23: Intervalo de confianza de la variable TAVG espera en cola Triage	68
Figura 24: Controls utilizados en Optquest	73
Figura 25: Responses utilizados en OptQuest	74
Figura 26: Restricciones aplicadas a la optimización del modelo	75
Figura 27: Objetivo a trabajar en OptQuest	75
Figura 28: Soluciones óptimas obtenidas del OptQuest	76
Figura 29: Flujo de caja del proyecto	82

## Introducción

En esta tesis se realizará la evaluación del área de emergencias de un hospital público, proponiendo una mejora para reducir los tiempos de espera en cada estación comprendida por el área de emergencias.

El primer capítulo detallará la definición de todas las herramientas, estadísticas y de simulación, que serán utilizadas a lo largo de la elaboración del presente trabajo.

En el segundo capítulo, se describirá el sistema a analizar y se utilizarán herramientas de calidad para determinar la causa que mayor impacto tiene al momento de generar el problema de las largas esperas en cola para ser atendido en las estaciones del área de emergencias.

En los capítulos siguientes, se definirá el modelamiento del sistema, el análisis de los datos de entrada del sistema, así como las pruebas de bondad de ajuste necesarias, la validación de los datos de salida para la sustentación de que el sistema está representando correctamente la realidad. Asimismo, una vez obtenido el sustento para afirmar que el modelo está correctamente estructurado, se realizará la optimización del sistema y evaluando esta alternativa obtenida tanto técnica, reducción efectiva de tiempos dentro del sistema; como económica, para analizar la viabilidad de la implementación de las mejoras en el sistema.

Finalmente se presentarán las conclusiones y recomendaciones obtenidas del desarrollo del trabajo.



## Capítulo 1: Marco Teórico

En el presente capítulo se detallarán todas las herramientas utilizadas en el desarrollo del presente trabajo, desde los conceptos estadísticos asociados hasta las herramientas y conceptos del software con el que se trabajará.

### 1.1 Conceptos Estadísticos

Las herramientas estadísticas son parte esencial en la elaboración de soluciones mediante la mejora de procesos, por ello es necesario definir tanto las herramientas utilizadas para el presente trabajo de investigación como la terminología de cada herramienta ya sean población, muestra, variables aleatorias, etc. En primer lugar, se procederá a detallar los términos estadísticos para posteriormente ser utilizados en la descripción de la herramienta y la manera en que se va a utilizar para el desarrollo de la mejora de procesos como solución en el trabajo.

#### 1.1.1 Población y Muestra

##### a) Población

Se define como población a un conjunto, ya sea finita o infinita, de personas u objetos que presentan características comunes.

Según Wilks (1962):

*"Una población es un conjunto de todos los elementos que estamos estudiando, acerca de los cuales intentamos sacar conclusiones"*

Una población puede ser finita o infinita dependiendo el número de elementos que la constituyen. En caso de que la cantidad de la población es demasiado grande, podemos considerar a esta como infinita; por otro lado, si la cantidad de elementos es un número limitado entonces la población será considerada finita.

##### b) Muestra

Una muestra es definida como una representación significativa de las características de una población.

"En términos matemáticos, dada una variable aleatoria  $X$  con una distribución de probabilidad  $F$ , una muestra aleatoria de tamaño  $N$  es un conjunto finito de  $N$  variables independientes, con la misma distribución de probabilidad  $F$ "<sup>6</sup>

Estas son obtenidas con la intención de determinar propiedades significativas de la población y realizar un estudio referente a la misma con un grupo reducido.

### 1.1.2 Media muestral, Varianza muestral y Proporción esperada

#### a) Media muestral

Según Córdova (2006):

“La media o valor esperado, denotado por  $\mu$ , de una variable aleatoria es el valor promedio de los posibles valores de  $X$ ”.

Se denomina media muestral pues es el valor esperado de la muestra tomada a partir de una población.

El cálculo de la media muestral se realiza como:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{N}$$

Donde:  $X_i$ : muestra  $i$ -ésima

$N$ : cantidad total de datos de la muestra

#### b) Varianza muestral

Según Córdova (2006):

La varianza, de cualquier variable aleatoria  $X$ , es definida como las medidas de la dispersión de todos los posibles valores de la variable aleatoria con respecto a su media aritmética. Es denotada por  $\sigma^2$ .

La varianza muestral se calcula como:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2$$

#### c) Proporción esperada

La proporción esperada de un dato estadístico es el número de veces que se presenta ese dato respecto al total de datos. Se denota con el símbolo  $p$ .

La proporción esperada de un dato se calcula como:

$$p = \frac{\sum X_i}{n}, X_i = 0,1$$

### 1.1.3 Pruebas de Hipótesis

Según Altiok (2007):

“Las pruebas de hipótesis son una herramienta para juzgar si una propiedad que se supone en una población estadística es compatible con lo observado en una muestra de dicha población. El modelador formula dos hipótesis complementarias, llamadas hipótesis nula (denotada por  $H_0$ ) y la hipótesis alterna (denotada por  $H_1$ ). Una decisión es generalmente aplicada a la hipótesis nula, la cual se aceptará o rechazará dependiendo de los resultados de la prueba.”

En una prueba de hipótesis, el modelador puede cometer dos errores (Error tipo I y Error tipo II), como se aprecia en la Tabla 1.

Tabla 1: Resultados de las pruebas de hipótesis  
Elaboración propia

	$H_0$ es cierta	$H_0$ es falsa
No se rechaza $H_0$	No hay error	Error tipo II
Se rechaza $H_0$	Error tipo I	No hay error

#### a) Error tipo I

Es la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando esta es cierta. Se denota de la siguiente manera:

$$P(\text{rechazar } H_0 / H_0 \text{ es cierta}) = \alpha$$

#### b) Error tipo II

Es la probabilidad de aceptar la hipótesis nula cuando esta es falsa. Se denota de la siguiente manera:

$$P(\text{no rechazar } H_0 / H_0 \text{ es falsa}) = \beta$$

Cuando se realiza una prueba de hipótesis, es ideal hacerlo de tal forma que las probabilidades de cometer ambos tipos de errores sean lo más pequeñas posibles. Sin embargo, la reducción del error tipo I,  $\alpha$ , conlleva al aumento de la probabilidad de cometer el error tipo II,  $\beta$ .

Generalmente, las pruebas de hipótesis se diseñan considerando un  $\alpha$ , definido como el nivel de confianza al cual se trabajará la prueba de hipótesis, de 1%, 5% o 10% para adoptar condiciones más relajadas o más estrictas. El recurso para

disminuir el error tipo II,  $\beta$ , es el aumento del tamaño muestral, lo que en la realidad origina un aumento del costo incurrido para realizar el estudio.

#### 1.1.4 Intervalos de Confianza

Según Fisher (1967):

“En estadística, se llama intervalo de confianza a un par o varios pares de números entre los cuales se estima que estará cierto valor desconocido con una determinada probabilidad de acierto. Estos números determinan un intervalo, que se calcula a partir de datos de una muestra, y el valor desconocido es un parámetro poblacional como la media o la proporción. La probabilidad de éxito en la estimación se representa con  $1 - \alpha$  y se denomina *nivel de confianza*. En estos casos,  $\alpha$  es *nivel de significación*, esto es, una medida de las posibilidades de fallar en la estimación mediante tal intervalo.”

El nivel de confianza y la amplitud del intervalo varían conjuntamente, de forma que un intervalo más amplio tendrá más posibilidades de acierto (mayor nivel de confianza), mientras que para un intervalo más pequeño, que ofrece una estimación más precisa, aumentan sus posibilidades de error. El intervalo de confianza se construye mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$IC = \left[ \bar{x} \pm t_{(1-\alpha/2; n-1)} * \frac{S_x}{\sqrt{n}} \right]$$

#### 1.1.5 Variables Aleatorias

Según Córdova (2006):

“La variable aleatoria se denomina como una variable estadística cuantitativa definida en un espacio muestral  $\Omega$ .”

Es decir, una variable aleatoria  $X$  es una función que permite cuantificar todos los posibles valores obtenidos de un experimento aleatorio cualquiera. Esta variable puede ser discreta o continua.

##### a) Variable Discreta

El rango de valores de la variable aleatoria discreta es finito o infinito numerable. Representa datos que se obtienen de contar un determinado número de elementos. Las variables discretas se pueden clasificar mediante las siguientes distribuciones en la Tabla 2:

Tabla 2: Distribuciones de variables discretas  
 Fuente: Córdova (2006)

Distribución	Función de densidad	Media ( $\mu$ )	Varianza ( $\sigma^2$ )	Notación
Binomial	$f(x) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}$	$np$	$np(1-p)$	$X \sim B(n,p)$
Geométrica	$P(X=x) = (1-p)^{x-1} p$	$\frac{1}{p}$	$\frac{q}{p^2}$	$X \sim G(p)$
Poisson	$f(k, \lambda) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^k}{k!}$	$\lambda$	$\lambda$	$X \sim P(\lambda)$

### b) Variable Continua

El rango de valores de la variable aleatoria continua es un intervalo en la recta real. Representa mediciones como por ejemplo: tiempo, peso, longitud, distancia, unidades monetarias, etc. Las variables continuas se pueden clasificar mediante las siguientes distribuciones en la Tabla 3:

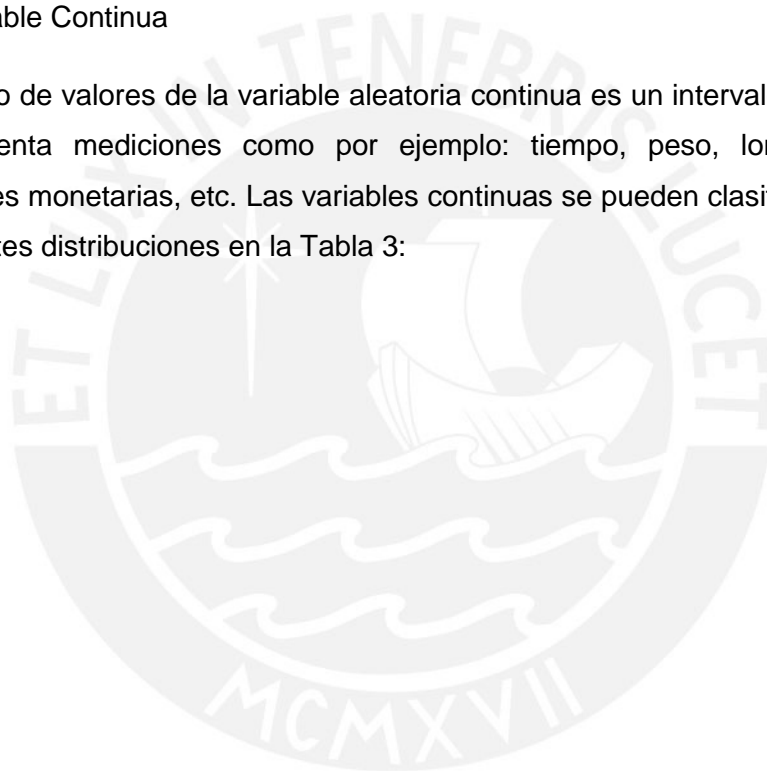


Tabla 3: Distribuciones de Variables continuas.  
Fuente: Córdova (2006)

Distribución	Función de densidad	Media	Varianza	Notación
Uniforme	$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}, & \text{para } a \leq x \leq b \\ 0, & \text{para } x < a \text{ o } x > b \end{cases}$	$\frac{a+b}{2}$	$\frac{(b-a)^2}{12}$	$X \sim B(n,p)$
Triangular	$f(x a,b,c) = \begin{cases} \frac{2(x-a)}{(b-a)(c-a)}, & \text{para } a \leq x \leq c \\ \frac{2(b-x)}{(b-a)(b-c)}, & \text{para } c \leq x \leq b \\ 0, & \text{para otros casos} \end{cases}$	$\frac{a+b+c}{3}$	$\frac{a^2 + b^2 + c^2 - ab - ac - bc}{18}$	$X \sim \text{Tria}(a,b,c)$
Exponencial	$f(x) = \begin{cases} \beta e^{-\beta x}, & \text{para } x > 0 \\ 0, & \text{para } x \leq 0 \end{cases}$	$\frac{1}{\beta}$	$\frac{1}{\beta^2}$	$X \sim \text{Exp}(\beta)$
Normal	$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}, x \in \mathbb{R}$	$\mu$	$\sigma^2$	$X \sim N(\mu, \sigma^2)$
Log – normal	$f(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}}$	$e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}$	$e^{2\mu + \sigma^2} (e^{\sigma^2} - 1)$	$X \sim \text{Ln}(\mu, \sigma^2)$
Gamma	$f(x) = \begin{cases} \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\beta x}, & \text{para } x \geq 0 \\ 0, & \text{para } x < 0 \end{cases}$	$\frac{\alpha}{\beta}$	$\frac{\alpha}{\beta^2}$	$X \sim \Gamma(\alpha, \beta)$



t-student	$f(t) = \frac{\Gamma\left[\frac{(r+1)}{2}\right]}{\Gamma\left(\frac{r}{2}\right)\sqrt{r\pi}} \left(1 + \frac{t^2}{r}\right)^{-\frac{r+1}{2}}, -\infty < t < \infty$	0	$\frac{r}{r-2}, r > 2$	$X \sim T(r)$
Beta	$f(x) = \frac{\Gamma(\alpha+\beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1}, 0 \leq x \leq 1,$ $\alpha > 0, \beta > 0$	$\frac{\alpha}{\alpha + \beta}$	$\frac{\alpha\beta}{(\alpha + \beta)^2(\alpha + \beta + 1)}$	$X \sim \text{Beta}(\alpha, \beta)$
Weibull	$f(x) = \begin{cases} \alpha\beta x^{\alpha-1} e^{-\beta x^\alpha}, & \text{para } x \geq 0 \\ 0, & \text{para casos contrarios} \end{cases}$	$\frac{\Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)}{\beta^{\frac{1}{\alpha}}}$	$\frac{\Gamma\left(1 + \frac{2}{\alpha}\right) - \left[\Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)\right]^2}{\beta^{\frac{2}{\alpha}}}$	$X \sim W(\alpha, \beta)$

## 1.2 Análisis de datos de entrada

Los datos recolectados además de ser procesados a través de un filtro para determinar los que son relevantes para desarrollar el modelo, se debe realizar un análisis sobre la cantidad de datos a utilizar y la distribución a las que estos se ajustan para poder ser trabajados en el modelo.

El primero paso a realizar, determinar el tamaño adecuado de los datos recolectados es el muestreo aleatorio simple, esto se hace con el fin de, posteriormente, ser trabajados con las pruebas de bondad de ajuste para determinar que distribuciones estadísticas se ajustan mejor a las diferentes muestras y poder trabajarlas en el modelo de simulación.

### 1.2.1 Muestreo Aleatorio Simple

Según Córdova (2006):

“El muestreo aleatorio simple consiste en la selección de las muestras mediante métodos que permitan a cada muestra la posibilidad de ser escogida y cada elemento de la población presenta la misma probabilidad de ser incluido en la muestra.”

Para conocer el tamaño de la muestra, se seguirá el método de muestreo para: Estimación de la media y Estimación de la proporción.

#### a) Estimación de la media

Para calcular el tamaño de la muestra con la estimación de la media, se deben seguir los siguientes pasos:

1. Tomar una muestra piloto con una cantidad igual o superior a 30 datos.
2. Calcular la media ( $\mu$ ) y la varianza muestral ( $\sigma^2$ )
3. Calcular el tamaño de la muestra con la siguiente fórmula:

$$n_o = \frac{(Z_{(1-\alpha/2)})^2 s^2}{d^2}$$

Donde:  $n_o$ : tamaño de muestra con población infinita

$d$ : error muestral de estimación

Si no se conoce el valor de  $d$ , entonces usar  $d = \mu^* e$

$e$ : error porcentual, debe ser menor a 5%

4. Corregir el tamaño de muestra anterior utilizando:

$$n^* = \frac{n_o}{1 + \frac{n_o}{N}}$$

b) Estimación de la proporción

Para el cálculo de la muestra con la estimación de la proporción, se seguirán los siguientes pasos:

1. Tomar una muestra piloto con una cantidad igual o superior a 30 datos.
2. Calcular la media ( $\mu$ ) y la varianza muestral ( $\sigma^2$ )
3. Calcular el tamaño de la muestra con la siguiente fórmula:

$$n_o = \frac{(Z_{1-\frac{\alpha}{2}})^2 p(1-p)}{e^2}$$

Donde:  $n_o$ : tamaño de muestra con población infinita

$e$ : error porcentual, debe ser menor a 5%

4. Corregir el tamaño de muestra anterior utilizando:

$$n^* = \frac{n_o}{1 + \frac{n_o - 1}{N}}$$

### 1.2.2 Pruebas de Bondad de Ajuste

La prueba de bondad de ajuste se aplica en diseños de investigación en los que se estudia a un único grupo. Estas pruebas permiten verificar si la población de la cual proviene la muestra tiene una distribución específica o supuesta.

Para realizar esta prueba, se plantean las siguientes hipótesis estadísticas:

$$H_0: F_0 = F_e$$

$$H_1: F_0 \neq F_e$$

Donde:  $F_0$  = Distribución observada

$F_e$  = Distribución esperada

Para la simulación de eventos discretos, se utilizan estas pruebas para determinar a qué distribución se acomodan mejor los datos recopilados. Se usan dos tipos de prueba: La prueba Chi Cuadrado y la prueba K-S.

#### a) Prueba Chi Cuadrado

La prueba Chi Cuadrado es utilizada para determinar que tan bien la distribución seleccionada se ajusta a los datos recopilados.

Para utilizar esta prueba se deben cumplir las siguientes condiciones:

- El tamaño de la muestra debe ser mayor a 90 elementos.
- Las variables pueden ser discretas o continuas.

Una vez cumplidas estas condiciones, se procede a seguir los siguientes pasos para realizar la prueba de bondad de ajuste:

Sea  $(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \sim \text{Mul}(n, p_1, p_2, \dots, p_k)$  y sean  $\hat{p}_i$  estimadores de los  $p_i$  obtenidos al estimar  $m$  parámetros desconocidos por el método de máxima verosimilitud. Si  $e_i = n\hat{p}_i \geq 5$ , entonces:

#### 1. Plantear la prueba de Hipótesis

$H_0$ : Los datos se ajustan a la distribución seleccionada

$H_1$ : Los datos no se ajustan a la distribución seleccionada

#### 2. Se calcula el estadístico de prueba

$$W = \sum_{i=1}^k \frac{(X_i - e_i)^2}{e_i} \sim \chi^2(m-k-1)$$

Esto se lee: “El estadístico  $W$  se distribuye Chi Cuadrado con  $m-k-1$  grados de libertad

Donde:  $X_i$ : Frecuencia observada de la categoría  $\hat{p}_i$

$e_i = nP(p_i)$ ; Frecuencia esperada de la categoría  $\hat{p}_i$

$k$ : Número de parámetros estimados en la distribución teórica

$m$ : Número de categorías en que se agrupan los datos

### 3. Establecer un nivel de significancia

$$\alpha = P(\text{Rechazar } H_0 | H_0 \text{ es verdadero})$$

### 4. Establecer la región de rechazo

$$\text{Para } H_0 \text{ vs } H_1 \rightarrow R = \{x/x > X^2_{(1-\alpha, m-k-1)}\}$$

Si el estadístico calculado ( $W$ ) pertenece a la región crítica o región de rechazo, se puede concluir que a un nivel de significancia de  $\alpha$  se rechaza la hipótesis nula.

### b) Prueba K-S

La prueba K-S, al igual que la prueba Chi Cuadrado, se utiliza para determinar el nivel de ajuste de la distribución seleccionada con los datos recopilados.

Para utilizar esta prueba se deben cumplir las siguientes condiciones:

- Las variables deben ser variables aleatorias continuas.
- El número de elementos es indiferente.

Una vez cumplidas estas condiciones, se siguen los siguientes pasos para realizar la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov – Smirnov:

#### 1. Organizar los datos

Para realizar la prueba de bondad de ajuste K-S, primeramente se deben ordenar los datos de manera ascendente y luego construir la función de distribución acumulada,  $\hat{F}_X(x)$  dada por:

$$\hat{F}_X(x) = \frac{\max\{j: x(j) \leq x\}}{N}$$

Así,  $\hat{F}_X(x)$  es solamente la frecuencia relativa de la muestra de observaciones sin exceder  $x$ . Desde el momento en que una distribución de ajuste teórica  $F_X(x)$  es especificada, una medida razonable de bondad de ajuste es la discrepancia absoluta más grande entre  $\hat{F}_X(x)$  y  $F_X(x)$ . El estadístico de la prueba K-S es definido así por:

$$KS = \max\{|\hat{F}_X(x) - F_X(x)|\}$$

Mientras más pequeño es el valor observado del estadístico de la prueba K-S, mejor el ajuste.

En caso de que ambas pruebas rechacen la hipótesis nula, los datos se trabajarán con una distribución empírica.

### 1.3 Análisis de datos de salida

Para definir soluciones de mejora se debe estar en la seguridad de que los resultados obtenidos del sistema son confiables. El primer paso para realizar el análisis de los datos de salida del sistema es especificar si este es terminal (presenta un inicio y un fin definido) o no terminal (no presenta un inicio o un fin definido), ya que dependiendo el tipo de sistema a trabajar, se seguirá un procedimiento u otro al momento de obtener los resultados necesarios para la validación. Luego de obtener los datos de salida, se procede a realizar la validación, el cual consiste en una prueba de hipótesis para determinar si el modelo representa correctamente la realidad o no, como por ejemplo el contraste entre el tiempo de espera en cola de la modelación y la realidad.

#### 1.3.1 Validación de resultados

La validación de resultados es utilizada para corroborar los datos de salida del modelo y afirmar o refutar que el modelo representa correctamente la realidad.

Para validar los datos a la salida del modelo se utilizará la prueba t-student, la cual consiste en comparar el esperado, o media muestral, de los datos reales con los resultados obtenidos del modelo como se ve a continuación:

$$H_0: E(Y) = C$$

$$H_1: E(Y) \neq C$$

Se calcula el estadístico  $t_0$  como  $\frac{[E(Y) - c]}{s\sqrt{n}}$ :

Donde:  $n$ : tamaño de muestra

$s$ : desviación estándar de la muestra, calculada como :  $\sqrt{[\sum \frac{Y_i - E(Y)}{n} - 1]}$

Finalmente se compara el estadístico calculado con el de tablas.

Se rechaza la hipótesis nula si  $t_{calculado} > t_{tablas}$



### 1.3.2 Análisis de resultados

Una vez se ha realizado la corrida del modelo, se proceden a analizar los resultados arrojados por el mismo; para realizar un correcto análisis de los resultados primero hay que definir si el sistema modelado es Terminal o No Terminal. A continuación se detallará la metodología para analizar ambos casos.

#### a) Sistema Terminal

Según Altiok (2007):

“Se considera a un sistema Terminal cuando tiene un tiempo de fin natural para sus réplicas que es inherente en el sistema. En estos modelos, el modelador está interesado en sistemas dinámicos de poca duración y estadísticas con el tiempo de horizonte natural del sistema. Un claro ejemplo de este tipo de sistemas terminales es un banco que abre diariamente a las 8am y cierra a las 4pm. En simulaciones de sistemas terminales, el número de réplicas es el parámetro crítico del análisis de datos de salida asociados, debido a que es el único medio de controlar el tamaño de muestra de cualquier estimador dado. Cabe resaltar que el tamaño de muestra afecta directamente a la varianza del estimador, y consecuentemente, a la precisión estadística.”

