



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA SUR

ÁREA DE CONOCIMIENTO DE CIENCIAS SOCIALES Y
HUMANIDADES

DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE
ECONOMÍA

TESIS

Simulación del sistema de líneas de espera del
Centro de Rehabilitación y Educación Especial
(CREE) de Baja California Sur para mejorar su
eficiencia.

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
MAESTRO EN ADMINISTRACIÓN ESTRATÉGICA

PRESENTA:
JOSE IGNACIO MOLINA TAPIA

DIRECTOR:
JOSÉ SALVADOR GONZÁLEZ

LA PAZ, B.C.S., NOVIEMBRE DE 2018

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
Resumen.	1
Objetivos.	2
Justificación.	2
Alcance.	3
Hipótesis.	3
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES	4
1.1. Antecedentes del centro.	4
1.2. Problemática.	4
1.3. Caracterización del lugar donde se realizó la investigación.	5
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	8
2.1. Teoría de líneas de espera.	8
2.1.1. Sistema de líneas de espera.	8
2.1.1.1. Elementos de un sistema de líneas de espera.	9
2.1.1.2. Características de operación del sistema de líneas.	11
2.1.2. Modelos de líneas de espera.	12
2.1.2.1. Clasificación de los modelos.	12
2.1.2.2. Modelado del sistema.	13
2.1.2.3. Análisis económico del sistema de líneas.	14
2.2. Simulación.	15
2.2.1. Metodología de la simulación.	16
2.2.1.1. Elaboración del modelo de simulación.	17
2.2.1.2. Especificación de variables y parámetros.	17
2.2.1.3. Validación del modelo de simulación.	18
2.2.2. Simulación filas de espera por computadora.	19
2.2.2.1. Programas y lenguajes de simulación.	19
2.2.2.2. Análisis de sensibilidad.	20
2.3. Análisis de procesos.	20
2.3.1. Diagramas de flujo de procesos.	21
2.3.2. Tipos de procesos.	22
2.3.3. Medición del desempeño de los procesos.	22
2.3.3.1. Productividad y eficiencia.	22
CAPÍTULO 3. DISEÑO METODOLÓGICO	23
3.1. Identificación del problema.	23
3.2. Definición de Objetivos.	31
3.3. Diseño del modelo.	33
CAPÍTULO 4. RESULTADOS	45
4.1. Características de operación del sistema.	45
4.2. Experimentos con el modelo.	49
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
REFERENCIAS	64
ANEXOS	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Población y recursos de salud del estado.	6
Tabla 3-2. Proceso de atención a los usuarios del sistema de filas del CREE que solicitan el servicio por primera vez.	24
Tabla 3-3. Características de las llegadas de los usuarios del sistema de filas del CREE que solicitan el servicio por primera vez.	28
Tabla 3-4. Estructura de las líneas de los usuarios del sistema de filas del CREE que solicitan el servicio con cita previa agendada.	28
Tabla 3-5. Estructura de las líneas que forman los usuarios que solicitan el servicio por primera vez del sistema de filas del CREE.	29
Tabla 3-6. Estructura de las líneas que forman los usuarios con cita previa agendada del sistema de filas del CREE.	30
Tabla 3-7. Tiempo promedio de llegadas y del servicio de los usuarios que solicitan el servicio por primera vez del sistema de filas del CREE.	40
Tabla 3-8. Resultado de las réplicas simuladas del modelo preliminar para la caja.	40
Tabla 3-9. Cálculo del número de las réplicas para los distintos servidores de atención a los usuarios que solicitan el servicio por primera vez del sistema de filas del CREE.	42
Tabla 3-10. Prueba de Hipótesis para determinar que el modelo del estudio si es válido para representar el sistema real.	44
Tabla 4-1. Resultados de la simulación del modelo para el Porcentaje de utilización del sistema (P) con ProModel®.	45
Tabla 4-2. Resultados de la simulación del modelo para el número de usuarios promedio en la fila (Lq) con ProModel®.	46
Tabla 4-3. La fila de recepción de valoración presenta el promedio más alto del sistema, esto es debido a que los arribos a esa fila vienen de la caja, de pre consulta y de trabajo social.	47
Tabla 4-4. Resultados de la simulación del modelo de filas del sistema del CREE para tiempo promedio esperado en la fila (Wq) con ProModel®.	48
Tabla 4-5. Resultados de la simulación del modelo para el tiempo de espera promedio en el sistema (W) con ProModel®.	48
Tabla 4-6. Cálculo de E(CT) de valores alternativos de s para todo el sistema.	49
Tabla 4-7. Cálculo de E(CT) de valores alternativos de s, para la Caja.	51
Tabla 4-8. Cálculo de E(CT) de valores alternativos de s, para Recepción de valoración.	52
Tabla 4-9. Cálculo de E(CT) de valores alternativos de s, para la Preconsulta.	53
Tabla 4-10. Cálculo de E(CT) de valores alternativos de s, para Trabajo social.	55
Tabla 4-11. Cálculo de E(CT) para las condiciones de operación del sistema actual.	55
Tabla 4-12. Cálculo de E(CT) para las condiciones de operación de la propuesta 1.	57
Tabla 4-13. Cálculo de E(CT) para las condiciones de operación de la propuesta 2.	58
Tabla 4-14. Cálculo de E(CT) para las condiciones de operación de las diferentes propuestas.	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Organigrama del departamento de valoración y tratamiento del CREE.....	5
Figura 1-2. Croquis de ubicación.....	6
Figura 1-3. Fotografía del CREE (fachada).....	7
Figura 2-1. Sistema básico filas (colas).....	9
Figura 2-2. Grafica de la Distribución Exponencial.....	10
Figura 2-3. Símbolos de un diagrama de flujo.....	22
Figura 2-4. Tipos de procesos. Fuente: elaboración propia.....	22
Figura 3-1. Representación de la estructura metodológica de un estudio de simulación.....	23
Figura 3-2. Diagrama de flujo del sistema de atención a los usuarios que solicitan el servicio por primera vez del CREE.....	26
Figura 3-3. Clasificación de las filas del CREE.....	30
Figura 3-4. Modelo del sistema de filas del CREE programado en ProModel.....	36
Figura 3-5. Programación de las locaciones del modelo en ProModel.....	37
Figura 3-6. Programación de las entidades del modelo de filas del CREE con ProModel.....	37
Figura 3-7. Programación de los arribos del modelo de filas del CREE con ProModel.....	38
Figura 3-8. Programación del proceso del modelo de filas del CREE con ProModel.....	38
Figura 3-9. Ventana de programación de los costos con ProModel. Fuente: propia (2016).....	39
Figura 4-1. Cálculo de E(CT) de valores alternativos de s para todo el sistema.....	50
Figura 4-2. Cálculo de E(CT) de valores alternativos de s para la caja.....	51
Figura 4-3. Cálculo de E(CT) de valores alternativos de s para Recepción de valoración.....	53
Figura 4-4. Cálculo de E(CT) de valores alternativos de s para la Preconsulta.....	54
Figura 4-5. Cálculo de E(CT) de valores alternativos de s para Trabajo social.....	55
Figura 4-6. Cálculo de E(CT) para las condiciones de operación del sistema actual.....	56
Figura 4-7. Cálculo de E(CT) para las condiciones de operación de la propuesta 1.....	57
Figura 4-8. Cálculo de E(CT) para las condiciones de operación de la propuesta 2.....	58
Figura 4-9. Cálculo de E(CT) para las condiciones de operación de las diferentes propuestas.....	59
Figura 4-10. Costo anual por operar los distintos sistemas de filas bajo las diferentes condiciones de operación.....	60