Para trabajar los datos de salida de este modelo se realizan los siguientes pasos:

- Obtener los datos de salidas necesarios del modelo mediante el element Outputs
- Calcular el ancho de intervalo con una cantidad de réplicas establecidas con la fórmula:
- $h = t_{(1-\alpha/2; n-1)} * \frac{Sx}{\sqrt{n}}$
- Establecer un ancho de intervalo deseado ( $h^*$ )
- Calcular la cantidad de réplicas necesarias para el ancho de intervalo deseado con la fórmula:
- $n^* = \lceil n^* (\frac{h}{h^*})^2 \rceil$
- Calcular el nuevo número de réplicas, redondeando al inmediato superior
- Validar el modelo

#### b) Sistema No Terminal

Un sistema No Terminal no presenta un tiempo de finalización natural para sus réplicas, y pueden potencialmente correr “para siempre”. En estos modelos, el modelador está interesado en dinámicas y estadísticas de larga duración. Un ejemplo de un modelo de sistemas no terminales es un ATM (Automatic Teller Machine) que está abierto 24 horas al día, y está sujeto a fallas. En este caso, el

modelador puede estar interesado en rendimientos métricos de larga duración como la fracción de tiempo (probabilidad) en que la máquina está encendida, o la cantidad de pérdida económica incurrida por día por las pérdidas de transacciones cuando el ATM está apagado.

Según Altiok (2007):

“En simulaciones de sistemas no terminales, solamente las estadísticas de tiempos largos son de interés, pero las condiciones iniciales del sistema tienden a influir en las estadísticas de largo periodo. Por ello, tiene sentido empezar la recolección de estadísticas luego del periodo de calentamiento del sistema, luego de que el efecto de influencia de las condiciones iniciales haya decaído hasta la insignificancia. De hecho, si las estadísticas son coleccionadas durante el periodo de calentamiento, estas deberían ser descartadas después del calentamiento, y re empezar su recolección en ese punto.”

El proceso para analizar los datos de salida de un sistema No Terminal es el siguiente:

- Con los archivos de salida generados del modelo, utilizar la herramienta plot
- Truncar el periodo de calentamiento
- Generar el archivo de Batch Means
- Del Initial time truncated, calcular el número de batches (K)
- Cargar el Archivo generado del truncamiento del periodo de calentamiento
- Generar y analizar el Correlograma
- Realizar el Intervalo de Confianza
- Calcular la Longitud de la réplica con la fórmula:

$$\text{Longitud} = T + (K_2^*)A_2^*A_1$$

Donde: T: Periodo de Calentamiento

$(K_2^*)A_2^*A_1$ : Estado Estable

## 1.4 Simulación de Eventos Discretos

La simulación de eventos discretos será utilizada como la herramienta principal para el desarrollo del trabajo en cuanto a la mejora de procesos, pues por medio de esta herramienta se identifican las colas más largas dentro de todo el sistema, así como otras variables relacionadas a los recursos con los que cuenta el sistema y de esta manera utilizar otros programas del software Arena para lograr la optimización de recursos. A continuación se detalla la simulación de eventos discretos, el

software que se relaciona con la simulación y los términos relacionados con el avance del trabajo.

#### 1.4.1 Definición

La simulación de eventos discretos es definida como la simulación de un sistema en el cual la variable de estado cambia solo en un conjunto discreto de puntos en el tiempo.

Según Banks (2010):

“El sistema modelado está construido por los supuestos asumidos, y observaciones que son recolectadas para un posterior análisis con el fin de estimar el verdadero desempeño de los sistemas.”

La simulación de los sistemas reales, sirven para analizar la eficiencia de este y poner en acción propuestas de mejoras sin modificar el real, y así poder determinar qué tan eficiente o ineficiente, dependiendo del caso, es la modificación que se quiere aplicar al sistema real.

Los pasos a seguir para el desarrollo de los sistemas con la herramienta de simulación de eventos discretos son: Formulación del problema, Establecer objetivos y alcance del proyecto, Conceptualizar el modelo, recolectar datos, construir el modelo, verificar el modelo, validarlo, realizar el diseño experimental, analizar los resultados y finalmente la implementación. Como se puede observar en la Figura 1.

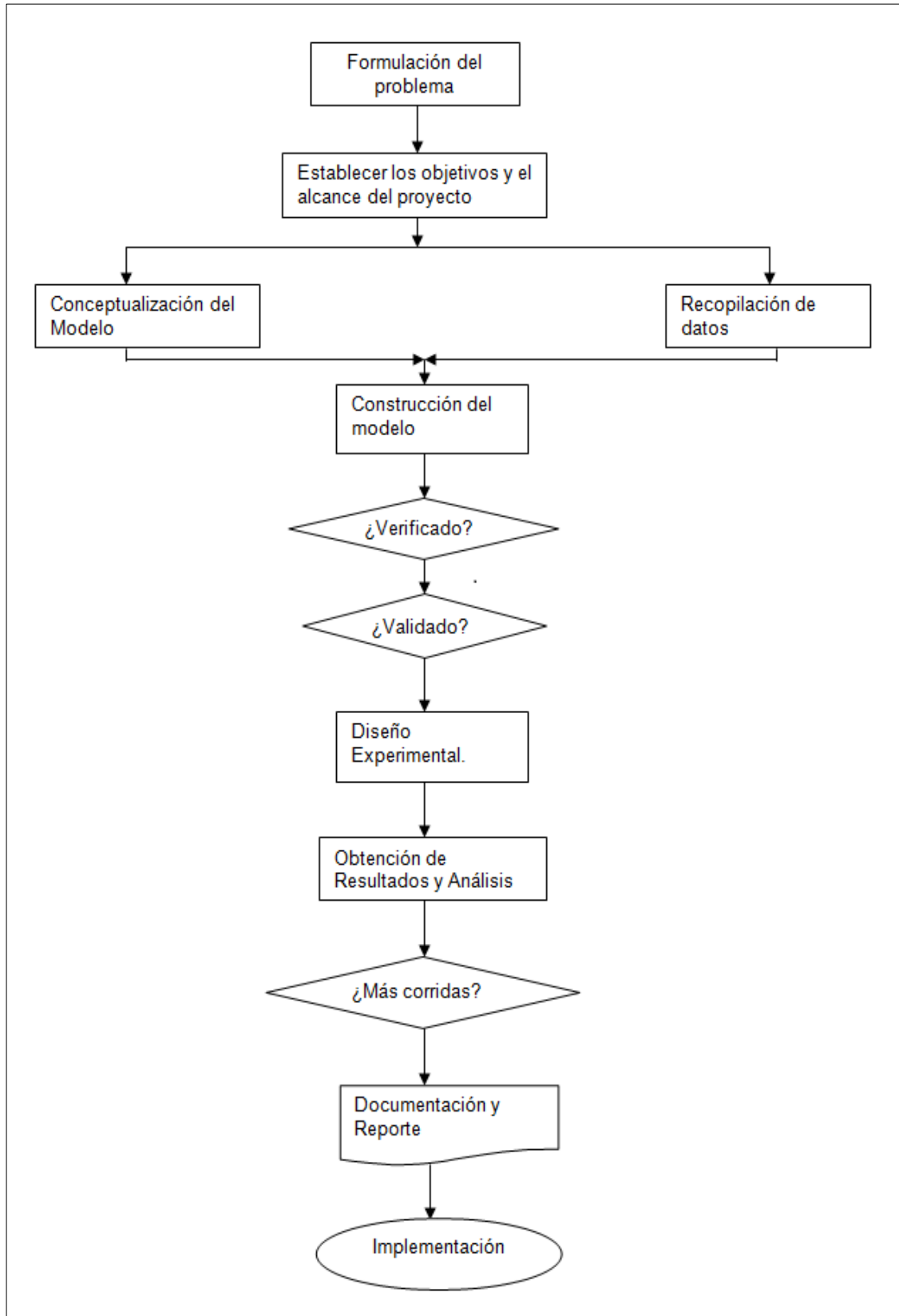


Figura 1: Diagrama de Flujo de la simulación de eventos discretos.  
Fuente: Banks (2010)

### 1.4.2 Definiciones

La simulación de eventos discretos tiene como principales elementos: Las entidades, los recursos, las colas y los servicios. Según el Banks (2010), se definen los siguientes apartados:

#### a) Las entidades

Las entidades es toda aquella población que buscar cubrir una necesidad con el servicio brindado. Pueden formar tanto composiciones homogéneas como heterogéneas, lo cual dependerá de la variación de clientes que atiende el servicio, cada cual solicita un tipo de servicio más especializado que otros.

Las entidades en un sistema presentan un tiempo entre llegada (tasa de arribos), factor fundamental para el desempeño del servicio y el tamaño de las colas.

#### b) Los Recursos

Los recursos, en un modelo de simulación, se definen como los equipos y el personal con los que cuenta el sistema. Para el caso de estudio, podemos definir como recursos tanto a los doctores y enfermeras (personal) como a los equipos de laboratorio o rayos x.

Estos recursos, pueden ser medidos mediante el indicador de utilización, capacidad utilizada sobre capacidad total en un intervalo de tiempo, y analizar su eficiencia o eficacia dentro del sistema.

Los recursos pueden ser modificados, a un nivel de cantidad, con el fin de optimizar el flujo de entidades en el sistema así como el nivel de servicio que este ofrece.

#### c) Las colas

Se denomina cola a la fila en la que las entidades esperan para obtener el servicio que desean. Estas colas presentan ciertos comportamientos, los cuales pueden ser:

- Negación: Sucede cuando las entidades no ingresan a la cola debido a que la fila es muy grande.
- Incumplimiento: Sucede cuando las entidades abandonan la cola debido a que la fila se mueve demasiado lento.
- Cambio de decisión: Sucede cuando las entidades se mueven de una línea a otra debido a que piensan que han escogido una fila muy lenta.

Según Banks (2010):

Las colas también presentan disciplinas (forma en la que se administra una cola), las cuales pueden ser:

- FIFO (First In First Out): Esta disciplina se basa únicamente en el orden de llegada. Como lo indica su nombre, la primera entidad en llegar es la primera en ser atendida.
- LIFO (Last In First Out): Esta disciplina también se basa en el orden de llegada de las entidades. A diferencia de la disciplina anterior, se atiende a la entidad que ha llegado en último lugar.
- HVF (High Value First): Se le otorga prioridad de la atención a una entidad que presente un mayor valor en un atributo determinado.
- LVF (Low Value First): Se le otorga prioridad de la atención a una entidad que presente un menor valor en un atributo determinado.

d) Los servicios

Este elemento, dentro de la simulación de eventos discretos, se define como la duración del tiempo de atención de las entidades que ingresan al sistema. Este tiempo puede variar debido a diferentes factores como: la falta de experiencia o el amplio conocimiento que se tiene, así mismo como la percepción de los recursos (personal) al ver el tamaño de la cola; siendo el caso de: una cola muy larga, el apresuro por atender a más clientes, lo cual logra, en la mayoría de los casos, una caída en el nivel de atención de las entidades.

e) Atributos

Según Altiok (2007):

“Los atributos son los objetos de almacenamiento de datos asociados a entidades. A diferencia de las variables, las cuales son globales, los atributos son locales a las entidades en el sentido que cada instancia de una entidad tiene su propia copia de atributos.”

f) Variables de estado

Variables utilizadas para representar información en detalle de lo que sucede dentro del sistema en un momento específico de la simulación. Puede ser el estado de un recurso del sistema (ocupado, desocupado, inactivo).



#### g) Actividad

Es un evento del cual se conoce su duración de modo que se puede iterar la duración al inicio y al final. Para las actividades pueden darse dos tipos de valores para los tiempos de duración: Determinísticos y Estocásticos.

- Determinísticos

La actividad presenta datos de valores fijos o que no presentan una variación considerable en el tiempo. El valor es representado por un solo valor.

- Estocásticos

La actividad presenta datos cuyos valores cambian significativamente a lo largo del tiempo. El valor de duración de una actividad estocástica es representado mediante una distribución de probabilidades.

#### h) Demora

Se define a la demora como una duración indefinida, que una entidad debe esperar para recibir el servicio, que es causada por una mezcla de condiciones que presenta el sistema (cantidad de entidades, cantidad de recursos, duración de las actividades, etc.).

#### i) Variables globales

Son variables que muestran una característica del modelo total, no las características de una entidad específica. Son variables que no se limitan a definir una entidad en particular. Algunas son definidas por el software Arena, otras son definidas por el modelador.

#### j) Acumuladores Estadísticos

Son variables que muestran lo que está sucediendo en el sistema en un momento determinado de tiempo. Estas variables no afectan a las condiciones del sistema, solo observan lo que sucede y emiten un reporte de los resultados. Son utilizadas al final de la simulación con la finalidad de obtener el rendimiento de las salidas.

### 1.4.3 Supuestos

Los supuestos en la simulación de eventos discretos son las consideraciones que reducirán la complejidad del modelo. Estos supuestos no deben ser demasiados pues simplificarán demasiado el concepto original del modelo; por otro lado, tener

pocos supuestos sólo lograrán que el modelo sea sumamente complejo debido a todas las variaciones en el sistema que suceden en la realidad. En los modelos de simulación, se enumera una cantidad necesaria de supuestos con el fin de que el modelo pueda ser trabajado correctamente y que este, al mismo tiempo, pueda representar correctamente la realidad.

Según Altiok (2007), se deben tener dos consideraciones importantes sobre los supuestos:

#### 1. Mínima cantidad de supuestos

Al considerar una mínima cantidad de supuestos para el desarrollo del modelo, se genera un aumento en la complejidad del problema pues, si bien se busca representar al máximo posible la realidad, las actividades aleatorias y el “caos” presentes en los sistemas reales origina que el analista no pueda simular correctamente la realidad al no poder abstraerse de estos eventos.

#### 2. Excesiva cantidad de supuestos

En el caso contrario, al considerarse una mayor cantidad de supuestos para el desarrollo del modelo, el analista, teniendo el fin de representar en su totalidad al sistema real analizado, cae en la simplicidad del modelo pues la abstracción excesiva del comportamiento real de las entidades en el sistema origina que el modelo se simplifique considerablemente y por ende, los resultados obtenidos al final de la simulación del sistema no puedan representar correctamente la realidad.

### 1.4.4 Software

Para desarrollar casos de simulación de eventos discretos se utiliza un conjunto de herramientas informáticas que ofrecidos por Rockwell Automation. Estas herramientas informáticas son las siguientes:

#### a) Arena

Arena es un software de simulación usado para crear modelos de sistemas discretos o continuos. Existen dos versiones de Arena: Arena Basic Edition y Arena Professional Edition. Este último es el software más completo de simulación pues fue desarrollado para abarcar sistemas más complejos. A diferencia de la edición básica, la edición profesional permite a simulación de sistemas discretos y continuos en paralelo, como por ejemplo producción farmacéutica o química. El lenguaje de programación con el que trabaja Arena es el SIMAN. En el Anexo 1 se presenta la relación de bloques y elementos a utilizar en el tema de investigación.

## b) Input Analyzer

Según Altiok (2007):

“La funcionalidad del Input Analyzer de Arena incluye el ajuste de una distribución a una muestra de datos. El usuario puede especificar una clase particular de distribuciones y solicitar al Input Analyzer recomendar parámetros asociados que proporcionen el mejor ajuste. Alternativamente, el usuario puede solicitar al Input Analyzer a recomendar también ambas de las clases de distribuciones con parámetros asociados que proporcionen el mejor ajuste.”

Para realizar las pruebas de bondad de ajuste utilizando el software Input Analyzer, se deben seguir los siguientes pasos:

- Recopilar la información utilizando un archivo en formato .txt (block de notas)
- Crear un nuevo documento para el análisis
- Importar los datos al Input Analyzer
- Utilizar la herramienta Fit All para seleccionar la mejor distribución para los datos
- Definir si la prueba de bondad de ajuste se evaluará con la prueba Chi Cuadrado o K-S
- Utilizar la Herramienta Fit All Summary para observar el error que presenta la distribución que mejor se ajusta.
- Definir la distribución que mejor se ajusta dependiendo de la prueba que se seleccionó previamente (Chi Cuadrado, K-S)

Una vez que se ha definido la distribución a utilizar con la prueba de bondad de ajuste que realiza el Input Analyzer, se utiliza la distribución con los parámetros de la misma en el modelo de simulación del sistema de estudio.

## c) Output Analyzer

El Output Analyzer de Arena es una herramienta que apoya en análisis estadístico de la data de salida de la réplica (output analysis). Esta data es coleccionada y guardada en archivos de datos durante la corrida del modelo en acuerdo con cualquier elemento estadístico definido en el módulo estadístico o en los módulos de grabación. El Output Analyzer entonces proporciona opciones para manipular, analizar y mostrar la data y estadísticas relacionadas. Las opciones incluyen lo siguiente:

- Transferencia de data (por ejemplo importación/exportación de archivos ASCII)
- Análisis estadístico (bacheo, correlograma, punto de estimación, intervalo de confianza para la media y la desviación estándar y pruebas estadísticas para comparar parámetros de diferentes muestras)
- Gráfico de data y estadística (ploteos y cuadros)

#### d) Process Analyzer

Previo a definir el trabajo del Process Analyzer, primero hace falta definir términos importantes.

- *Controls*

Los *controls* en el Process Analyzer, son variables o recursos en el modelo sobre las cuales se tiene el control (variables de decisión en un problema de optimización). Son los parámetros de entrada para el análisis.

- *Responses*

Los *responses* en el Process Analyzer, son los resultados de medida de rendimiento del sistema con los *controls* establecidos previamente por el modelador.

Una colección de *controls* y *responses* para un número de corridas establecidas es denominado como escenario, y una colección de escenarios es denominado un proyecto de Arena.

Según Altiok (2007):

“El Process Analyzer de Arena es una herramienta que apoya el análisis paramétrico de los modelos de Arena mediante el permiso que se le da al modelador para crear, correr y comparar escenarios simulados, y así observar el efecto de los *controls* prescritos sobre *responses* prescritas. Los *controls* pueden consistir de las capacidades de variables y recursos, mientras que los *responses* incluyen ambos variables y estadísticas.”

Para trabajar los diferentes escenarios del modelo, se siguen los siguientes pasos:

- Se genera el archivo de extensión “.P” de la corrida del modelo.
- Se carga el archivo en el Process Analyzer
- Se definen las características de los *controls* y *responses* a analizar
- Se corre el modelo
- Se observan las respuestas en la columna *Responses* de la ventana del Process Analyzer

Una vez corrido el modelo en Process Analyzer podemos analizar para cada parámetro establecido heurísticamente las respuestas del sistema

e) Optquest

Según Banks (2010):

“La herramienta de Optquest está basada en una combinación de métodos: búsqueda de dispersión (*Scatter Search*), búsqueda tabú (*Tabu Search*), Programación Lineal o Entera (*Lineal/Integer Programming*) y *data mining*.”

La herramienta es utilizada para obtener soluciones óptimas y factibles para el modelo simulado, adecuando este último a un problema de programación lineal y aplicando los demás métodos de los que está compuesto.”

Esta herramienta, al igual que Process Analyzer, consta de *controls* y *responses*; sin embargo, la característica principal del Optquest es la incorporación de *Constraints* y *Objectives* para obtener la solución óptima que cumplan con el objetivo y satisfagan al mismo tiempo las restricciones del modelo.

- *Constraints*

Son las relaciones entre los controles y las variables de respuesta. Como en cualquier problema de optimización, estas relaciones pueden ser lineales o no lineales. La linealidad no se da cuando la expresión matemática de la restricción contiene al menos un término no lineal (por ejemplo, tiempos de espera en cola para modelos complejos).

Arena OptQuest User's Guide (2010):

“OptQuest puede evaluar las restricciones lineales sin necesidad de correr una simulación. Las no-lineales solo pueden ser evaluadas corriendo una simulación. Una solución que satisface todas las restricciones se considera “factible”. La prioridad más alta del OptQuest es encontrar una solución factible. Una vez hecho esto, el programa se concentra en hallar soluciones que mejoren el valor de la función objetivo.

- *Objective*

Es la meta a la que apuntamos con el modelo. Se describe como una expresión que busca maximizar o minimizar una función que depende de nuestros controles y variables de respuesta. La labor del OptQuest se centra en encontrar el valor

óptimo de nuestro objetivo mediante la selección y mejora de diferentes valores para los controles. Se pueden definir varios objetivos, pero sólo uno de ellos (a elección del usuario) será evaluado en la optimización.”

Los pasos a seguir para el uso de esta herramienta son:

- Preparar el modelo de Arena con sus *controls* y *responses*
- Iniciar el Opquest y seleccionar controls a optimizar
- Identificar las respuestas para incluirlas como expresiones
- Especificar los *Constraints*
- Especificar el *Objective*
- Seleccionar las opciones de optimización
- Correr el modelo
- Analizar los resultados

OptQuest, como se mencionó anteriormente, da la facilidad al modelador de obtener la mezcla óptima de recursos para el óptimo funcionamiento del modelo.

## 1.5 Definición del Sistema: Área de Emergencias

El área de emergencia de un hospital es definido como aquel ambiente dependiente de un Centro Hospitalario, donde se otorgan prestaciones de salud las 24 horas del día a pacientes que demandan atención inmediata.

Los pacientes que son atendidos son clasificados mediante las siguientes categorías:

- Prioridad I, Emergencia o Gravedad Súbita Extrema
- Prioridad II, Urgencia Mayor
- Prioridad III, Urgencia Menor
- Prioridad IV, Patología Aguda Común

Las estaciones definidas dentro del área de emergencia son:

- Triage
- Sala de Reanimación (Shock Trauma)
- Tópico de Emergencia II
- Sala de Observación
- Tópico de emergencia III



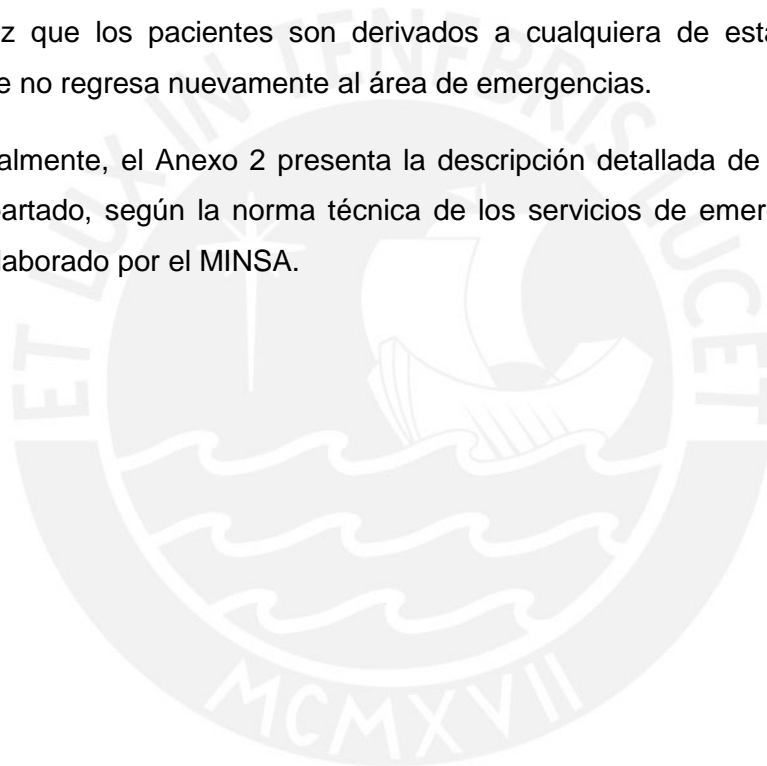
Adicionalmente, para analizar mejor la situación del paciente, se requiere de exámenes auxiliares y la historia clínica del mismo.

Los pacientes que ingresan al área de emergencias del hospital, pueden dejar el mismo para dirigirse a las siguientes estaciones:

- Sala de Operaciones
- Hospitalización
- Referencia
- Alta médica
- Fallecimiento

Una vez que los pacientes son derivados a cualquiera de estas estaciones, el paciente no regresa nuevamente al área de emergencias.

Adicionalmente, el Anexo 2 presenta la descripción detallada de lo presentado en este apartado, según la norma técnica de los servicios de emergencia del sector salud elaborado por el MINSA.





## Capítulo 2: Descripción y Diagnóstico

En el presente capítulo se presenta la descripción de la empresa a ser analizada en el presente trabajo. De la misma forma se realizará un diagnóstico empleando diferentes herramientas de la calidad y se establecerá la contramedida más efectiva para atacar el problema más grave que presenta de acuerdo al diagnóstico realizado.

### 2.1 Descripción de la empresa

La empresa sobre la que se desarrollará el trabajo es un hospital que pertenece al sector público. Se encarga del tratamiento de las enfermedades y daños a la salud que presentan los pacientes que solicitan el servicio de salud que se ofrece. El hospital cuenta con diversos especialistas en el área de medicina como cardiólogos, neumólogos, etc. y cada quien atiende en un consultorio ubicado en sectores establecidos por la organización que dirige el hospital. Así mismo se encuentra el área de emergencias que se encarga de tratar a pacientes que presenten condiciones de mayor gravedad o que se encuentre en peligro de muerte debido a su condición, la cual será analizada por el doctor de triaje, quien determinará la gravedad del paciente que se presenta en el área de emergencias.

Finalmente, el hospital cuenta con servicios auxiliares para la realización de los diversos exámenes que son solicitados a los pacientes por los médicos para poder dar un diagnóstico efectivo y certero sobre la condición que el paciente presenta.

## 2.1.1 La Organización

El Organigrama que la empresa posee actualmente se puede apreciar en la Figura 2.

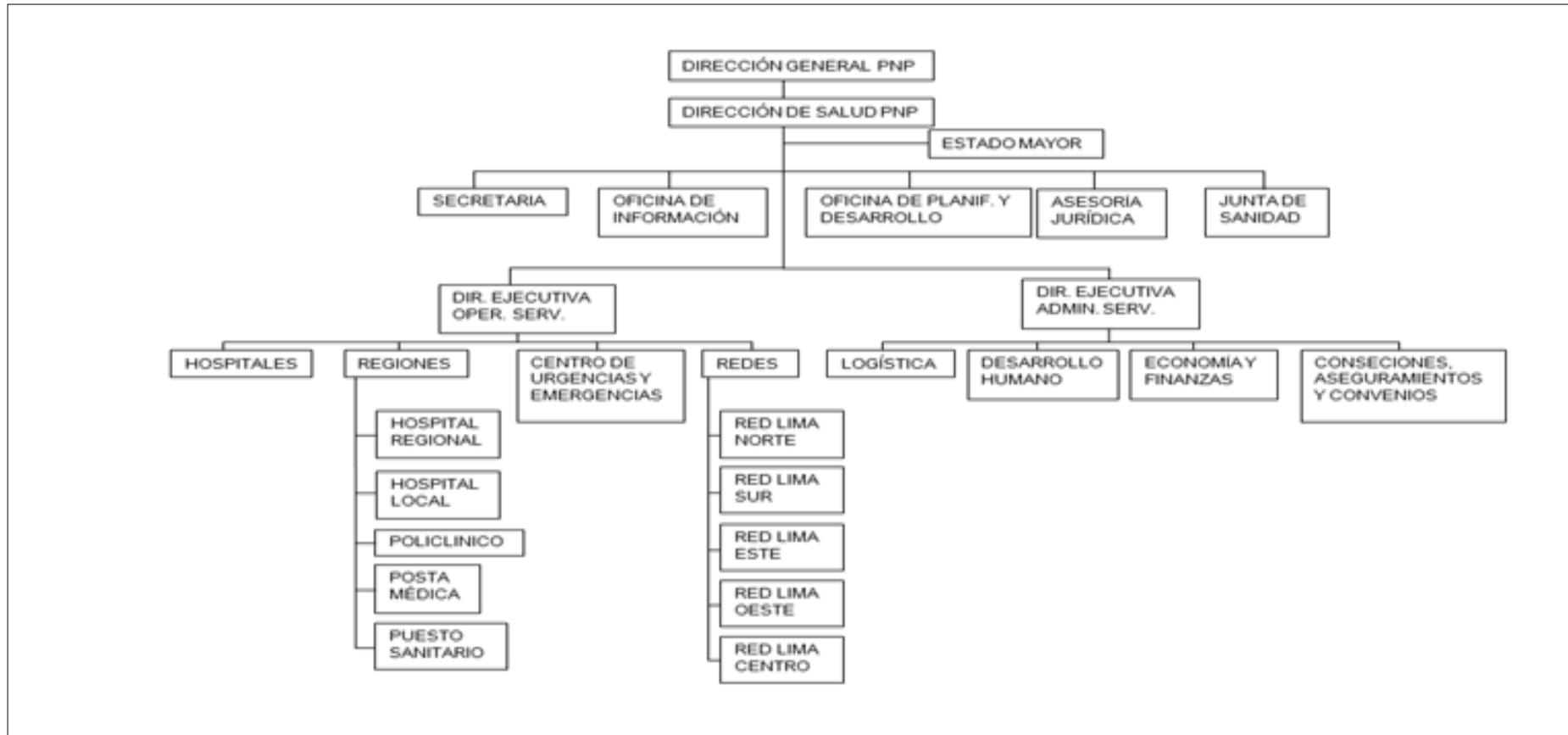


Figura 2: Organigrama de la dirección de salud de la PNP. DIRSAL (2012)

Fuente: DIRSAL (2012)

Del organigrama de la Figura 2 se tiene:

- a) Dirección General PNP: El cual es el órgano rector máximo de todas las instituciones de las cuales se encarga la Policía Nacional del Perú.
- b) Dirección de Salud PNP: Órgano regulador máximo dentro del sector salud perteneciente al mando de la Policía Nacional del Perú.
- c) Estado Mayor: Están encargados de asesorar técnicamente a los jefes superiores, distribuir las órdenes impartidas por éstos y supervisar su cumplimiento.
- d) Dirección Ejecutiva Operativa de Servicio: Es la dirección encargada de dirigir a las entidades pertenecientes a la división de salud de la Policía Nacional del Perú.
- e) Centro de Urgencias y Emergencias: Son los centros que se encuentran tanto dentro de los hospitales como entidades independientes encargadas de brindar servicios de salud de manera inmediata durante las 24 horas del día.

### **2.1.2 Sector y Actividad Económica**

El sector en el que se encuentra la empresa, al ser un hospital, es el sector salud, el cual, según INEI, se encuentra clasificado con el código CIU 8610 como una institución que desarrolla actividades de prestación de servicios de salud con internación.

La actividad económica del hospital es la prestación de servicios de salud, tanto atención como apoyo, para todo el personal de la Policía Nacional que lo requiera; así mismo, los familiares directos de estos son atendidos gratuitamente con la presentación del fospoli correspondiente.

Para la prestación de estos servicios, el hospital cuenta con:

- Área de emergencias
- Neumología
- Cardiología
- Quirófano
- Dermatología
- Sector de Enfermería, etc.

### 2.1.3 Perfil Empresarial y principios organizacionales

El perfil empresarial que presenta el hospital de la Policía Nacional del Perú es definido como órgano de apoyo de la Policía Nacional del Perú y depende orgánicamente de la Dirección General de la PNP. Está encargada de los servicios de salud policial y fue definida en el 2011 una institución competitiva y reconocida en la atención integral de salud, basada en una gestión eficiente, efectiva y participativa; fomentando los deberes y respetando los derechos de la Familia Policial.

a) Misión:

La Dirección de Salud, tiene como misión promover estilos de vida saludables, disminuir los riesgos inherentes al trabajo policial, ofrecer atención recuperativa con recursos humanos calificados y comprometidos con la Institución, utilizando tecnología moderna y especializada, que garanticen servicios de salud integrales con calidad, equidad y calidez que satisfagan las necesidades y requerimientos del personal policial, familiares con derecho y con participación activa en el Sistema Nacional Coordinado y Descentralizado de Salud.

b) Visión:

La Dirección de Salud de la Policía Nacional del Perú tiene como **visión** primordial a constituirse en la actualidad en la Institución líder de atención integral de salud, con autonomía administrativa y financiera, basada en una gestión estratégica y participativa, en un marco de valores éticos; respetando la vida, dignidad y derechos de la persona, contribuyendo de esta manera al desarrollo de la Nación.

c) Filosofía:

La Dirección de Salud, tiene como filosofía, la vocación de servicio hacia todo integrante de la Policía Nacional, a sus familiares con derecho y a la comunidad. Para ello, despliegan diariamente sus mejores conocimientos y habilidades profesionales, con el fin de elevar el nivel de la salud de la Institución en todos los lugares del Perú donde se encuentre un integrante de la Institución Policial.

d) Funciones:

Según la página oficial de la DIRSAL (Dirección de Salud de la PNP), las funciones de la empresa son:

- Dirigir y conducir la organización, fomentando un liderazgo participativo y trabajo en equipo.
- Normar y definir las políticas de salud policial, en concordancia con la Política Institucional y el Sistema Nacional de Salud.
- Planificar las acciones de salud y de gestión, en función a las necesidades y requerimientos de la población policial, que permita el cumplimiento de los objetivos y metas institucionales.
- Gestionar el potencial humano, los recursos logísticos, económicos y financieros con criterios de eficiencia, eficacia y efectividad, que nos permita el cumplimiento de la misión y el logro de la visión.
- Proponer a la Dirección General PNP convenios nacionales e internacionales,
- Desarrollar acciones de supervisión, monitoreo, evaluación y auditoría de las actividades de salud y administrativas en el ámbito nacional, sobre la base de indicadores y estándares de calidad. orientados al desarrollo organizacional.
- Implementar un Sistema de Información Gerencial oportuno y confiable que permita una toma de decisiones efectiva en todos los niveles de la organización.
- Promover y desarrollar la descentralización de los servicios de salud policial, sobre la base de un Sistema de Redes en el ámbito nacional.
- Ejecutar acciones de promoción, prevención, recuperación y rehabilitación de la salud del personal policial y familiares con derecho, ofreciendo una atención integral con calidad y calidez.
- Coordinar con los diferentes organismos policiales e instituciones de salud tanto nacionales como internacionales las acciones de salud integral de la población afectada en situaciones de desastre, emergencia y violencia.
- Gerenciar un Sistema de Capacitación orientado a desarrollar las competencias del personal asistencial y administrativo que permitan mejorar su desempeño personal y de la organización en coordinación con la DINSTDOC.

- Desarrollar un programa de atención a las personas con discapacidad, en concordancia a las políticas de salud nacional.
- Promover un sistema de investigación en salud que permita el desarrollo institucional.
- Desarrollar y fortalecer el Sistema de Vigilancia Epidemiológica activa en el ámbito nacional orientado a adoptar medidas preventivas, promocionales, y recuperativas
- Promover y desarrollar proyectos de desarrollo y de inversión que nos permitan el crecimiento institucional y la generación de recursos.

#### 2.1.4 Instalaciones y medios operativos

Las instalaciones y medios operativos que presenta la DIRSAL (Dirección de salud de la PNP) son:

a) Hospitales: Establecimiento sanitario en donde se atiende a los enfermos para proporcionar diagnósticos y tratamiento a quienes lo necesitan. La DIRSAL posee 3 hospitales en la ciudad de Lima los cuales son:

- HOSPITAL NACIONAL PNP. "LUIS N. SAENZ"
- HOSPITAL NACIONAL PNP. "AUGUSTO B. LEGUÍA"
- HOSPITAL GERIATRICO PNP. "SAN JOSÉ"

b) Regiones: Se considera regiones a todos los departamentos, excluyendo Lima, en los cuales obligatoriamente existen:

- Hospital Regional
- Hospital Local
- Policlínico
- Posta Médica
- Puesto Sanitario

c) Centro de Urgencias y Emergencias: Son todos aquellos centros que brindan servicios de atención inmediata las 24 horas para todo paciente que lo requiera. Estas pueden ser integradas en los hospitales o funcionar como unidades independientes.

d) Redes: Son policlínicos y postas médicas que pertenecen a un sector en específico. Las redes que existen en Lima son:

- Red sanitaria Lima Este
- Red sanitaria Lima Oeste
- Red sanitaria Lima Norte
- Red sanitaria Lima Sur
- Red sanitaria Lima Centro

### 2.1.5 Recursos

Los recursos con los que cuenta el hospital son los siguientes:

#### a) Recursos Humanos

Entre los recursos humanos con los que cuenta el hospital se tiene:

- Médicos: Los cuales son profesionales para el cuidado de la salud en diferentes especialidades como cardiología, forense, neumología, dermatología, etc.
- Enfermeras: Encargadas del cuidado de los pacientes internados en el hospital así como la asistencia a los médicos en situaciones de intervención quirúrgica o tratamiento de pacientes.
- Personal de ambulancia: Encargados de acudir, con la ayuda de la ambulancia, a los lugares en donde las personas han sufrido algún accidente y requieren traslado inmediato al hospital para tratamiento.
- Personal de Limpieza: Encargados de la limpieza dentro del local, tanto las oficinas de los sectores de enfermería como los cuartos en los cuales se encuentran los pacientes.
- Personal de Seguridad: Encargados de velar por la seguridad dentro del hospital ante cualquier eventualidad. Este personal es enviado directamente por la Dirección General PNP para asistir a los diferentes centros de salud que se encuentran a su cargo.

### 2.1.6 El Servicio

El área de emergencias se define como un ambiente dependiente de un centro hospitalario donde se otorga prestaciones de salud las 24 horas del día a pacientes que demandan atención inmediata, los cuales serán clasificados en la primera estación de esta área para luego ser derivados a especialistas según las condiciones que los pacientes presenten.



## 2.2 Diagnóstico del Servicio

Para trabajar la optimización del nivel de servicio del hospital, posterior a la modelación del sistema, se requiere de un diagnóstico previo del área para entender cuáles son los problemas más graves que esta área presenta y tratar de reducirlos mediante la optimización de los procesos que se llevan a cabo en esta área.

### 2.2.1 Mapa de Macro procesos

El mapa de macro procesos de la empresa se detalla en la Figura 3.

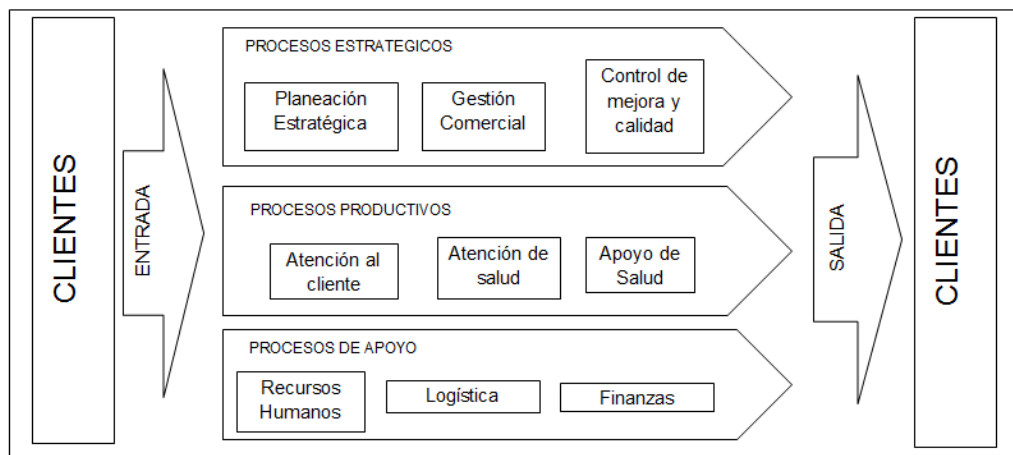


Figura 3: Mapa de Macroprocesos de la empresa.  
Elaboración Propia.

**Atención al cliente:** Es definido como el proceso en el cual se le brinda al cliente información sobre los exámenes que se debe realizar o los medicamentos que tomará para su recuperación.

**Atención de salud:** Es el proceso que abarca el diagnóstico dado por los médicos a los pacientes hasta las operaciones quirúrgicas a las cuales los pacientes deben ser sometidos.

**Apoyo de salud:** Proceso que involucra la entrega de los medicamentos en la farmacia del hospital, presentando el correspondiente FOSPOLI (Fondo de Salud Policial), a los pacientes; así como el cuidado que estos reciben al ser internados para recuperación u observación según las especificaciones del doctor.

### 2.2.2 Procesos de Nivel 2 y 3

Se pueden observar los procesos de segundo nivel dentro del proceso "Atención de Salud" en la Figura 4.

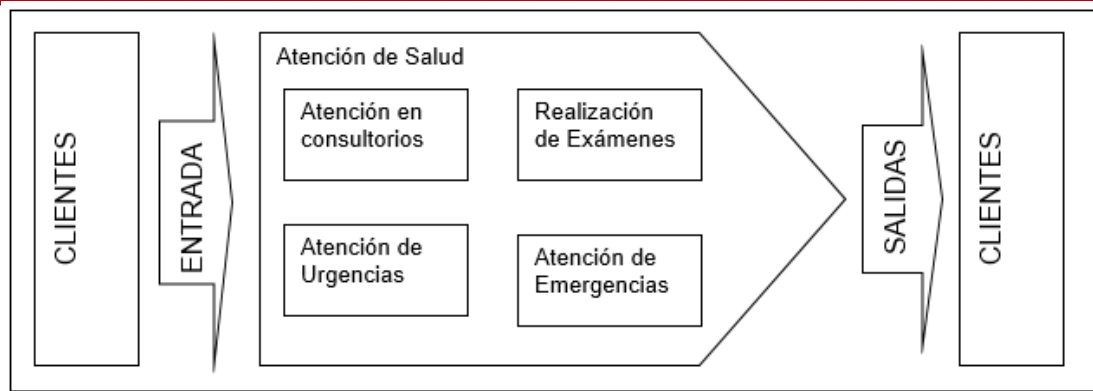


Figura 4: Mapa de procesos de nivel 2 "Atención de Salud".  
Elaboración Propia.

**Atención en consultorios:** Se define como toda consulta que el paciente realice al doctor debido a algún malestar que esté sufriendo en ese momento, así como solicitar información de los medicamentos y la forma en la que los puede consumir para la mejora de su salud.

**Realización de Exámenes:** Se entiende como los exámenes que los pacientes requieren para que los médicos que los atienden puedan darles un diagnóstico más acertado sobre su situación y al mismo tiempo saber qué tipo de tratamiento será el indicado para cada paciente.

**Atención de Urgencias:** Se define como la atención a pacientes de prioridad III y prioridad IV (Ver Anexo 2). Este proceso genera como output un diagnóstico y tratamiento inmediato para los pacientes según las enfermedades con las que se encuentren.

**Atención de Emergencias:** Se define como la atención a pacientes de prioridad I y prioridad II (Ver Anexo 2). Este proceso se encarga de la atención inmediata de los pacientes para poder ser estabilizados y seguir un tratamiento indicado. El servicio de atención de salud en el área de emergencias se observa la Figura 5.

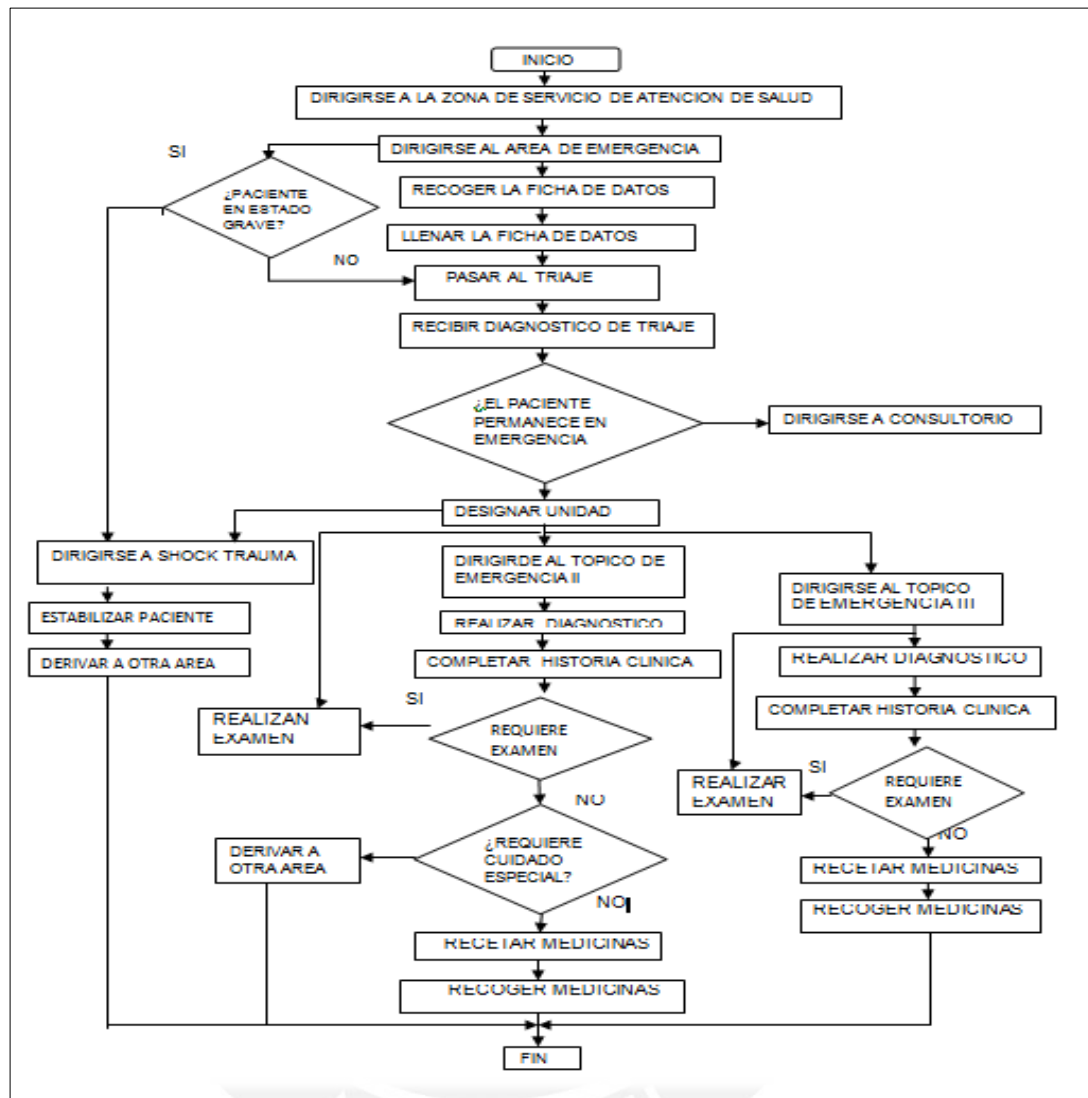


Figura 5: Flujograma de la atención del paciente en el área de emergencias.  
Elaboración Propia

La entidad del sistema empieza el recorrido acercándose al hospital mismo. Se considera que las entidades que llegan al sistema necesitan atención de emergencia, por ello, se dirigirán al área de emergencia. Una vez la entidad llega al área de emergencias, la entidad procederá a recoger y llenar la ficha de datos para posteriormente pasar a triaje. En el caso de las entidades que llegan a través del servicio de ambulancia, el llenado de la ficha de datos se realiza durante el traslado y al momento de llegar al área de emergencias se observa si el paciente ya se encuentra estable o no (definido en el flujograma como el proceso de decisión de la gravedad de la entidad), y acorde a esto, se definirá si la entidad se dirige a Shock Trauma o a Triaje. Una vez en Triaje, se realiza la evaluación correspondiente y se determina si la entidad necesita atención en el área de emergencias o puede ser

atendida por consultorio. Si la entidad necesita atención por emergencias, se le designa un área. Dependiendo del estado en que se encuentre la entidad dentro del área de emergencias, se le designará el área al que debe asistir, la cual puede ser:

- Shock Trauma: La entidad que ingresa a shock trauma es una entidad cuyo estado es grave, el flujo que sigue esta entidad es la estabilización de su estado y la derivación a otra área para cuidados intensivos.
- Tópicos de Emergencia II y III: La entidad que ingresa a los tópicos, no se encuentra en un estado de gravedad tan alta como se encuentra la entidad de shock trauma; por ello pueden seguir estando bajo evaluación para obtener un diagnóstico más acertado de su situación. El flujo que la entidad sigue una vez que ingresa a estos tópicos es la obtención del diagnóstico por parte del médico, el llenado de la historia clínica de la entidad, determinar si la entidad requiere o no un examen. Si la entidad requiere de exámenes adicionales, los realizará y volverá a tratarse con el médico para determinar con mayor exactitud el estado de la entidad. Si no requiere de exámenes adicionales, se determina si el paciente requiere de cuidados especiales; si lo requiere, será derivado a otra área, caso contrario se le recetarán las medicinas que la entidad puede recoger en la farmacia asociada al área de emergencias.

### 2.2.3 Indicadores del proceso principal

Entre los indicadores utilizados para medir actividades en el proceso principal, atención en el área de emergencias, se tiene los siguientes:

a) N° de atenciones en emergencia (Mensual)

Muestra el porcentaje de personas atendidas dentro del área de emergencias (un porcentaje es derivado como prioridad IV a otras estancias) respecto de la cantidad total de pacientes que fueron registrados al entrar al área.

$$\frac{\text{N° de pacientes de libro de emerg. sin D x registrado x 100}}{\text{N° de paciente de libro de emergencias}}$$

b) Promedio de permanencia en observación de emergencia

Utilizado para obtener la cantidad de días en promedio que se requiere pasar en la sala de observaciones (considerando ambos casos que el paciente siga vivo o fallezca) por paciente.

$$\frac{\text{N}^\circ \text{ días estancia de los egresados (vivos o fallecidos) en un periodo} \times 100}{\text{N}^\circ \text{ de egresos vivos o fallecidos en el mismo periodo}}$$

c) Porcentaje de hospitalizados por atenciones de emergencia

Calcula el porcentaje de pacientes que han requerido de una hospitalización posterior al tratamiento recibido en el área de emergencias del total de pacientes atendidos en el área de emergencias.

$$\frac{\text{N}^\circ \text{ de pacientes hospitalizados por emerg. en un periodo} \times 100}{\text{N}^\circ \text{ de atenciones de emerg. en el mismo periodo}}$$

d) Tasa de mortalidad neta

Muestra la cantidad de personas que han fallecido respecto del total de pacientes que fueron atendidos en emergencia. El indicador se calcula sólo con pacientes fallecidos pasadas las 48 horas de su ingreso al área de emergencias.

$$\frac{\text{N}^\circ \text{ de fallecidos después de 48 horas} \times 100}{\text{N}^\circ \text{ de atenciones de emergencias}}$$

e) Tasa de infecciones intra-hospitalarias

Muestra el ratio de pacientes, atendidos en el área de emergencias, que sufrieron de infecciones intra-hospitalarias durante su estancia ya sea por observación, hospitalización u otro motivo.

$$\frac{\text{Total de pac. infecciones intrahosp.} \times 100}{\text{Total de egresos}}$$

f) Promedio de tiempo de espera en emergencia para ser atendido

Muestra el promedio de tiempo que un paciente espera en cola para ser atendido. Es calculado desde el momento que ingresa al área de emergencias hasta que es atendido en la estación de triaje.

$$\frac{\text{N}^\circ \text{ Total de tiempo de minutos de espera}}{\text{N}^\circ \text{ de pacientes atendidos del mismo periodo}}$$

g) Promedio de permanencia de pacientes en shock trauma

Muestra la cantidad de días que un paciente debe permanecer en la estación de shock trauma hasta lograr su estabilización para posteriormente ser derivado a otra área.

$$\frac{\text{N}^\circ \text{ de días estancia en shock trauma} \times 100}{\text{N}^\circ \text{ de egresos en el mismo periodo}}$$

### 2.2.4 Matriz de Identificación de los problemas

Para los problemas identificados en el área de emergencias del hospital, se les ponderará tomando en consideración diversos factores que afecten tanto a la empresa como a los pacientes debido al nivel de calidad de la atención, se observa en la Tabla 4 la matriz de priorización de los problemas.

Tabla 4: Matriz de Identificación de los problemas.  
Elaboración propia

Problemas	Empeora la condición de los pacientes (70%)	Reduce la Calidad del servicio (20%)	Genera mayor gastos al estado peruano (10%)	Total
Falta de personal especialista (consultorios, laboratorios, etc.)	4	4	2	3.8
Cantidad de pacientes en emergencias	2	2	3	2.1
Falla de Equipos Médicos	4	4	4	4.0
Demora en la atención del registro de personas	5	4	5	4.8
Demora en las colas para acceder a los servicios (auxiliares, médicos)	5	4	5	4.8
Demora en la obtención de resultados por falta de capacidad	5	5	1	4.4

Se clasifica en una escala del 1 al 5 donde 1 es considerado como menos grave y 5 como más grave.



### 2.2.5 Priorización y Selección del problema

De lo obtenido en el punto 2.2.4, se concluye que el problema más resaltante es la “demora en las colas para acceder a los servicios”; sin embargo, junto a este, también se identifica a “demora en la atención del registro de personas” como potenciales problemas que al largo plazo reducirán el nivel de atención del hospital. Si bien el segundo problema es la duración de un proceso, este valor de tiempo se acumula con el predecesor el cual es el tiempo de espera en cola. Se seleccionan estos dos como los problemas más importantes para ser trabajados en la optimización del servicio con la ayuda de la simulación de eventos discretos obteniendo resultados como mayor cantidad de personal entre otras posibles soluciones.

### 2.2.6 Identificación de causas

Para el problema se detallan las causas raíz según el diagrama de Ishikawa en la Figura 6.

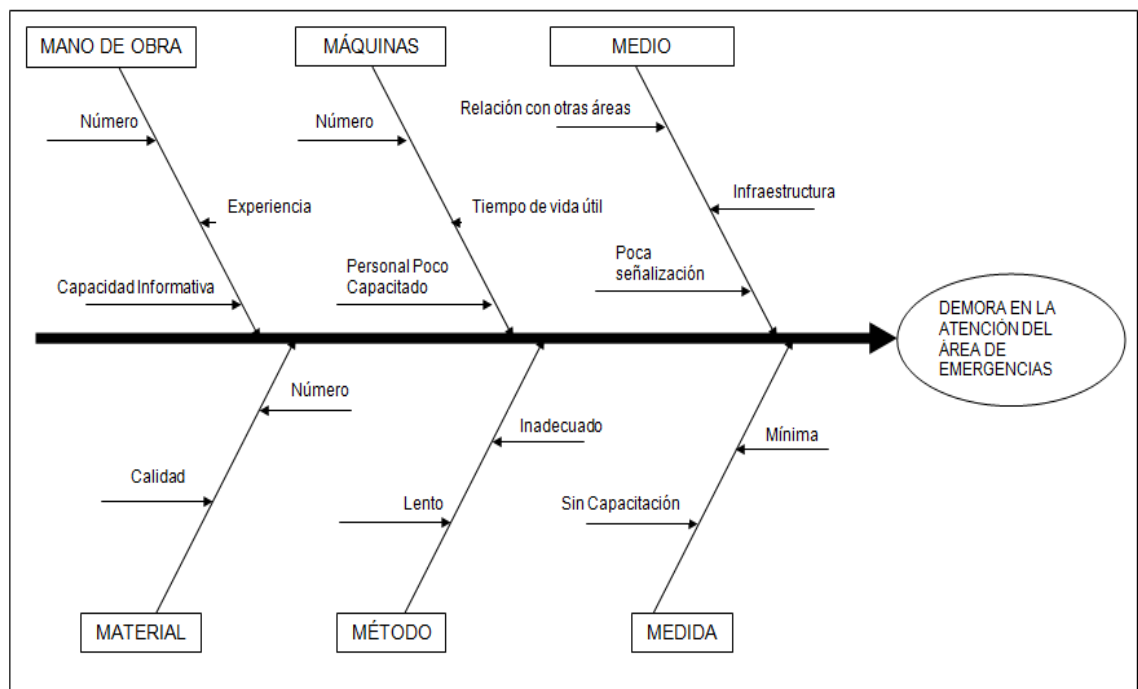


Figura 6: Diagrama de Ishikawa  
Elaboración Propia



### 2.2.7 Selección de causa raíz

En la Tabla 5 se analizan las causas que ocasionan los problemas analizados conjunta con la probabilidad de riesgo de cada una de estas.

Tabla 5: Matriz de riesgo-impacto  
Elaboración Propia

Causas	Magnitud del daño	Probabilidad del riesgo				
		1	2	3	4	5
Poco personal habilitado en el área	5				20	
Personal con poca experiencia laboral	5			15		
Poca información entre el personal asignado al área	3			15		
Pocos equipos para realizar los procesos del área	6				24	
Corto tiempo de vida útil de los equipos	5			15		
Personal poco capacitado para el control de los equipos	4				16	
Relación mínima entre las áreas requeridas para los tratamientos de los pacientes	5			15		
Infraestructura en malas condiciones	4			12		
Falta de señalización para el desplazamiento de los pacientes	3				12	
Poco material para atender la demanda de pacientes que requieren atención	5				20	
Materiales defectuosos	6			18		
Método realizado de manera lenta	2					10
Método realizado de manera errónea	5			15		
Personal de auditoría sin capacitación	3					15
Control de auditoría mínimo	3					15

De la matriz presentada, se observa que las causas más importantes dentro del área de emergencias son la falta de personal, la falta de maquinaria, el poco control de inspección y la falta de señalización de otras áreas. Esto se debe al tipo de gestión que maneja la DIRSAL pues, basándose en estadísticas previas de todas las unidades de salud, concentran la mayor parte sus recursos en las unidades que más lo requieran, reduciendo los recursos en otras unidades. Esta medida no soluciona el problema que van presentando al tener una alta rotación tanto de personal como maquinaria, es por ello que se evaluarán las contramedidas para atacar estas causas del problema que presenta el área de emergencias.

Por otro lado, al no contar con auditores internos, contratan auditores externos, no se ha documentado una política de mejora continua y, de haberse documentado, no existen entidades que se encarguen del control y seguimiento del cumplimiento de estos procedimientos establecidos.

Finalmente, la falta de señalización de la ruta hacia otras áreas, como laboratorio o consultas externas, genera una demora en la atención del área pues, en algunos casos, se requiere que personal que opera en el área de emergencias guíe a los pacientes hacia las estaciones a las cuales deben acudir para continuar con su tratamiento.

### 2.2.8 Contramedidas

Para encontrar las contramedidas a las cuatro causas identificadas en la matriz anterior, se utilizará la herramienta de los 5 porqués para cada una de ellas.

Problema: No hay personal (No hay equipos)

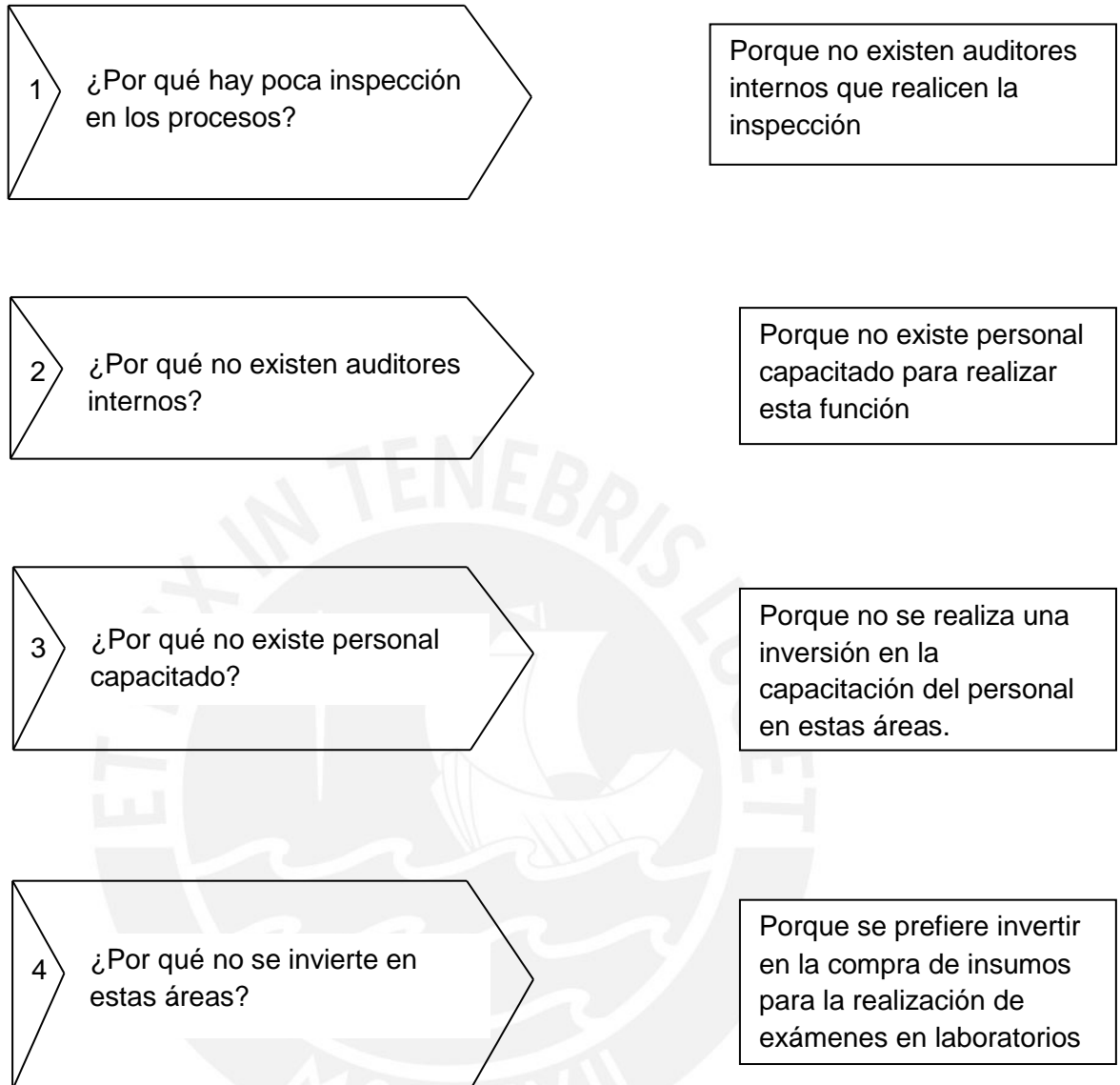
1 ¿Por qué no hay personal?

Porque no se distribuyen bien los recursos

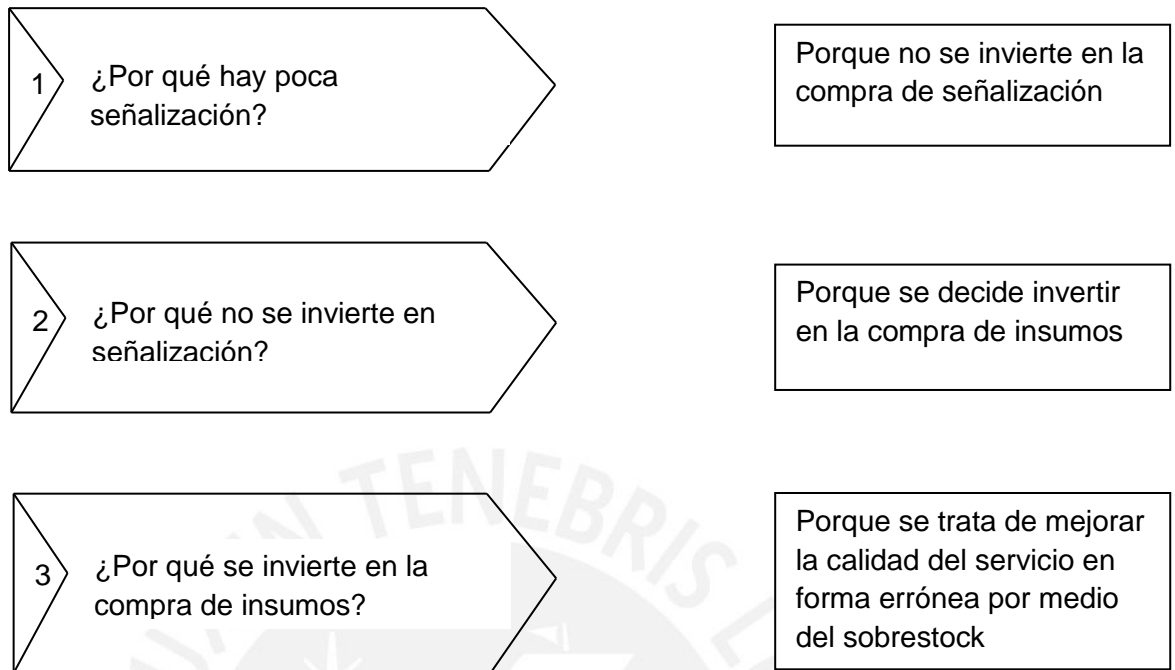
2 ¿Por qué no se distribuyen bien los recursos?

Porque existe una mala gestión por parte de la dirección

Problema: Poca inspección de los procesos



Problema: Falta de señalización



Gracias a este análisis se encuentran las contramedidas necesarias para solucionar las causas raíces, las cuales son:

- Realizar una mejora de procesos.
- Capacitar al personal.
- Redistribuir las inversiones.

Para encontrar la medida correcta a aplicar para la mejora del nivel de atención en el área de emergencias en el hospital se utilizará una matriz FACTIS como se muestra en la Tabla 6.

A: Redistribuir inversiones

B: Capacitar al personal para realizar auditorías

C: Realizar una mejora de procesos

Tabla 6: Matriz FACTIS  
Elaboración Propia

Criterios de Evaluación	Factores de Evaluación	Problemas		
		A	B	C
F	3	3	5	3
A	3	3	5	5
C	5	1	5	5
T	5	3	1	1
I	5	5	1	5
S	2	5	5	1
Puntaje		73	75	81

Dada la matriz, se encuentra que las contramedidas son priorizadas de la siguiente manera:

1. Realizar una mejora de procesos
2. Capacitar al personal para realizar auditorías
3. Redistribuir las inversiones

Al utilizar las herramientas de los 5 porqués y la matriz FACTIS, se concluye que la mejora de proceso es la contramedida que tiene más prioridad en aplicarse para reducir el gran problema en la demora de la atención en el área de emergencias del hospital. Esta mejora de proceso se obtendrá mediante la aplicación de la simulación de eventos discretos con el fin de aumentar, reducir o redistribuir los recursos del hospital, centrándonos en el área de emergencias, y al mismo tiempo reducir los tiempos de espera en cola de los pacientes.

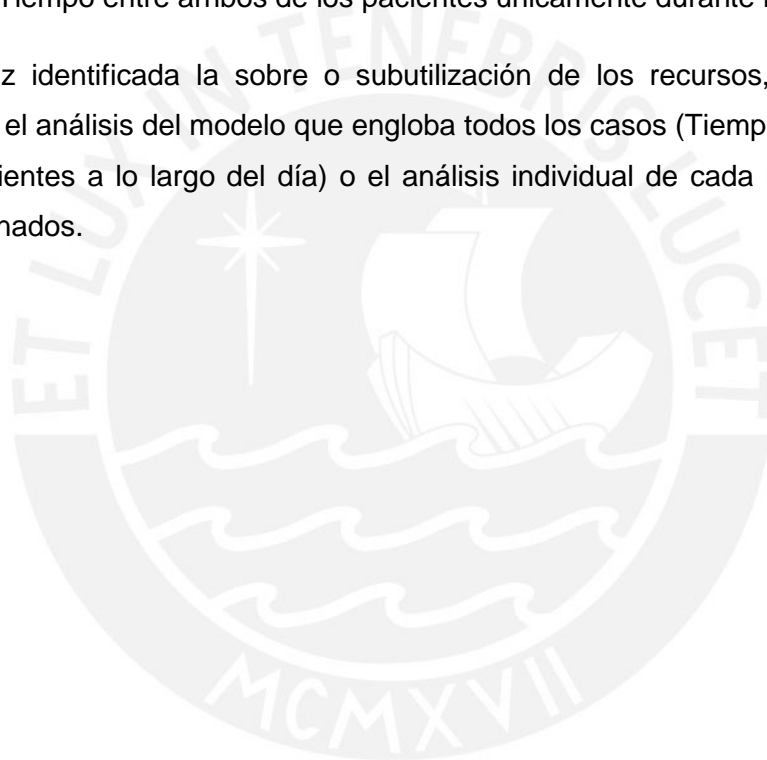
Para realizar esta nueva distribución de recursos se analizará la carga que cada uno de estos tiene, la cual ya es visible debido a la generación de colas en las diferentes estaciones del área de emergencia, a lo largo del día. Previo al análisis de los tiempos entre llegada de los pacientes, se realizará un análisis ANOVA

(Análisis de la varianza) para determinar que fuentes de variación son significativas (Por ejemplo: Día de la semana, Momento del día, etc.) y en base a esto trabajar el modelo de simulación.

Para ello, se realizarán 4 modelos de simulación, cuya única diferencia será el tiempo entre arribos de los pacientes, obteniéndose así los siguientes casos:

- Tiempo entre arribos de los pacientes a lo largo del día. Se segmentarán las llegadas según sea durante la mañana, durante la tarde o durante la noche.
- Tiempo entre arribos de los pacientes únicamente durante la mañana.
- Tiempo entre arribos de los pacientes únicamente durante la tarde.
- Tiempo entre arribos de los pacientes únicamente durante la noche.

Una vez identificada la sobre o subutilización de los recursos, se procederá a realizar el análisis del modelo que engloba todos los casos (Tiempo entre arribos de los pacientes a lo largo del día) o el análisis individual de cada uno de los casos mencionados.



## Capítulo 3: Desarrollo del modelo

En el presente capítulo se identificarán todos los elementos del modelamiento de la empresa analizada en el presente trabajo así como los supuestos asumidos y la descripción del modelo.

### 3.1 Definición del sistema de Colas

Previo al modelamiento del sistema, se definirá el sistema de colas y las propiedades que están relacionadas con el mismo. Según la notación de Kendall-Lee, definimos las siguientes características para las diferentes estaciones del sistema:

- Llegadas de pacientes:  
Tanto para la llegada de pacientes por medios propios como para la llegada de entidades a través del servicio de ambulancia se utilizará la notación “G”, la cual quiere decir que los tiempos entre llegadas son variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas cuya distribución es desconocida. La llegada de pacientes es similar para cada tipo de estación dentro del sistema.
- Estaciones del área de emergencias:  
Para todas las estaciones de servicio dentro del área de emergencia, se utilizará la notación “G”, la cual quiere decir que los tiempos de servicios son variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas cuya distribución es desconocida.
- Cantidad de servidores por estación:  
La cantidad de servidores de cada estación donde la entidad es atendida es un valor cualquiera mayor a 1, excepto por el área de Triage, área en el cual sólo se encuentra un médico por turno. Por ello, se utilizará la notación “k”, que indica un número cualquiera diferente de 1 para la cantidad de servidores dentro del sistema.
- Disciplina de la cola:  
Para la disciplina de la cola, se utilizarán las notaciones “FIFO” para el área de Triage y la disciplina “DG” para las otras estaciones. Esto se debe a que un paciente que presente un estado demasiado grave, es enviado directamente al sector de Shock Trauma.



- Número admisible de personas en cola  
Para el sistema trabajado, se utilizará la notación “∞”, puesto que se tiene como supuesto que la persona que entra al sistema no abandonará la cola hasta ser atendido.
- Población  
Se utilizará la notación “N”, población finita, debido a que el sistema se enfoca únicamente a la atención del personal oficial y sus parientes de primer nivel dentro del área de Lima Metropolitana.

Definidas las 6 notaciones, se define que el sistema de colas para Triage será:

$$G/G/1/DG/\infty/N$$

Mientras que el sistema de colas para el resto del sistema será denotado por:

$$G/G/K/DG/\infty/N$$

### 3.2 Identificación de Entidades, Atributos, Recursos, Estaciones y colas

#### a) Entidades

Las entidades del modelo son los pacientes, ya sean aquellos que ingresaron por sus propios medios al área de emergencias como los que llegan en ambulancia a la misma área, los cuales serán atendidos en las diferentes estaciones del área

#### b) Atributos

Los atributos definidos en el modelo son:

- Ambulancia: Es el atributo que define a los pacientes que llegan al área de emergencias mediante el traslado en ambulancia.
- Emergencia: Es el atributo que define si el paciente que pasó por el sector de Triage es clasificado como paciente que requiere atención de emergencia o no.
- Tipo\_examen: El atributo tipo\_examen define el próximo destino del paciente que puede ser laboratorio, rayos X será atendido por interconsulta dependiendo de los exámenes que son pedidos por el médico de clasificación.
- lab\_hecho: Es el atributo que define que un paciente ya realizó el examen en laboratorio.

- **resyox\_hecho:** Es el atributo que define que un paciente ya se realizó el examen en rayos X.
- **Condicion:** El atributo condicion define si el paciente, dependiendo la gravedad de su estado, será dado de alta, necesitará hospitalización para cuidados o será enviado al sector de Shock Trauma para atención urgente.
- **Resultado:** Es el atributo que define el destino del paciente luego de la realización de los exámenes de rayos X, este paciente puede ser hospitalizado o ser dado de alta con tratamiento.
- **Estado:** Este atributo define el destino del paciente luego de ser atendido en Shock Trauma. El paciente puede ser derivado a hospitalización de emergencia, puede ser dado de alta con tratamiento o puede fallecer.
- **Condición\_salida:** Este atributo define la condición de salida del paciente del área de hospitalización, puede ser dado de alta como fallecer.
- **Tiniciotriaje:** Es el atributo que marca el momento en el que un paciente entró a la estación de Triage.
- **Tinocioventanilla:** Es el atributo que marca el momento en el que un paciente entró a la estación de Ventanilla.
- **TinocioClasificacion:** Es el atributo que marca el momento en el que un paciente entró a la estación de Clasificación.
- **Tinociolaboratorio:** Es el atributo que marca el momento en el que un paciente entró a la estación de Laboratorio.
- **Tinocioinscripcionrayosx:** Es el atributo que marca el momento en el que un paciente entró a la estación de Inscripción para rayos X.
- **Tinocio rayosx:** Es el atributo que marca el momento en el que un paciente entró a la estación de Rayos X.
- **Tinociofarmacia:** Es el atributo que marca el momento en el que un paciente entró a la estación de Farmacia.

### c) Recursos

Los Recursos con los que se trabajará el modelo, tanto personal como maquinaria, son:

- **Medico\_triaje:** Siendo el médico que se encuentra en la estación de triaje para analizar a los pacientes que llegan al sistema, realizar un rápido diagnóstico y definir el destino del paciente, si se dirigirá a consultorio (salida del sistema) o entrará a ser atendido a clasificación.

- Recepcionista: Encargado de elaborar las fichas médicas de los pacientes para poder ser atendido en el sector de clasificación.
- Med\_clasificacion: Conformado por los médicos que atienden en el sector de clasificación, son los encargados de atender al paciente que fue clasificado para ingresar al área de emergencias, así como llenar la historia clínica de los mismos y decidir el destino de los pacientes, los cuales pueden ser: alta, hospitalización en el área de emergencia o shock trauma.
- Técnico\_lab: Este recurso está conformado por el técnico del laboratorio que se encarga de obtener la muestra de sangre u orina del paciente para su posterior análisis en el laboratorio.
- Analista: Recurso conformado por el especialista que se encarga de analizar y entregar los resultados al técnico del laboratorio sobre los exámenes realizados a cada paciente.
- Enfermera\_rayosX: Enfermera encargada de inscribir, y entregar estas citas, a los pacientes para la posterior realización del examen.
- Técnico\_rayosX: Técnico encargado de utilizar la máquina de rayos X para realizar el examen a los pacientes.
- Medico\_interconsulta: Médico especialista en un campo determinado al cual se le llama cuando se requiere la opinión de un especialista sobre cierto paciente para dar un correcto diagnóstico.
- Camilla: Recurso que es ocupado por cada paciente que ha requerido de una hospitalización en el área de emergencias.
- Medico\_shock: Médico encargado de estabilizar a los pacientes que llegan al sector de Shock Trauma.
- Farmaceutico: Encargado de entregar las medicinas, sueros, etc. a los pacientes que fueron dados de alta

#### d) Estaciones

Las estaciones, definidas en el modelo como áreas físicas donde los pacientes recibirán la atención necesaria, son las siguientes:

- Triaje
- Ventanilla
- Clasificación
- Laboratorio
- Inscripción rayos X
- RayosX

- Interconsulta
- Hospitalización\_emergencia
- Shock\_trauma
- Farmacia
- Salida

#### e) Colas

Todas las colas definidas en el modelo se rigen por la metodología FIFO (First In First Out), debido a que no hay prioridad entre los pacientes que requieren atención. Se definieron colas para todas las estaciones a excepción del sector shock trauma ya que los pacientes que llegan a este sector se encuentran en estado grave y requieren estabilización inmediata; tampoco presentan colas las estaciones de hospitalización e interconsulta.

Las colas definidas en el modelo son:

- Cola\_triaje
- Cola\_ventanilla
- Cola\_clasificacion
- Cola\_laboratorio
- Cola\_inscripción
- Cola\_rayosX
- Cola\_farmacia

### 3.3 Supuestos

Como se explicó en el capítulo 1, es necesario contar con una cantidad adecuada de supuestos para el desarrollo del modelo. Para el trabajo desarrollado se tienen los siguientes supuestos:

- Los pacientes solo presentan una salud agravada luego del análisis del médico respectivo.
- El personal que es asignado al área de emergencias está presente durante todo su turno.
- El personal del turno siguiente llega a la hora en la que el personal del turno anterior termina sus labores.

- Los pacientes que llegan al área de emergencia por medio del transporte de ambulancia, luego de ser evaluado por el médico de la misma, siempre son enviados a shock trauma.
- Al paciente se le realizan todos los exámenes necesarios, según la primera evaluación del médico, de manera que en la segunda revisión se determina si el paciente se hospitalizará o seguirá un tratamiento.
- La condición de fallecido solo se da en el sector de shock trauma.
- A excepción de los sectores de hospitalización y shock trauma, un paciente es atendido a la vez en cada sector de emergencias.
- Los pacientes esperan en las colas del sistema hasta ser atendidos. No abandonan el sistema por espera excesiva.
- Los revelados de las placas del examen de rayos X siempre salen bien.
- Se asume que los médicos destinados a interconsulta siempre están disponibles durante sus horas de trabajo (8am – 6pm) para la atención del paciente que lo requiera.
- El tiempo de traslado del médico desde su consultorio hasta el área de emergencias se considera como variable determinística.

### 3.4 Descripción del modelo

La ruta que siguen los pacientes es la siguiente:

#### a) Evaluación en Triage

El paciente una vez que llega al sistema, se dirige al área de Triage en la cual, en el caso de que ya hubiesen paciente esperando, ingresará a la cola para luego ser atendido por el médico de turno. Una vez se termina la atención del médico, se determina el estado del paciente, el cual puede ser:

- **Muy grave:** El paciente necesita ser estabilizado inmediatamente y es dirigido a Shock Trauma. Este caso, como se detallará posteriormente en los supuestos, solo sucede si el paciente llega al sistema mediante el servicio de ambulancia.
- **Grave:** El paciente requiere de atención especializada y urgente, además exámenes especiales para obtener un diagnóstico acertado. Esta entidad ingresa a emergencias.
- **Leve:** El paciente no se encuentra en un estado grave, puede ser atendido por consultorio sin presentar riesgo de empeoramiento de su salud.

Este proceso se observa en la Figura 7.

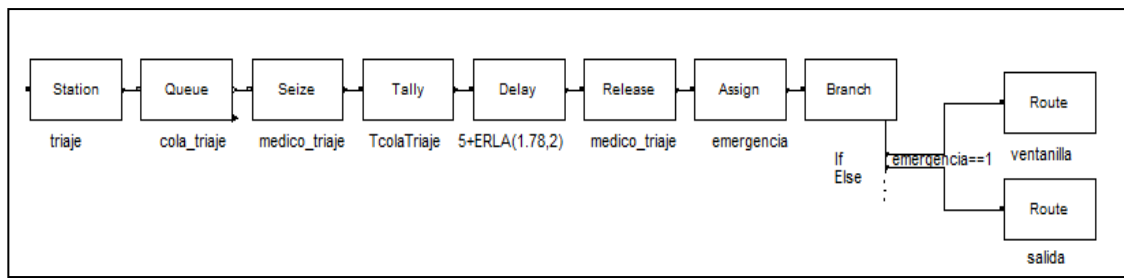


Figura 7: Modelo del proceso de evaluación en Triage.

Elaboración Propia

b) Atención en Ventanilla

Una vez el paciente es clasificado como paciente de emergencia, este debe dirigirse a ventanilla para hacer su historia clínica, la cual será enviada luego al personal de clasificación. Este proceso se observa en la Figura 8.

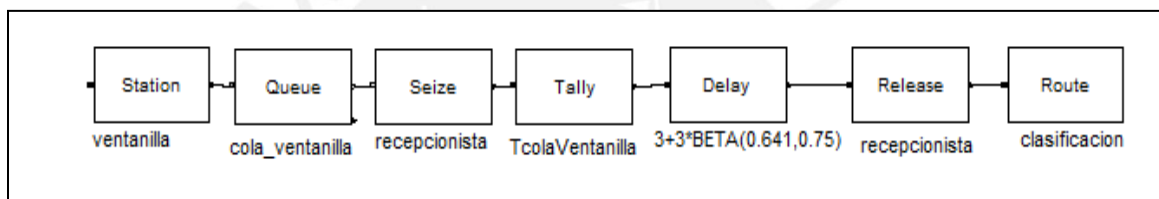


Figura 8: Modelo del proceso de realizar la historia clínica en ventanilla.

Elaboración Propia

c) Atención en Clasificación

Una vez la historia es hecha, el paciente procede a esperar su turno de atención en el sector de clasificación, sector en el cual revisan la historia clínica, examinan al paciente y definen el destino del paciente, el cual puede ser:

Derivado a consultorio: Cuando el paciente realmente no presenta una atención de emergencia y puede ser atendido en consultorio, de igual manera se le da un tratamiento. En el modelo se muestra esta derivación como el pase por la estación Farmacia.

- Alta: Sucede cuando el paciente a pesar de estar grave puede estabilizarse con un tratamiento específico. Se medica al paciente y este procede a la estación de farmacia para recibir los medicamentos necesarios.
- Shock\_Trauma: Cuando el paciente empeora y es necesaria la intervención inmediata, es enviado al sector de shock trauma para los tratamientos respectivos.

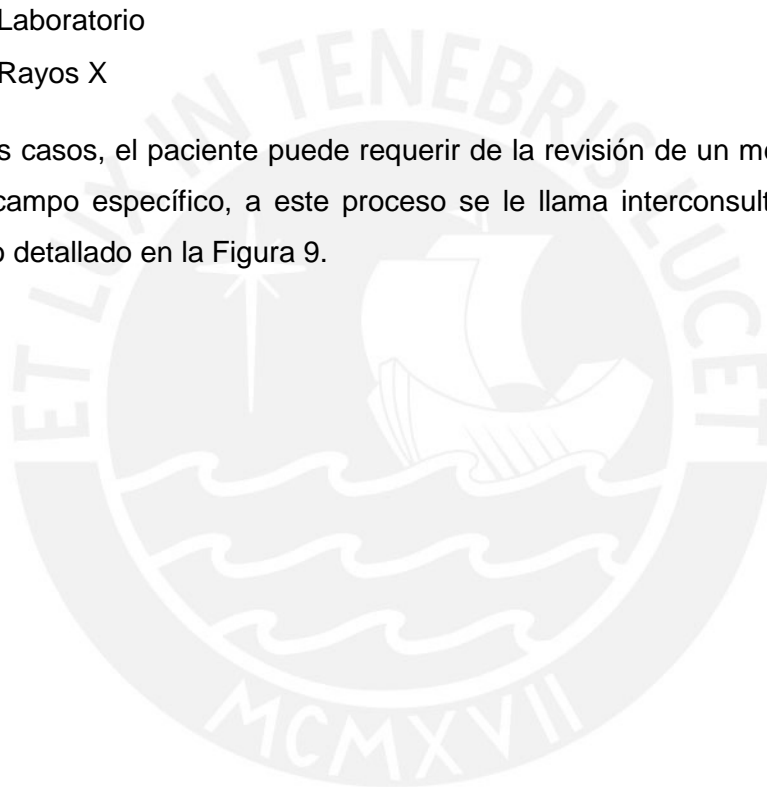


- Hospitalización\_emerg: Cuando el paciente se encuentra grave pero requiere de un cuidado y tratamiento para su enfermedad en durante un periodo significativamente menor (máximo un mes de hospitalización), pasa a ser hospitalizado en emergencia.

Por otro lado, el paciente que no se encuentra en total gravedad como los pacientes que requieren hospitalización, ni tampoco en tan buen estado como los pacientes que se van de alta o a consultorio, se le piden exámenes para dar un diagnóstico más acertado. Para realizar estos exámenes se puede dirigir a las siguientes estaciones:

- Laboratorio
- Rayos X

En otros casos, el paciente puede requerir de la revisión de un médico especialista en un campo específico, a este proceso se le llama interconsulta. Se observa el proceso detallado en la Figura 9.





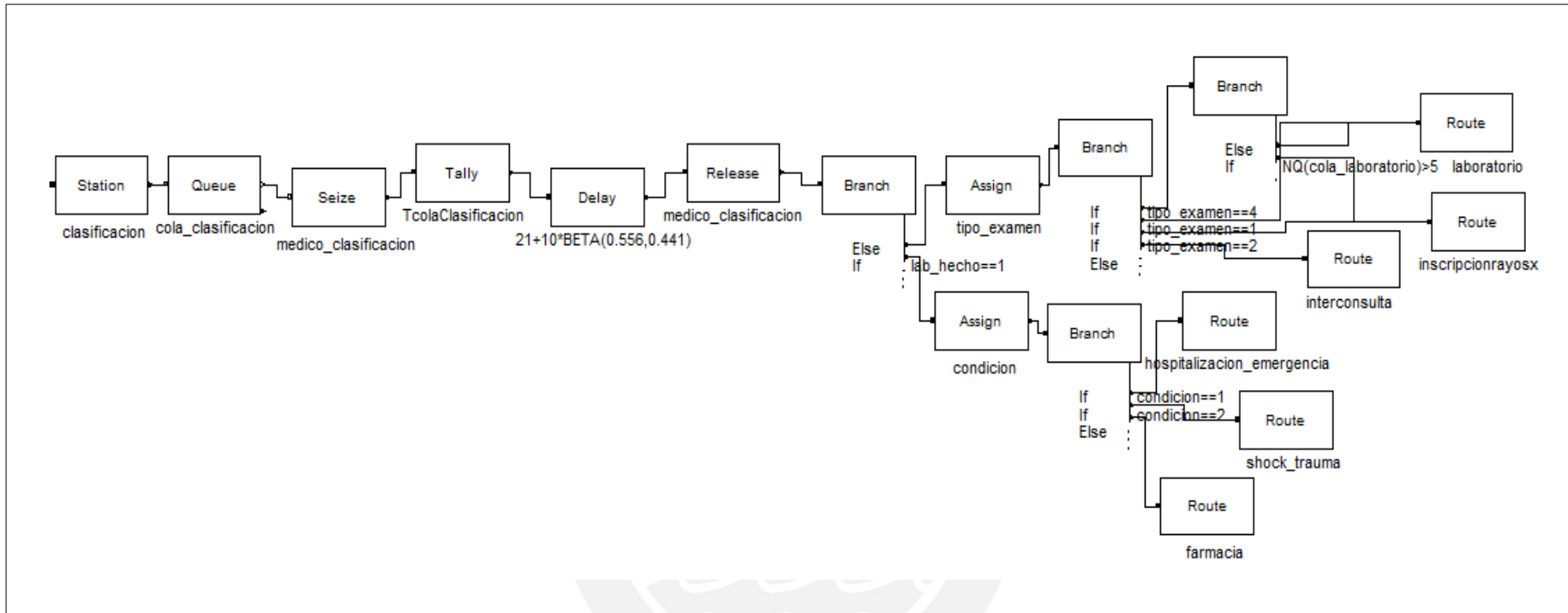


Figura 9: Modelo del proceso de atención en clasificación.

Elaboración Propia

d) Realización de exámenes

Una vez el paciente ha sido destinado a realizarse los exámenes necesarios, se dirigirá a una de las dos estaciones siguientes:

- Laboratorio: El paciente llega al laboratorio para que se le saque una muestra de sangre y poder realizarse el análisis que se le pidió por parte del médico. Una vez terminado el análisis, el paciente regresa a recoger los resultados que serán necesarios para que el médico de clasificación le dé un diagnóstico final.
- Rayos X: El paciente llega a rayos X para realizar los exámenes respectivos que fueron solicitados por el médico de clasificación. Una vez que llega a rayos X, primero realiza la inscripción para el examen, una vez inscrito procede a esperar su turno para la atención en sala. Una vez terminado el examen, el paciente debe esperar que el técnico de rayos X le comunique que el revelado de su placa ha salido bien y que puede retirarse.

El proceso de laboratorio y el proceso de rayos X se observan en la Figura 10, la Figura 11 y la Figura 12, respectivamente.

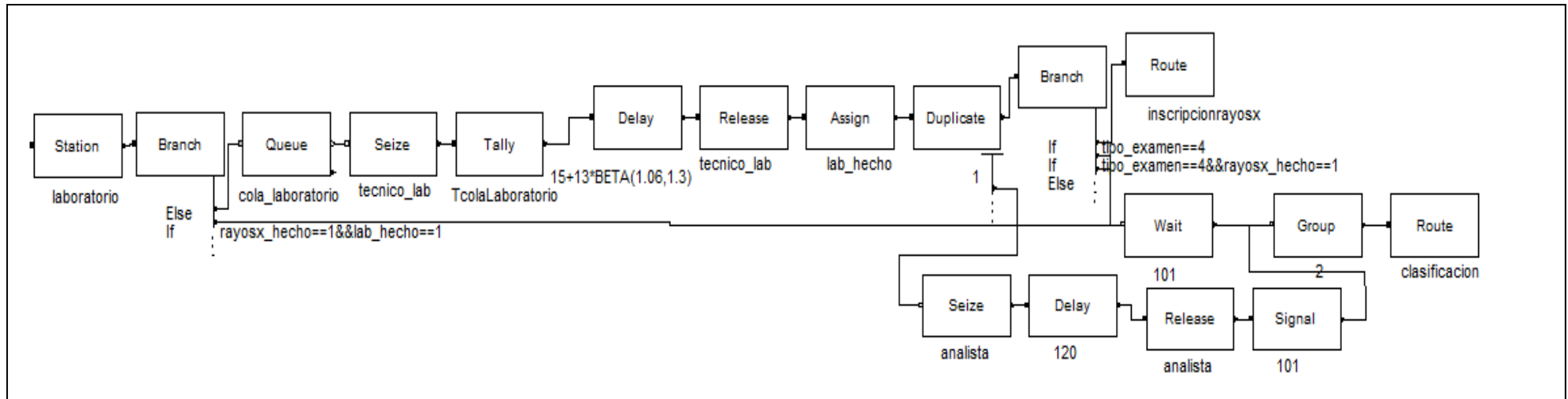


Figura 10: Modelo del proceso de atención en laboratorio  
Elaboración Propia

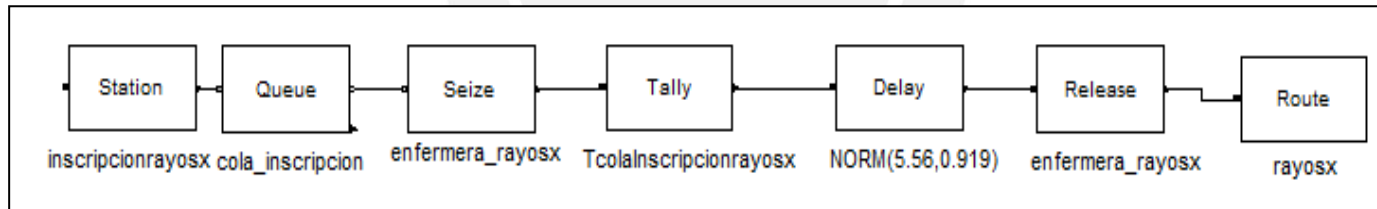


Figura 11: Modelo del proceso de atención en Inscripción Rayos X  
Elaboración Propia

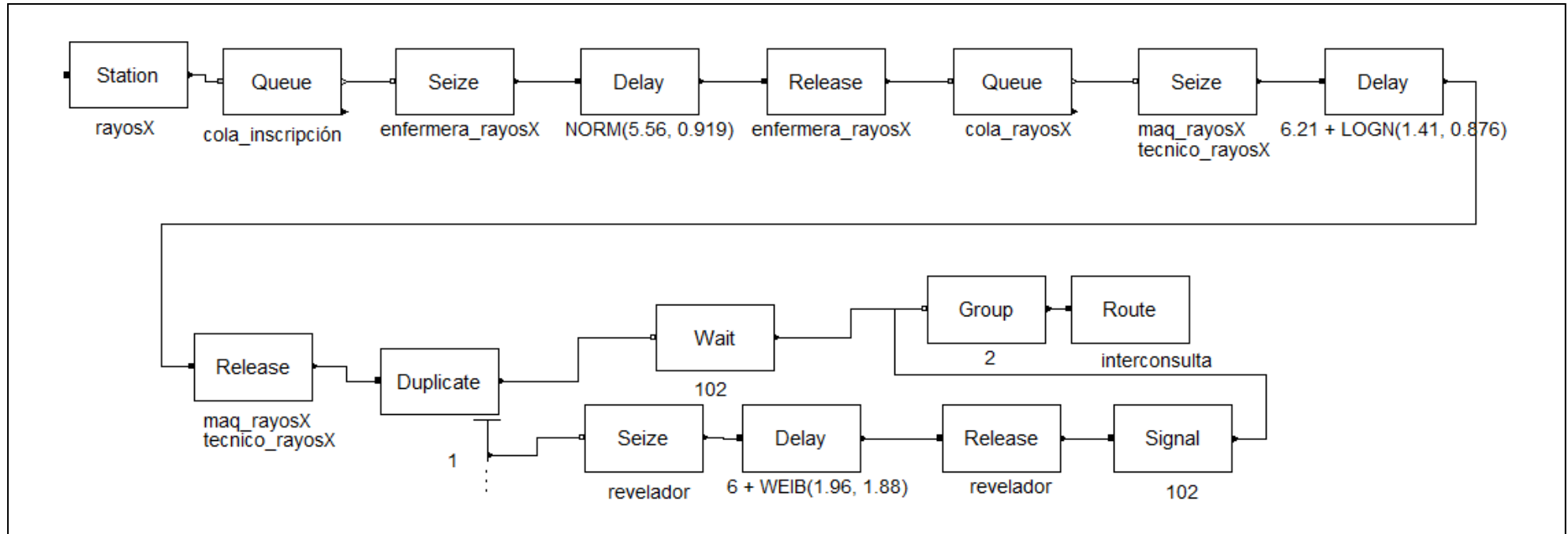


Figura 12: Modelo del proceso de atención en Rayos X  
Elaboración Propia

e) Interconsulta

Proceso en el cual el paciente es atendido por un médico especialista para recibir un diagnóstico más detallado. El proceso es detallado en la Figura 13.

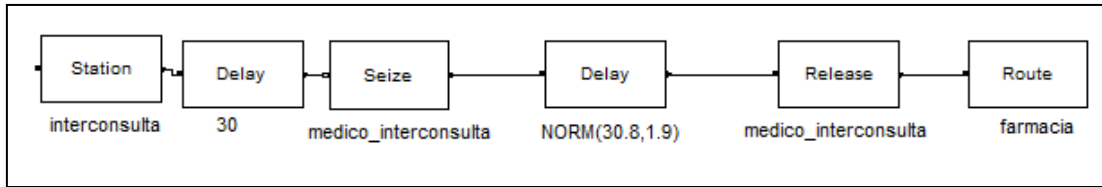


Figura 13: Modelo del proceso de atención por Interconsulta  
Elaboración Propia

f) Shock Trauma

El paciente que llegue a esta estación requiere atención inmediata pues se encuentra en estado crítico. Una vez llegado el paciente, el médico de shock trauma se encarga de realizar las acciones necesarias para estabilizarlo. Luego de estabilizar al paciente, se define el destino del paciente el cual puede ser: alta, observación o fallecimiento. El proceso se observa en la Figura 14.

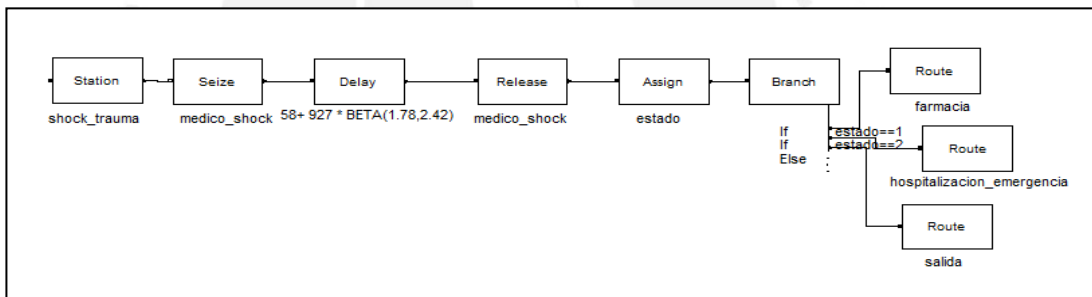


Figura 14: Modelo del proceso de atención en Shock Trauma  
Elaboración Propia

g) Hospitalización de emergencia

El paciente que llega a hospitalización requiere de cuidados por un determinado tiempo hasta que pueda ser dado de alta y siga con un tratamiento. Para este proceso, se evalúa el tiempo desde que el paciente entra a la sala hasta que deja de ocupar un espacio en la misma. El proceso se puede observar en la Figura 15.

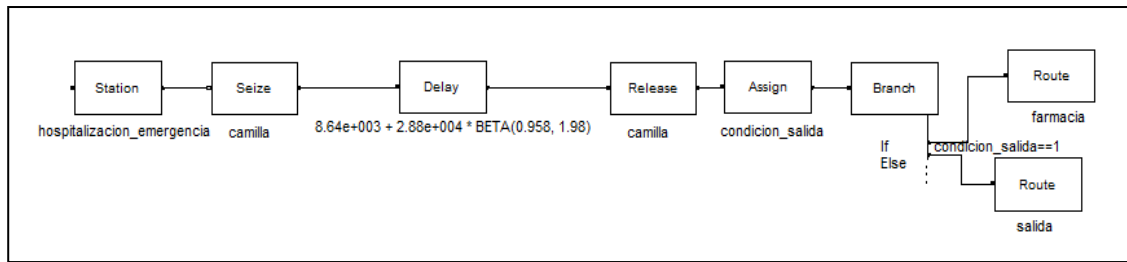


Figura 15: Modelo del proceso de hospitalización  
Elaboración Propia

h) Farmacia

El paciente llega a farmacia, en donde entrega las prescripciones del médico que lo trató; luego, el farmacéutico se encarga de buscar y entregar estos medicamentos que son solicitados por el paciente. El proceso se puede observar en la Figura 16.

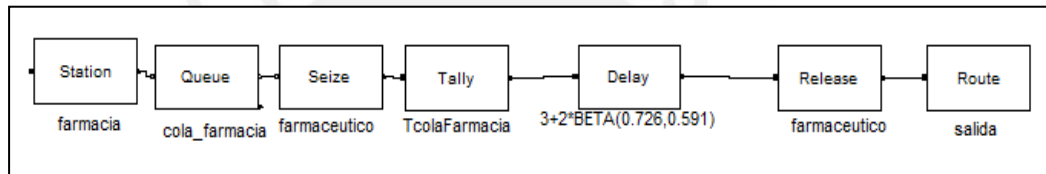


Figura 16: Modelo de atención en Farmacia  
Elaboración Propia

## Capítulo 4: Análisis de datos

En el presente capítulo se presentará el análisis de los datos de entrada del modelo. Para hacer completamente el análisis se realizará la recopilación de datos, se calculará el tamaño de muestra y se realizarán las pruebas de bondad de ajuste necesarias.

### 4.1 Recopilación de datos

Para construir el modelo de simulación correctamente, es necesario tomar los datos de manera adecuada para posteriormente poder validar el mismo y afirmar que representa correctamente la realidad. Para analizar los datos de entrada, se deben determinar qué datos son necesarios para construir el modelo, clasificar los datos, determinar la cantidad adecuada y finalmente realizar las pruebas de bondad de ajuste. En el presente capítulo se detallarán todos estos pasos para la obtención y análisis de los datos que se utilizarán en el sistema.

#### 4.1.1 Determinación de datos

Para construir el modelo que se analizará en el presente trabajo, se debe determinar qué datos son los necesarios para trabajar el modelo. Los datos que se necesitan para construir el modelo son:

- Tiempo entre llegadas de las ambulancias
- Tiempo entre llegadas de los pacientes por las mañanas
- Tiempo entre llegadas de los pacientes por las tardes
- Tiempo entre llegadas de los pacientes por las noches
- Tiempo de atención en Triaje
- Tiempo de atención en Ventanilla
- Tiempo de atención en clasificación
- Tiempo de atención en laboratorio
- Tiempo de análisis de las muestras de laboratorio
- Tiempo de inscripción para el examen de rayos X
- Tiempo de proceso de examen de rayos X
- Tiempo de revelado de placas de rayos X
- Tiempo de traslado del médico desde consultorio hasta el área de emergencias
- Tiempo de atención por interconsulta



- Tiempo de estabilización del paciente en Shock Trauma
- Tiempo de Hospitalización del paciente
- Tiempo de atención en la farmacia
- Probabilidad de ser clasificado como paciente de emergencia
- Probabilidad de requerir cierto examen y dirigirse a  $i=1,2$  (1: laboratorio, 2: rayos X)
- Probabilidad de ir al destino  $j$ , donde  $j=1,2,3,4,5$  (1: interconsulta, 2: farmacia, 3: Shock Trauma, 4: hospitalización emergencia, 5: salida)
- Probabilidad de ir de Shock Trauma al destino  $k=1,2,3,4$  (1: farmacia, 2: hospitalización emergencia, 3: salida)

#### 4.1.2 Clasificación de datos

Los datos que son necesarios obtener para la construcción del modelo tienen que ser clasificados para que posteriormente se pueda determinar la cantidad adecuada de estos. En la Tabla 7 se muestran los datos y la clasificación de cada uno de ellos.

Tabla 7: Clasificación de datos  
Elaboración Propia

Nombre del dato	Clasificación
Tiempo entre llegadas de las ambulancias	Variable Aleatoria
Tiempo entre llegadas de los pacientes durante $i=1,2,3$ (1: mañana, 2: tarde, 3: noche)	Variable Aleatoria
Tiempo de atención en Triage	Variable Aleatoria
Tiempo de atención en Ventanilla	Variable Aleatoria
Tiempo de atención en clasificación	Variable Aleatoria
Tiempo de atención en laboratorio	Variable Aleatoria
Tiempo de análisis de las muestras de laboratorio	Dato Determinístico
Tiempo de inscripción para el examen de rayos X	Variable Aleatoria
Tiempo de proceso de examen de rayos X	Variable Aleatoria
Tiempo de revelado de placas de rayos X	Variable Aleatoria
Tiempo de traslado del médico desde consultorio hasta el área de emergencias	Dato Determinístico
Tiempo de atención por interconsulta	Variable Aleatoria
Tiempo de Hospitalización de los pacientes	Variable Aleatoria
Tiempo de estabilización del paciente en Shock Trauma	Variable Aleatoria
Tiempo de atención en la farmacia	Variable Aleatoria
Probabilidad de ser clasificado como paciente de	Proporciones

emergencia	
Probabilidad de requerir cierto examen y dirigirse a $j=1,2$ (1: laboratorio, 2: rayos X)	Proporciones
Probabilidad de ir al destino $k$ , donde $k=1,2,3,4,5$ (1: interconsulta, 2: farmacia, 3: Shock Trauma, 4: hospitalización emergencia, 5: salida)	Proporciones
Probabilidad de ir de Shock Trauma al destino $l=1,2,3,4$ (1: farmacia, 2: hospitalización emergencia, 3: salida)	Proporciones

## 4.2 Tamaño de muestra

Luego de clasificar los datos necesarios para el modelo, se debe de calcular el tamaño adecuado de la muestra que será analizada en las pruebas de bondad de ajuste, para esto dependerá del tipo de variable que se analizará y se trabajará con los métodos de estimación de la media, para variables aleatorias, o estimación de la proporción, para las probabilidades. En este punto, se muestran los cálculos realizados por cada tipo de variable.

Previa a la estimación de la media, se realizará un análisis ANOVA para determinar el impacto de dos fuentes de variación presentes: "Día de la semana" (Factor A) y "Momento del día" (Factor B); y de esta forma determinar la manera en la cual se recopilarán los datos de llegada de los pacientes.

El análisis de la varianza de los datos (ANOVA) se observa en la Tabla 8:

Tabla 8: Matriz de Cálculos ANOVA  
Elaboración Propia

Factor A \ Factor B	L	M	M	J	V	S	D	Total de filas	Media de filas
Mañana	2.3	3.5	1.7	1.3	2.4	3.4	2.07	16.67	2.38
Tarde	8.5	11.7	10.6	10.73	11.3	9.7	9.4	71.93	10.27
Noche	20.5	24.6	27.3	20.4	26.2	30.7	30	179.7	25.68
Total columnas	31.3	39.8	39.6	32.43	39.9	43.8	41.4	268.3	
Media columnas	10.4	13.26	13.2	10.81	13.3	14.6	13.8		12.77

Obtenido estos valores, se procede a calcular los siguientes estadísticos:

$$C = 3429.385$$

$$S_x = 10.197$$

$$SCT = 2079.366$$

$$SCA = 43.137$$

$$SCB = 1965.682$$

$$SCE = 70.548$$

Con el cálculo de estos estadísticos, se procede a realizar la prueba de hipótesis respectiva del análisis ANOVA. Para realizar la prueba de hipótesis, se muestra el cálculo del estadístico de Fisher en la Tabla 9.

Tabla 9: Cálculo del estadístico F para las pruebas de hipótesis.  
Elaboración Propia

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Medias Cuadráticas	Estadística F Calculada
A	43.137	6	7.189	1.223
B	1965.682	2	982.841	167.179
Error	70.548	12	5.879	
Total	2079.366	20	103.968	

Una vez obtenido los estadísticos se procede a contrastar la prueba.

Para el Factor A se obtuvo un estadístico F calculado de 1.223, el estadístico F de tablas para 6 grados de libertad es de 2.996; por ende, se puede afirmar que no existe evidencia suficiente para decir que la Hipótesis nula es falsa.

Por otro lado para el Factor B se obtuvo un estadístico F calculado de 167.179, el estadístico F de tablas para 2 grados de libertad es de 3.885; por ende, se rechaza la hipótesis nula.

Con estos resultados, se realizará el análisis de los datos de tiempo entre llegada de los pacientes, segmentándolos por momento del día ya sea este mañana, tarde o noche, para posteriormente realizar el análisis de los recursos sobre o sub utilizados y finalmente realizar el aumento, reducción o redistribución de los recursos acorde a la optimización del modelo.

#### 4.2.1 Estimación de la media

En el modelo se tienen doce variables aleatorias, las cuales seguirán el método de estimación de la media para calcular la cantidad adecuada de datos que se necesitarán para las posteriores pruebas de bondad de ajuste. En la Tabla 10 se muestran las variables aleatorias, la media de una muestra aleatoria de tamaño 30, los valores necesarios para realizar los cálculos y la cantidad de variables que se necesitan por cada variable aleatoria. Debido a la poca cantidad de datos, el tiempo entre llegadas de las ambulancias se trabajará como una distribución Exponencial. Para el trabajo de estas variables, se utilizará un error y un nivel de significancia, ambos, del 5%. La población con la que se trabajarán los datos está calculada como, el promedio de pacientes atendidos en el hospital por día (180 pacientes) multiplicado por 30 días al mes, obteniendo 4800 pacientes en total atendidos al mes.

Tabla 10: Cálculo de los tamaños de muestra, Variables Aleatorias  
Elaboración Propia

Nombre de la variable	Media de la muestra	Varianza de la muestra	d (error)*(media)	Tamaño de muestra	Tamaño ajustado de la muestra
Tiempo entre llegadas de los pacientes por las mañanas	3.512	1.984	0.176	247.258	237
Tiempo entre llegadas de los pacientes por las tardes	10.475	11.888	0.524	166.482	162
Tiempo entre llegadas de los pacientes por las noches	20.661	14.209	1.033	51.149	51
Tiempo de atención en Triaje	8.669	4.971	0.433	101.660	100
Tiempo de atención en Ventanilla	4.319	1.061	0.215	87.395	87

Tiempo de atención en clasificación	29.209	4.464	1.460	8.0415	30
Tiempo de atención en laboratorio	20.538	13.406	1.026	48.840	49
Tiempo de inscripción para el examen de rayos X	5.366	0.916	0.268	48.915	49
Tiempo de proceso de examen de rayos X	7.933	1.338	0.396	32.671	33
Tiempo de revelado de placas de rayos X	7.740	1.187	0.387	30.451	31
Tiempo de atención por interconsulta	30.346	4.105	1.517	6.850	30
Tiempo de estabilización del paciente en Shock Trauma	447.833	31561.10 9	22.391	241.819	232
Tiempo de Hospitalización de los pacientes	19104	2944988 6.9	955.2	123.995	122
Tiempo de atención en la farmacia	3.928	0.430	0.196	42.852	43

#### 4.2.2 Estimación de la proporción

En el modelo se tienen cuatro proporciones, las cuales seguirán el método de estimación de la proporción para calcular la cantidad adecuada de datos que se necesitarán para las posteriores pruebas de bondad de ajuste. En la Tabla 11 se muestran las proporciones, la media de una muestra aleatoria de tamaño 30, los valores necesarios para realizar los cálculos y la cantidad de variables que se necesitan por cada variable aleatoria. Debido a la poca cantidad de datos, el tiempo entre llegadas de las ambulancias se trabajará como una distribución Exponencial.

Para trabajar estas variables, se trabajará con un error y un nivel de significancia del 5%.

Tabla 11: Cálculo de tamaños de muestra, probabilidades  
Elaboración Propia

Nombre de la probabilidad	Proporción Esperada	Z(0.975)	Tamaño de muestra	Tamaño de muestra ajustado
Probabilidad de ser clasificado como paciente de emergencia	0.133	1.96	90.404	88
Probabilidad de requerir cierto examen y dirigirse a $i=1,2,3$ (1: laboratorio, 2: rayos X, 3: Interconsulta)	0.724	1.96	156.662	152
Probabilidad de ir al destino $j$ , donde $j=1,2,3$ (1: farmacia, 2: Shock Trauma, 3: hospitalización emergencia)	0.264	1.96	152.334	148
Probabilidad de ir de rayos X al destino $k=1,2$ (1: hospitalización emergencia, 2: farmacia)	0.378	1.96	182.868	177
Probabilidad de ir de hospitalización emergencia a $l=1,2$ (1: farmacia, 2: salida)	0.846	1.96	102.143	100
Probabilidad de ir de Shock Trauma al destino $m=1,2,3,4$ (1: farmacia, 2: hospitalización emergencia, 3: salida)	0.397	1.96	187.683	182

### 4.3 Pruebas de bondad de ajuste

Con la información obtenida gracias a la estimación de la media, se procede a realizar las pruebas de bondad de ajuste para estos datos con el fin de utilizarlos en el modelo trabajado. En los casos de las variables cuyos tamaños de muestra ajustados son menores a noventa, se utilizarán los datos iniciales obtenidos.



Cómo ejemplo se muestra la prueba de bondad de ajuste realizada para el tiempo de atención en triaje en la Figura 17.

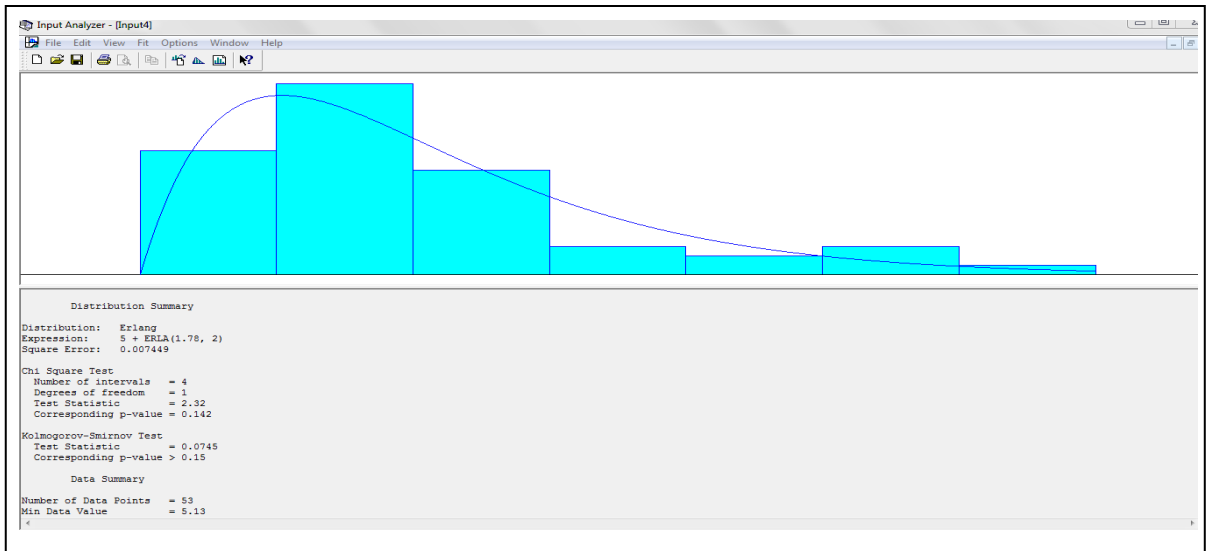


Figura 17: Prueba de Bondad de Ajuste del tiempo de atención en Triaje.  
Elaboración Propia

Como se observa en la Figura 17, Los datos se ajustan mejor a una distribución Erlang debido a que las pruebas de bondad de ajuste de la Kolmorov-Smirnov indica un pvalue mayor a  $\alpha=0.05$ ; por otro lado, se puede observar que la prueba de la chi-cuadrado no cumple con un pvalue mayor a 0.05. Sin embargo, solo necesita pasar una de las pruebas para que no se rechace la hipótesis nula. Por otro lado, se puede apreciar que el menor error cuadrático (0.007) de entre las distribuciones que fueron evaluadas en la pruebas de bondad de ajuste corresponde a la Distribución Erlang.

En la Figura 18, se observa el Fit All Summary obtenido de la prueba de bondad de esta variable.

```

=====
Fit All Summary
Data File: C:\Users\Jorge\Desktop\Triaje.txt

Function      Sq Error
-----
Erlang        0.00745
Gamma         0.0127
Weibull       0.014
Lognormal     0.0233
Beta          0.0283
Normal        0.0444
Exponential   0.0446
Triangular    0.0627
Uniform       0.111
    
```

Figura 18: Fit All Summary de la variable tiempo de atención en Triaje  
Elaboración Propia



Como se observa en la Figura 18, la distribución que se ajusta mejor a los datos es la distribución Erlang pues es la que presenta un menor error con respecto a las demás distribuciones.

Las pruebas de bondad de Ajuste realizadas a las demás variables aleatorias que se requieren para trabajar el modelo serán mostradas en el Anexo 3.

#### 4.4 Resumen de Variables Aleatorias

Como síntesis del presente capítulo, se presenta un cuadro resumen de las variables aleatorias analizadas para la construcción del modelo, así como los tamaños de muestra necesarios y la distribución a la que los datos mejor se ajustan. Esto se puede observar en la Tabla 12.

Tabla 12: Cuadro resumen de las Variables Aleatorias  
Elaboración Propia

Nombre de la variable	Tamaño de muestra	Distribución
Tiempo entre llegadas de los pacientes por las mañanas	237	Beta
Tiempo entre llegadas de los pacientes por las tardes	162	Triangular
Tiempo entre llegadas de los pacientes por las noches	51	Normal
Tiempo de atención en Triage	100	Erlang
Tiempo de atención en Ventanilla	87	Beta
Tiempo de atención en clasificación	90	Beta
Tiempo de atención en laboratorio	90	Beta
Tiempo de inscripción para el examen de rayos X	90	Normal

Tiempo de proceso de examen de rayos X	90	LogNormal
Tiempo de revelado de placas de rayos X	90	Weibull
Tiempo de atención por interconsulta	90	Normal
Tiempo de estabilización del paciente en Shock Trauma	232	Beta
Tiempo de Hospitalización de los pacientes	122	Beta
Tiempo de atención en la farmacia	90	Beta

## Capítulo 5: Análisis y Validación de Resultados

En el capítulo 5, se mostrarán los datos obtenidos del modelo de simulación y la validación de los mismos. En primer lugar se definirá y analizará el tipo de sistema con el que se trabaja para posteriormente trabajar la validación de los resultados realizando la prueba de t-student.

### 5.1 Análisis de Resultados

Posterior a la corrida del modelo, se debe analizar los resultados que este emite y de esta forma determinar si el modelo trabajado representa correctamente a la realidad o no. En primer lugar, se definirá que tipo de sistema es el modelado; luego, se analizará al sistema según los pasos necesarios y finalmente se dará la validación de los resultados del modelo mediante el cálculo del ancho de intervalo o las pruebas de hipótesis.

#### 5.1.1 Definición del Sistema

Con las características que presenta el sistema analizado, se define que el modelo de simulación realizado corresponde al análisis de un sistema No Terminal. Por ende, se utilizará el Element DSTATS junto al Output Analyzer para analizar el sistema trabajado.

Previo a desarrollar el análisis de la data obtenida de las corridas del modelo, se realizará un análisis de los 4 casos presentados en el capítulo 2 para determinar la sobre o subutilización de los recursos presentes en el sistema. Los resultados de las corridas de estos cuatro casos se ven en las Tablas 13, 14, 15 y 16 respectivamente.

- Caso 1: Tiempo entre arribos de los pacientes a lo largo del día. Se segmentarán las llegadas según sea durante la mañana, durante la tarde o durante la noche.

Tabla 13: Resultados de corrida del Caso 1  
Elaboración Propia

Estación	Tiempo Promedio de espera
Triaje	57.751
Clasificación	105.25
Laboratorio	42.354
Inscripción en Rayos X	25.436
Rayos X	48.109
Ventanilla	24.617
Farmacia	30.070

- Caso 2: Tiempo entre arribos de los pacientes únicamente durante la mañana.

Tabla 14: Resultados de corrida del Caso 2  
Elaboración Propia

Estación	Tiempo Promedio de espera
Triaje	97.25
Clasificación	151.25
Laboratorio	77.109
Inscripción en Rayos X	48.436
Rayos X	63.070
Ventanilla	49.617
Farmacia	56.047

- Caso 3: Tiempo entre arribos de los pacientes únicamente durante la tarde.

Tabla 15: Resultados de corrida del Caso 3  
Elaboración Propia

Estación	Tiempo Promedio de espera
Triaje	47.713
Clasificación	85.725
Laboratorio	32.333
Inscripción en Rayos X	37.445
Rayos X	37.174
Ventanilla	33.617
Farmacia	15.456

- Caso 4: Tiempo entre arribos de los pacientes únicamente durante la noche.

Tabla 16: Resultados de corrida del Caso 4  
Elaboración Propia

Estación	Tiempo Promedio de espera
Triaje	24.327
Clasificación	47.356
Laboratorio	19.359
Inscripción en Rayos X	17.319
Rayos X	26.736
Ventanilla	12.784
Farmacia	7.027

Como se observa en todos los casos, debido a que se hay tiempos de espera por parte de los pacientes, lo cual se puede traducir en colas de espera para acceder a los servicios, se observa que todos los recursos dentro del hospital son sobre utilizados. Por ende, luego de la optimización se definirá si se aumentarán recursos en algunas áreas o en todas con el fin de reducir la cantidad de pacientes que esperan.

Con este análisis, se definirá que se realizará el análisis de los datos de salida para el primer caso, análisis de los tiempos entre arribos de los pacientes a lo largo del día, siendo estos segmentados por momento durante el día (mañana, tarde o noche).

### 5.1.2 Análisis del Estado Estable

Debido a que el sistema trabajado está clasificado como un sistema No Terminal, se debe realizar el procedimiento del análisis del estado estable para cada output generado (Tiempos totales dentro del sistema, tiempos de atención, etc.). Como ejemplo se mostrará el análisis realizado al tiempo de espera promedio en ventanilla.

Se aprecia el ploteo del tiempo promedio de espera en la cola de triaje en la Figura 19.

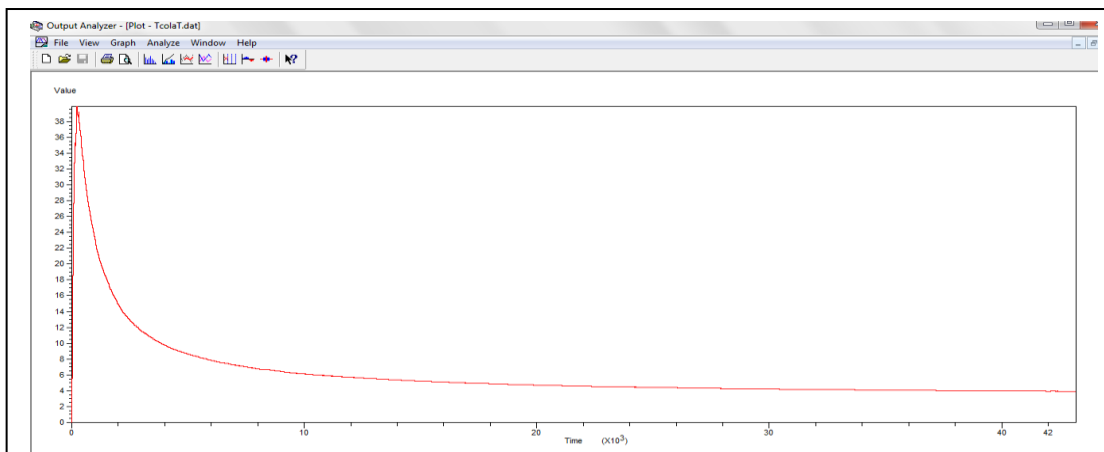


Figura 19: Ploteo de TAVG espera en cola triaje  
Fuente: Software Output Analyzer

Luego del ploteo de la variable, se procede a realizar el truncamiento del periodo de calentamiento para posteriormente trabajar con el estado estable.

Se observa el truncamiento hecho en batches de tamaño 200 con el periodo de truncamiento den  $t = 1500$  minutos en la Figura 20.

```

Batch/Truncate Summary
TAVG(TcolaTriage)

Batched observations stored in file : TcolaTmedia.dat

Initial Time Truncated :      1500
Number of Batches      :      208
Time Spanned Per Batch :      200
Trailing Time Truncated :      100
Estimate of Covariance Between Batches : 0.9969
  
```

Figura 20: Truncamiento del periodo de calentamiento  
Fuente: Software Output Analyzer

Posteriormente se obtiene el correlograma correspondiente como se observa en la Figura 21.

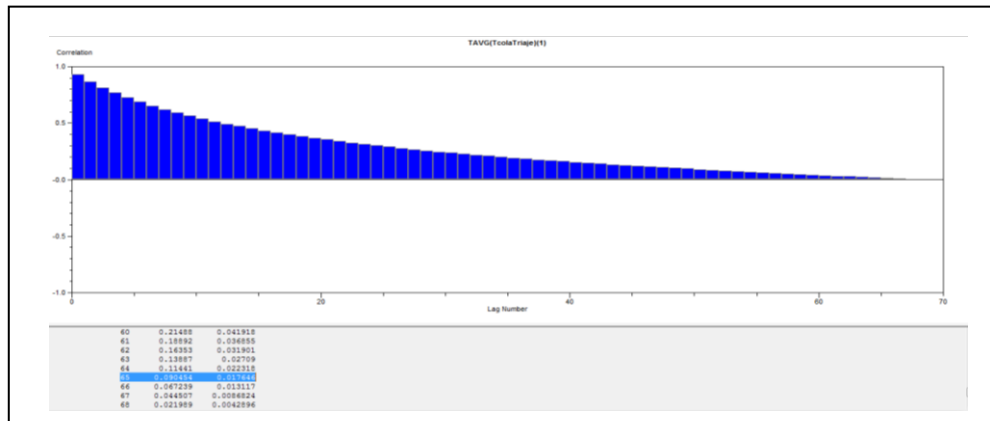


Figura 21: Correlograma del periodo estable  
Fuente: Software Output Analyzer

Del correlograma se observa que el número de batches mínimos para el truncamiento luego del periodo de calentamiento es 65; pues es el valor de lag que muestra el primer valor por debajo de un índice de correlación mínimo de 10%.

En la Figura 22 se observan los resultados del truncamiento con una cantidad de 10 batches.

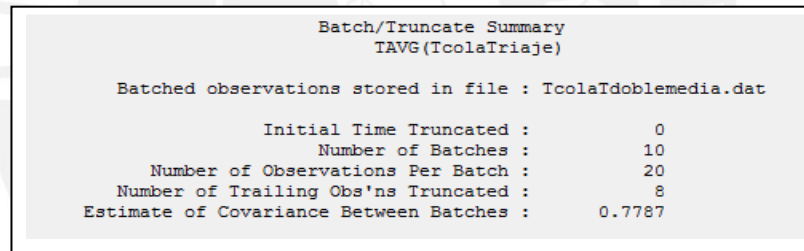


Figura 22: Truncamiento con la cantidad de batches obtenidos del Correlograma  
Fuente: Software Output Analyzer

Se observa que con 20 observaciones por intervalo, obtenemos 10 batches, para ser trabajado con la fórmula del cálculo de longitud de réplica.

Una vez obtenidos estos datos, se calcula el ancho de intervalo, la media y desviación estándar de los datos como se observa en la Figura 23.

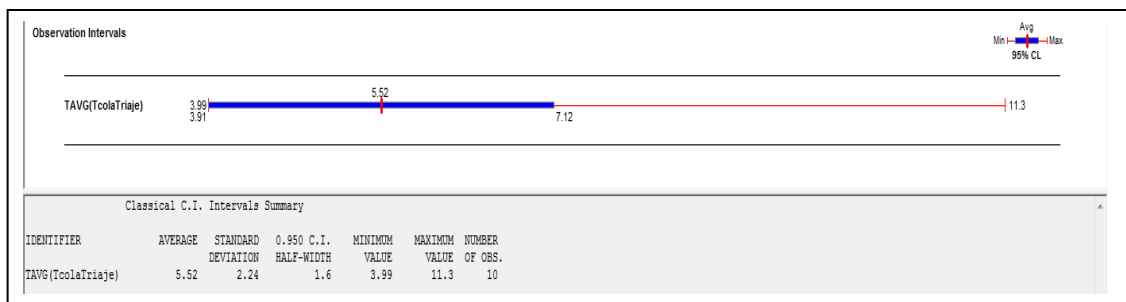


Figura 23: Intervalo de confianza de la variable TAVG espera en cola de triaje  
Fuente: Software Output Analyzer



Con un nivel de confianza al 95%, obtenemos los valores mostrados en la imagen anterior. Un Average (Esperado de Y) de 5.52, desviación estándar (S) de 2.24 y una mitad de ancho (h) de 1.6.

El análisis de las demás variables obtenidas del modelo se puede apreciar en el Anexo 4.

### 5.1.3 Cálculo de la Longitud de Réplica

Con los datos obtenidos del análisis del estado estable de las variables del sistema, se construye la Tabla 17 como resumen de los datos obtenido así como el valor de la longitud de réplica necesaria para trabajar el modelo.

Tabla 17: Cálculo de la Longitud de Réplica del modelo.  
Elaboración Propia

Variable	Truncate Time	Batch Size (A1)	Number of Batches	A2	K2	T (minutos)
Tiempo en cola Triage	1500	200	208	45	10	361500
Tiempo en cola Clasificación	7000	200	181	14	12	77000
Tiempo en cola Laboratorio	4000	200	191196	20	10	52000
Tiempo en cola Inscripción	14000	200	196146	19	11	63400
Tiempo en cola Farmacia	10000	200	208166	13	12	43800

De acuerdo a la Tabla 17, longitud de réplica será la mayor de entre las longitudes de réplicas de los 5 indicadores anteriormente expuestos. Finalmente se tiene que la longitud de réplica debe ser de 361500 minutos.

## 5.2 Validación de Resultados

Una vez determinado el comportamiento del sistema y haber analizado el estado estable del mismo, se procede a comparar los resultados obtenidos del modelo con los datos de la realidad para corroborar que el modelo realmente representa la realidad simulada. Este análisis contará en primer lugar con el cálculo de la longitud de réplica del modelo y posteriormente se realizará la prueba de hipótesis t-student.

### 5.2.1 Prueba de Hipótesis t-student

Una vez obtenida la longitud de réplica necesaria que se trabajará en el modelo, se realiza la prueba de hipótesis t-student necesaria para corroborar que el modelo trabajado representa correctamente la realidad. Se observa el cálculo realizado en la Tabla 18.

De la prueba de hipótesis t-student, se observa que los valores calculados en el modelamiento son similares a los de la realidad, pues el parámetro calculado t-student es menor al crítico; por ende, se puede afirmar que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula. En otras palabras, no existe evidencia para demostrar que los valores que se obtienen por el modelamiento en el software Arena son distintos a los de la realidad.

Tabla 18: Resumen de pruebas t-student realizadas

Elaboración Propia

Nombre de la variable	Media	Desviación Estándar	H	H*	K2*	Porcentaje	Porcentaje buscado	Porcentaje	Dato: C	tcalculado	Tcrítico
Tiempo en cola Triaje	5.52	2.24	1.6	0.8	40	28.99%	1%	14.49%	6.432	1.287	1.305
Tiempo en cola Clasificación	58.1	3.62	2.3	1.6	25	3.96%	1%	2.75%	61.3	3.062	3.158
Tiempo en cola Laboratorio	30.8	0.764	0.547	0.5	12	1.78%	1%	1.62%	29.43	5.67	6.192
Tiempo en cola Inscripción	13.6	1.24	0.851	0.8	13	6.26%	1%	5.88%	15.21	4.205	5.295
Tiempo en cola Farmacia	5.39	0.0644	0.041	0.04	13	0.76%	1%	0.74%	5.42	1.614	2.104

## Capítulo 6: Propuestas de mejora

En el presente capítulo se detallarán los pasos y elementos necesarios para la obtención de la solución óptima que satisficará las restricciones que el sistema presenta y el objetivo que se quiere alcanzar. En primer lugar se detallarán los *controls* y *responses*; una vez definidos estos se fijarán las restricciones en las cuales están involucrados y finalmente la función objetivo que contiene a ambos.

### 6.1 Definición de Controles

Las variables sobre las que se tienen control, que se trabajarán en el OpQuest para la obtención de la solución óptima, son los siguientes:

- Número de médicos en Triage
- Número de médicos en Clasificación
- Número de recepcionistas en Ventanilla
- Número de recepcionistas en Inscripción de rayos X
- Número de analistas en laboratorio
- Número de técnicos de laboratorio
- Número de farmacéuticos
- Número de técnicos de rayos X
- Número de camas en para hospitalización
- Número de enfermeras en hospitalización
- Número de médicos en shock trauma

Con estos *controls* descritos, se requiere definir del mismo modo los *responses* asociados para finalmente obtener el resultado óptimo.

El uso de los *controls* en OpQuest se puede observar en la Figura 24.

Controls None

None Summary								
Included	Control /	Element Type	Type	Low Bound	Suggested Value	High Bound	Step	Description
<input checked="" type="checkbox"/>	analista	Resource	Discrete	2	3	5	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	camilla	Resource	Discrete	39	39	50	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	enfermera_rayosx	Resource	Discrete	1	1	2	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	farmaceutico	Resource	Discrete	1	1	2	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	medico_clasificacion	Resource	Discrete	2	2	5	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	medico_interconsulta	Resource	Discrete	24	25	26	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	medico_shock	Resource	Discrete	3	5	6	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	medico_triaje	Resource	Discrete	1	1	3	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	recepcionista	Resource	Discrete	1	1	2	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	tecnico_lab	Resource	Discrete	1	3	3	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	tecnico_rayosx	Resource	Discrete	2	2	5	1	

Add Control From Array

Figura 24: Controls utilizados en Optquest  
Fuente: Herramienta de Arena “OptQuest for Arena”

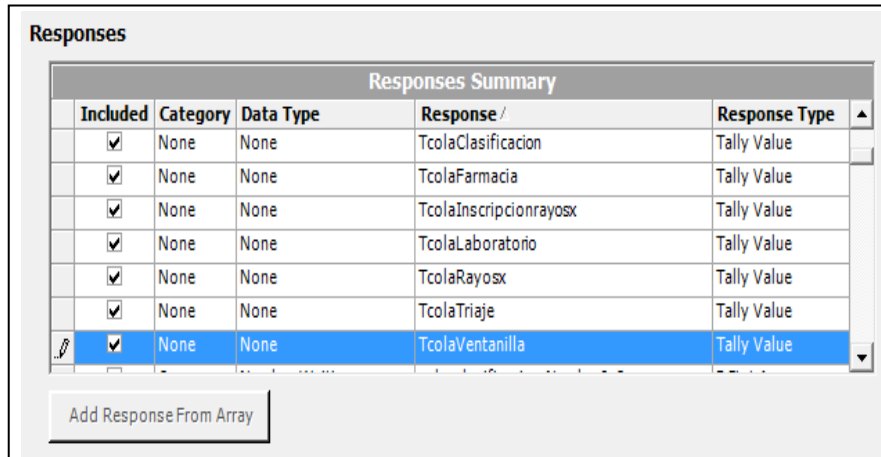
En la Tabla 19, se observa un resumen de los *controls* analizados con los respectivos valores mínimos y valores máximos que se utilizarán.

Tabla 19: Rango de variación de los *controls* utilizados  
Elaboración Propia

<b>Control</b>	<b>Valor mínimo (unidades)</b>	<b>Valor máximo (unidades)</b>
Médicos en Triaje	1	3
Médicos en Clasificación	2	5
Recepcionistas en Ventanilla	1	2
Recepcionistas en Rayos X	1	2
Técnicos de Laboratorio	1	3
Analistas de laboratorio	2	5
Técnico de rayos X	2	5
Camillas hospitalización	39	50
Farmacéuticos	1	1
Enfermeras hospitalización	3	5
Médicos Shock trauma	3	6

## 6.2 Definición de Responses

Los *Responses* que se serán utilizados para la optimización del modelo serán en prioridad el tiempo promedio de espera en cola de los pacientes en cada estación del área de emergencias. En la Figura 25 se observan los *responses* que se tomarán en cuenta para ser desarrollados con el OptQuest.



Responses Summary					
Included	Category	Data Type	Response /	Response Type	
<input checked="" type="checkbox"/>	None	None	TcolaClasificacion	Tally Value	
<input checked="" type="checkbox"/>	None	None	TcolaFarmacia	Tally Value	
<input checked="" type="checkbox"/>	None	None	TcolaInscripcionrayosx	Tally Value	
<input checked="" type="checkbox"/>	None	None	TcolaLaboratorio	Tally Value	
<input checked="" type="checkbox"/>	None	None	TcolaRayosx	Tally Value	
<input checked="" type="checkbox"/>	None	None	TcolaTriaje	Tally Value	
<input checked="" type="checkbox"/>	None	None	TcolaVentanilla	Tally Value	

Figura 25: Responses utilizados en OptQuest  
Fuente: Herramienta de Arena “OptQuest for Arena”

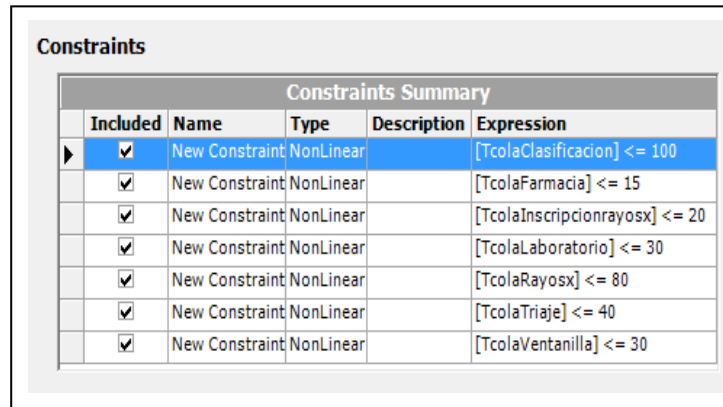
En la Tabla 20, se observa el nombre de los *responses* a utilizar, el valor máximo actual y el valor espera al cual se espera reducir.

Tabla 20: Resumen de *responses* utilizados  
Elaboración Propia

<b>Response</b>	<b>Valor promedio (minutos)</b>	<b>Valor esperado (minutos)</b>
TcolaTriaje	57.751	25
TcolaClasificación	105.25	35
TcolaRayosX	42.354	20
TcolaInscripciónRayosX	25.436	15
TcolaVentanilla	48.109	25
TcolaFarmacia	24.617	10
TcolaLaboratorio	30.070	15

### 6.3 Restricciones

Con los Controles y Respuestas correctamente definidos, se procede a realizar las restricciones utilizadas en el modelo. Para las restricciones, se tratará de lograr la minimización de los tiempos promedios de espera en cola para cada estación. El archivo de Optquest con estas restricciones se observa en la Figura 26.

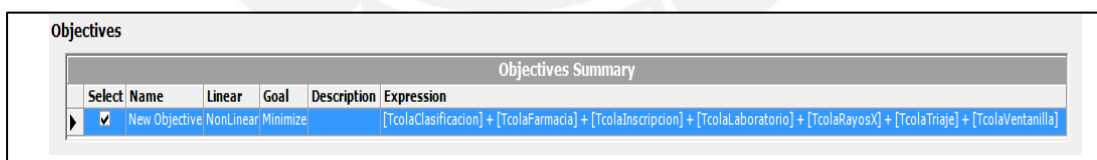


Constraints Summary				
Included	Name	Type	Description	Expression
<input checked="" type="checkbox"/>	New Constraint	NonLinear		[TcolaClasificacion] <= 100
<input checked="" type="checkbox"/>	New Constraint	NonLinear		[TcolaFarmacia] <= 15
<input checked="" type="checkbox"/>	New Constraint	NonLinear		[TcolaInscripcionrayosx] <= 20
<input checked="" type="checkbox"/>	New Constraint	NonLinear		[TcolaLaboratorio] <= 30
<input checked="" type="checkbox"/>	New Constraint	NonLinear		[TcolaRayosx] <= 80
<input checked="" type="checkbox"/>	New Constraint	NonLinear		[TcolaTriaje] <= 40
<input checked="" type="checkbox"/>	New Constraint	NonLinear		[TcolaVentanilla] <= 30

Figura 26: Restricciones aplicadas a la optimización del modelo.  
Fuente: Herramienta de Arena “OptQuest for Arena”

### 6.4 Objetivo

Con las restricciones planteadas, se establece el objetivo de la optimización, el cual es la reducción del tiempo de espera de los pacientes en cola. Es decir, la función objetivo trabajada será la minimización de la suma total de tiempos de espera en cola, respuestas ya seleccionadas anteriormente. Con estas respuestas, se formuló la función objetivo que se observa en la Figura 27.



Objectives Summary					
Select	Name	Linear	Goal	Description	Expression
<input checked="" type="checkbox"/>	New Objective	NonLinear	Minimize		[TcolaClasificacion] + [TcolaFarmacia] + [TcolaInscripcion] + [TcolaLaboratorio] + [TcolaRayosx] + [TcolaTriaje] + [TcolaVentanilla]

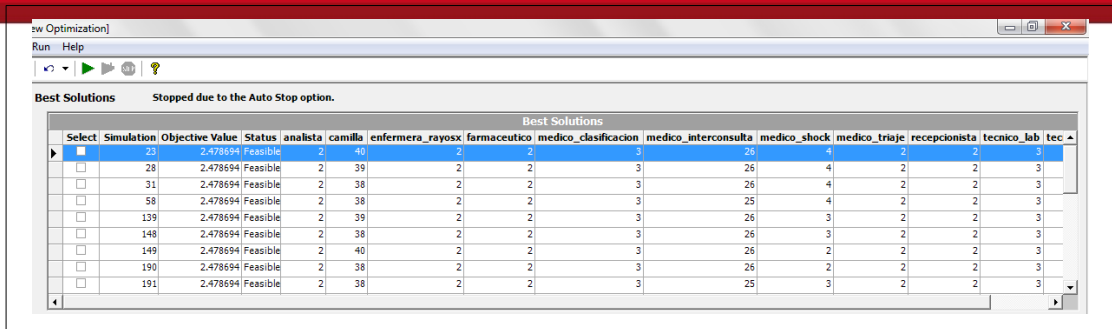
Figura 27: Objetivo a trabajar en OptQuest  
Fuente: Herramienta de Arena “OptQuest for Arena”

Para realizar la optimización del modelo, se trabaja con una programación por metas donde la prioridad es la reducción de tiempos de espera en el sistema y luego la minimización de costos por la implementación de la optimización.

### 6.5 Resultados

Con las restricciones y la función objetivo definidas, se obtiene la solución óptima del Optquest como se observa en la Figura 28.





Select	Simulation	Objective Value	Status	analista	camilla	enfermera_rayosx	farmaceutico	medico_clasificacion	medico_interconsulta	medico_shock	medico_triaje	recepcionista	tecnico_lab	tec
<input type="checkbox"/>	23	2.478694	feasible	2	40	2	2	3	25	4	2	2	3	3
<input type="checkbox"/>	28	2.478694	feasible	2	39	2	2	3	26	4	2	2	3	3
<input type="checkbox"/>	31	2.478694	feasible	2	38	2	2	3	26	4	2	2	3	3
<input type="checkbox"/>	58	2.478694	feasible	2	38	2	2	3	25	4	2	2	3	3
<input type="checkbox"/>	139	2.478694	feasible	2	39	2	2	3	26	3	2	2	3	3
<input type="checkbox"/>	148	2.478694	feasible	2	38	2	2	3	26	3	2	2	3	3
<input type="checkbox"/>	149	2.478694	feasible	2	40	2	2	3	26	2	2	2	3	3
<input type="checkbox"/>	190	2.478694	feasible	2	38	2	2	3	26	2	2	2	3	3
<input type="checkbox"/>	191	2.478694	feasible	2	38	2	2	3	25	3	2	2	3	3

Figura 28: Soluciones óptimas obtenidas del Optquest  
Fuente: Herramienta de Arena “OptQuest for Arena”

La solución óptima para el proceso es la mostrada en la Tabla 21.

Tabla 21: Resultados obtenidos del Optquest  
Elaboración Propia

Recurso	Cantidad
Analista	2
Camilla	40
Enfermera de rayos X	2
Farmacéutico	2
Médico de clasificación	3
Médico de interconsulta	25
Médico en shock trauma	4
Médico en Triaje	2
Recepcionista	2
Técnico de laboratorio	3
Técnico de rayos X	3

Cómo se observa en la Tabla 15, los resultados que se obtienen gracias al Optquest es el aumento de cada recurso en una unidad. En otras palabras, los costos en los que incurrirá la empresa serán bajos ya que en cuanto a bienes se necesitarán una camilla, una computadora de escritorio y una máquina de rayos X (por el técnico de rayos X adicional a contratar) adicional a los que se tienen actualmente. Por el lado de los recursos humanos, si bien los salarios son relativamente altos, la inclusión de una unidad más para cada uno de estos recursos dentro del área de emergencias no acarreará mayor preocupación para la empresa; esto se podrá apreciar en la posterior evaluación económica.

## Capítulo 7: Evaluación Técnica y Económica

En el presente capítulo se realizará las evaluaciones técnicas y económicas asociadas al sistema analizado. En primer lugar, como evaluación técnica se comentará el impacto de la nueva distribución de recursos en los tiempos de espera promedio, para posteriormente realizar la evaluación económica referente a la inversión en la que se incurrirá al momento de realizar la implementación de la propuesta de mejora obtenida en el capítulo anterior. Para esta segunda evaluación se realizará un análisis de la rentabilidad de la inversión y el valor presente neto.

### 7.1 Evaluación Técnica

Con los resultados obtenidos se realizará una nueva corrida del modelo en Arena y se observará la reducción de los tiempos promedio de espera en cada una de las colas analizadas. Esta reducción se observa en la Tabla 22.

Tabla 22: Reducción de los tiempos máximos de espera en el sistema  
Elaboración Propia

Cola	Tiempo de espera promedio antes de la optimización (minutos)	Tiempo de espera promedio después de la optimización (minutos)
Triaje	57.751	28.561
Clasificación	105.25	55.773
Laboratorio	42.354	31.607
Inscripción en rayos X	25.436	12.775
Rayos X	48.109	29.490
Ventanilla	24.617	18.536
Farmacia	30.070	12.283
Suma Total	333.587	189.025

Obtenidos los nuevos resultados del modelo, se analizan los indicadores obtenidos:

- Triaje, Farmacia: Se observa una reducción en casi la mitad del tiempo de espera, esto se debe a que la cantidad de personal en estas estaciones es ahora el doble, por lo que se puede inferir que al mejorar la infraestructura del hospital y tener un mayor espacio para la estación de triaje y farmacia se podrá

reducir los tiempos en cola a 0; sin embargo, esto no considera el posible incremento de pacientes al observar la nueva velocidad de atención.

- Clasificación: Al aumentar en una unidad la cantidad de médicos en esta estación, se reduce en un tercio el valor actual lo cual representa una gran mejora debido a que es la estación en la cual el tiempo de espera es bastante alto.
- Ventanilla, Laboratorio, Rayos X: La reducción del tiempo en estas estaciones es de un baja en comparación a las demás debido a que al aumentar el flujo de personas provenientes de las demás estaciones, Triage y Clasificación respectivamente, las colas en estas estaciones crecen por lo cual no se aprecia en gran medida la reducción de estos tiempos de espera en cola.

## 7.2 Evaluación Económica

En la evaluación económica se definirá la inversión en la que se incurrirá, los ingresos que percibe las institución en función del aumento de pacientes atendidos, los costos de la institución y el valor del WACC utilizado. Finalmente se realizará la evaluación de los indicadores financieros calculados.

### 7.2.1 Inversión

La inversión en la que incurrirá la empresa, es la mostrada en la Tabla 23.

Tabla 23: Resumen de la Inversión  
Elaboración Propia

Nombre del equipo	Precio Unitario (S/.) (Incluye IGV)	Cantidad	Costo total (S/.)
Camillas	550	1	550
Equipo de rayos X	4000	2	8000
Computadoras de escritorio	750	2	1500

Para la depreciación de los equipos informáticos se aplicará una tasa de depreciación del 25% según las normas establecidas por la SUNAT para el año 2013.

El proyecto tendrá un horizonte de 5 años debido a que por política del hospital cada 5 años se realiza la adquisición de nuevos equipos o la redistribución de los

equipos actuales según la cantidad de pacientes atendidos por unidad (hospitales, clínicas, etc.).

### 7.2.2 Costos

Durante todo el horizonte del proyecto, se incurrirá en los gastos del personal adicional que se contratará. Según los resultados obtenidos por el Optquest, se observa en la Tabla 24 el personal adicional que se requiere así como el sueldo mensual que cada uno de ellos percibirá.

Tabla 24: Resumen de costos incurridos por personal adicional  
Elaboración Propia

Personal	Sueldo (S/.)	Cantidad	Costo total (S/.)
Personal de rayos X	2000	1	2000
Personal de laboratorio	2500	1	2500
Médicos	4000	1	4000
Enfermeras	3000	1	3000
Recepcionistas	1500	1	1500
Farmacéuticos	2000	1	2000

Además del personal, se requiere la compra del modelo de Arena por parte de la empresa para poder realizar la investigación correspondiente y obtener estos resultados. El coste de la edición básica del software (*Arena Home Premium Edition*) asciende a los 2495 dólares americanos (6925 nuevos soles al tipo de cambio actual). Los costos presentados anteriormente son los cuales la empresa incurrirá durante todo el horizonte del proyecto, referente al pago realizado por tipo de personal.

### 7.2.3 Ingresos

Debido a que la entidad sobre la cual se realizó el trabajo de investigación es una entidad pública del estado, no se perciben ingresos directos a excepción de los 415000 nuevos soles recibidos anualmente; es decir, 35000 nuevos soles mensuales aproximadamente.

Debido a que el dinero recibido por las diferentes entidades pertenecientes a la DIRSAL se basa en la cantidad de pacientes que son atendidos, se tomará este reglamento interno para establecer ingresos y poder ingresarlos al flujo de caja del

proyecto a analizar, se dividirá este monto mensual entre todas las estaciones cuyas colas han sido analizadas y a su vez se encontrará la relación de ganancia con relación al tiempo de atención por paciente. En la Tabla 25 se observa la relación de ingresos del hospital.

Tabla 25: Tabla de ingresos obtenidos en el hospital por estación  
Elaboración Propia

Estación	Pacientes atendidos (X)	Espera promedio (W)	W/X	Monto asignado (S/.)	X'	W'	W'/X'	Ingreso total (S/.)
Triaje	4296	44.751	0.011	5000	4300	22.561	0.005	11000
Clasificación	4187	85.25	0.021	5000	4240	48.773	0.011	9545
Laboratorio	3650	22.354	0.006	5000	3780	15.607	0.004	7500
Inscripción en rayos X	3750	15.436	0.004	5000	3865	10.775	0.003	6666
Rayos X	3745	28.109	0.008	5000	3857	16.490	0.004	10000
Ventanilla	4292	13.617	0.003	5000	4298	7.536	0.002	7500
Farmacia	3780	11.070	0.003	5000	3880	5.283	0.001	15000

Con la relación obtenida, podemos asignar la diferencia de ingresos antes y después de la mejora, referentes a la cantidad de pacientes que son atendidos en el hospital mensualmente, al flujo de caja trabajado. Se mantiene como un supuesto que el hospital atenderá a la misma cantidad de pacientes a lo largo de todo el horizonte del proyecto. Finalmente se muestran los ingresos, por estación, que serán utilizados en el flujo de caja en la Tabla 26.

Tabla 26: Ingresos relevantes del flujo de caja  
Elaboración Propia

Estación	Ingreso (S/.)
Triaje	6000
Clasificación	4545
Laboratorio	2500
Inscripción en Rayos X	1666
Rayos X	5000
Ventanilla	2500
Farmacia	10000

### 7.2.4 Costo promedio ponderado del capital (WACC)

Para la evaluación económica del proyecto, es necesario estimar el costo promedio ponderado del capital (WACC por sus siglas en inglés). Para esto utilizaremos la siguiente fórmula:

$$WACC = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^n D_i * r_{di} + \frac{1}{K} \sum_{j=1}^m P_j * COK$$

$$K = \sum_{i=1}^n D_i + \sum_{j=1}^m P_j$$

Debido a que se utilizarán los recursos propios; es decir, no se contará con una fuente externa para implementar el proyecto de manera que no se creará endeudamiento, la expresión del WACC quedará reducida a:

$$WACC = COK$$

Para realizar el cálculo del COK (Costo de oportunidad), se hará de acuerdo al CAPM, *Capital Asset Pricing Model*, el cual define:

$$COK = r_f + \beta(r_m - r_f)$$

Donde:

$R_f$ : Tasa libre de riesgo

$R_m - R_f$ : Prima de riesgo promedio del mercado

$\beta$ : Coeficiente de riesgo específico

Para poder llevar la tasa de rentabilidad al mercado peruano, hay que realizar un ajuste sumándole el riesgo país, el cual es, al 29 de Octubre del 2013, 178 bps.

En la Tabla 27 se muestran los datos necesarios para el cálculo del COK.



Tabla 27: Datos para la estimación del COK  
Elaboración Propia

Dato	Notación	Valor actual
Tasa libre de riesgo	$R_f$	1.38%
Prima de riesgo promedio del mercado	$R_m - R_f$	8.45%
Coefficiente de riesgo específico	$\beta$	0.59
Riesgo país	-----	1.78 %

Debido a que el coeficiente  $\beta$  ha sido obtenido por parte de empresas norteamericanas, se debe apalancar este coeficiente considerando el D/E y la tasa de impuesto a la renta que se observa en el proyecto. Estos valores son 50.23% y 30% respectivamente.

Con estos valores se procede a calcular el valor del coeficiente  $\beta$  y el valor respectivo del COK.

$$\beta_p = \left[ 1 + \frac{D}{E} * (1 - T) \right] * \beta$$

De esto se obtiene un  $\beta_p$  igual a 0.81.

Finalmente el valor del COK es igual a 10.005% mensual

### 7.2.5 Indicadores Financieros (VAN, TIR)

Con los datos obtenidos correctamente, se procede a calcular los ratios económicos del proyecto VAN (Valor Actual Neto) y TIR (Tasa Interna de Retorno). Se observa el flujo de caja respectivo en la Figura 29.

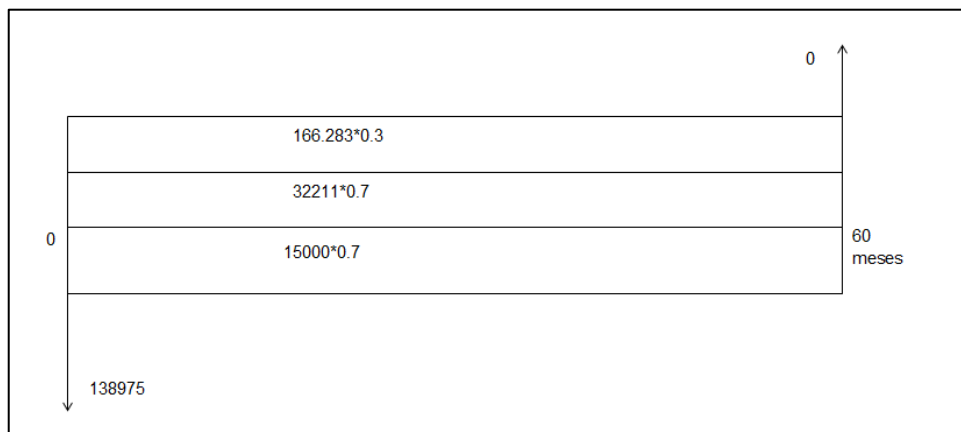


Figura 29: Flujo de caja del proyecto  
Elaboración Propia



Del flujo de caja mostrado en la Figura 29, se define lo siguiente:

- Inversión Inicial: Tiene un valor total de S/. 138975
- Ingresos Mensuales: Tiene un valor total de S/.32211. Para efectos del cálculo de rentabilidad del proyecto, este valor es multiplicado por el complemento de la tasa de impuesto a la renta. Estos ingresos relevantes en la Tabla 26.
- Costos Mensuales: Tiene un valor total de S/. 15000. Para efectos del cálculo de rentabilidad, este valor es multiplicado por el complemento de la tasa de impuesto a la renta. Estos costos son los sueldos del personal que labora en el área de emergencias.
- Escudo Tributario: Tiene un valor final de S/. 49878.90
- Liquidación: Tiene un valor de S/. 0 ya que no se tiene previsto la venta de los equipos adquiridos para la mejora del sistema, sino reasignarlos a otras unidades.

Los valores de Ingreso, Costos y Escudo Tributario siguen una distribución mensual a lo largo del horizonte definido.

Con el flujo de caja realizado, utilizando los datos y el costo de oportunidad calculado, se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 28.

Tabla 28: Tabla de Resultados del flujo de caja.  
Elaboración Propia

Ratio	Valor Calculado
VAN	S/.967541.834
TIR	47.133%

De los resultados obtenidos se observa que el valor del VAN es mucho mayor a 0 por lo cual el proyecto es rentable de realizar. Por otro lado el valor de la TIR es mayor al valor del COK, esto quiere decir que no se incurrirá en pérdidas puesto que la tasa de interés de retorno es mayor al costo del capital.

## Capítulo 8: Conclusiones y Recomendaciones

### 8.1 Conclusiones

- Gracias a los resultados obtenidos de los cálculos de la Matriz riesgo-impacto del capítulo 2, obtenemos que la causa de mayor impacto es la falta de recursos para realizar los procesos del área de emergencias, ya que fue esta causa la que obtuvo un puntaje más alto con 24 puntos, definiéndose así como la causa más impactante en el sistema.
- Gracias a los resultados obtenidos de los cálculos de la Matriz FACTIS del capítulo 2, obtenemos que la mejor contramedida para disminuir el impacto de la causa raíz de la generación de problemas en el sistema, es la mejora de procesos; contramedida que obtuvo 81 puntos en la evaluación de viabilidad, definiéndose así como la mejor alternativa de solución para poder disminuir el impacto de los problemas que actualmente se presenta en el sistema.
- El aumento de una unidad para cada tipo de recurso involucrado en el sistema, como se detallan en los resultados obtenidos en el Optquest en el capítulo 6, contribuirá a la reducción del tiempo total de espera en el sistema (suma de todos los tiempos en cola) en aproximadamente un 43%.
- El Valor Actual Neto, calculado en la evaluación económica del capítulo 7, tiene como valor más de S/. 800,000. Siendo este un valor mucho mayor a 0, se puede concluir que la mejora de procesos a implementar será rentable. Asimismo, el valor de 47% calculado para la TIR, mayor al valor de 10% del costo de oportunidad calculado, también nos ayuda a sustentar la viabilidad de la mejora de procesos planteada.

## 8.2 Recomendaciones

- Si bien el área de emergencias es la más crítica dentro del hospital, se debería realizar el mismo tipo de análisis en los consultorios dentro de la empresa debido a que generalmente el tiempo de espera promedio de los pacientes para ser atendidos se encuentra en 40 y 55 minutos.
- Una redistribución de las estaciones del área de emergencias también apoyaría a la reducción de los tiempos dentro del sistema de los pacientes. En la actualidad, se tiene un tiempo promedio de traslado entre estaciones entre 3 y 5 minutos, dependiendo del origen y el destino de la entidad; sin embargo, con una mejor distribución se estima que la reducción de los tiempos de traslado se reduciría en la mitad, lo cual afectaría directamente a la reducción de los tiempos de sistema de las entidades.
- Si bien el trabajo actual a definido una reducción del tiempo espera de aproximadamente 43%, esto implicará que la atención en el hospital aumente, con lo cual se deberán evaluar optimizaciones futuras para que los tiempos puedan reducirse más o, en otros casos, que el incremento de la demanda por la atención de salud que puede incrementarse no vuelva a generar los problemas que fueron diagnosticados al inicio del presente trabajo.

## Referencias Bibliográficas

- Altiok, Tafur. Simulation modeling and Analysis with Arena. Amsterdam, Academic, c2007
- Arena Optquest User's Guide. Versión: 13.50.00. 2010.
- Banks, Jerry. Discrete-Event system simulation (5ª ed.). Upper Saddle River ; Montreal : Prentice Hall, c2010
- Cálculo para determinar la tasa de descuento de un proyecto en <http://blogs.gestion.pe/deregresoalobasico/2012/02/aspectos-practicos-para-determ.html>. Consultado el 17 de Octubre del 2013.
- Caso de simulación aplicado al área de emergencias en <http://informs-sim.org/wsc12papers/includes/files/con117.pdf>. Consultado el 9 de Abril del 2013.
- Córdova, Manuel. Estadística Aplicada. Lima: Moshera, 2006.
- Descripción detallada del Software Rockwell Software Arena en [http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/sg/arena-sg001\\_-en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/sg/arena-sg001_-en-p.pdf). Consultado el 14 de Octubre del 2013.
- Fisher, Ronald. Statistical methods for research worker. New York, Hafner, 1967
- INEI. Instituto Nacional de Estadística e Informática – Encuesta Nacional de Hogares
- Misión, Visión y Filosofía de la empresa en <http://www.pnp.gob.pe/direcciones/dirsal/mision.html>. Consultado el 15 de Mayo del 2013.
- Norma Técnica del ministerio de salud en [http://www.disaster-info.net/PED-Sudamerica/leyes/leyes/suramerica/peru/salud/NORMA\\_TECNICA.pdf](http://www.disaster-info.net/PED-Sudamerica/leyes/leyes/suramerica/peru/salud/NORMA_TECNICA.pdf). Consultado el 7 de Abril del 2013.
- *Obtención del factor “ $\beta$ ” para el cálculo de la tasa de descuento del proyecto en [http:// pages.stern.nyu.edu/~adamodar/](http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/). Consultado el 18 de Octubre del 2013.*
- Obtención del factor “riesgo país” en <http://estadísticas.bcrp.gob.pe/index.asp?sFrecuencia=D>. Consultado el 17 de Octubre del 2013
- Samuel S. Wilks, Mathematical Statistics, Tokyo : Toppan, 1962.
- Verificación del código CIU de la empresa en [http://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib0883/Libro.pdf](http://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib0883/Libro.pdf). Consultado el 13 de Mayo del 2013.