INTRODUCCIÓN

Resumen.

El presente documento consiste en un estudio de simulación de líneas de espera con el fin de mejorar la eficiencia del proceso de un sistema de atención a los usuarios de una institución pública que brinda servicios en donde los usuarios pueden ser representados como entidades que esperan ser procesadas en un sistema de filas. Los dos principales temas de estudio que sirvieron de ejes para elaborar el trabajo son: la teoría de líneas de espera y la simulación de procesos. Una vez observada la formación de líneas de espera y el desconocimiento de sus *características de operación*, se trata de encontrar un modelo de líneas que represente el sistema real de manera que pueda ser simulado mediante un software para ver cómo se comportarían las diferentes variables determinadas por la teoría de líneas en diferentes escenarios de operación. El fin general es mejorar la eficiencia del proceso en términos de recursos empleados lo cual podría hacer tangible la reducción de los costos.

Objetivos.

Objetivo general.

Diseñar un proceso de atención más eficiente del sistema de filas de atención a los usuarios del CREE por medio de un estudio de simulación, que conlleve a minimizar su costo de operación.

Objetivos específicos.

1. Definir un modelo conceptual que permita representar las características de operación relevantes del sistema actual con el fin de diseñar un modelo de simulación del mismo.
2. Determinar los indicadores que describen el desempeño del sistema por unidad de tiempo como son el porcentaje de utilización del sistema, el tiempo total del usuario en el sistema, el tiempo que pasa el usuario en la fila, el número total de usuarios en el sistema y el número de usuarios que esperan en la fila.
3. Realizar experimentos con distintos escenarios de operación, con el fin de identificar el nivel óptimo de capacidad del sistema que minimiza el costo del mismo y establece un balance equilibrado óptimo entre las consideraciones cuantitativas de costos y las cualitativas de servicio.

Justificación.

Como desarrollar y ejecutar políticas organizacionales para el desarrollo eficiente y efectivo de las acciones del Sector de políticas públicas de bienestar y desarrollo social es uno de los objetivos que versan en el documento rector de la estrategia nacional de inclusión de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL)¹ y en las instituciones locales a cargo de dichas políticas, básicamente el Sistema Integral de la familia DIF². Se considera un buen justificante realizar un estudio que busque mejorar la eficiencia del proceso de atención que se brinda al usuario de un programa social público al momento de entrar en la fila para recibir

¹ <https://www.gob.mx/sedesol>

² <http://www.difbcs.gob.mx/>

el servicio que se brinda, ya que, en este tipo de contexto, al momento de entregar los beneficios de los programas no siempre existen indicadores de desempeño en términos cuantitativos y los recursos pueden ser insuficientes y estarse empleando de manera ineficiente. Además de que para tomar decisiones acerca del nivel de servicio a ofertar en un sistema de filas *complejo*³ es necesario encontrar un balance entre las consideraciones cualitativas del servicio y las cuantitativas de los costos lo cual puede redundar en una disminución de los costos, un aumento en la satisfacción de los usuarios o ambas cosas y la teoría de líneas de espera y la simulación de procesos se presentan como herramientas probadas para resolver este tipo de problemas.

Alcance.

Este proyecto representa una propuesta en respuesta al problema del sistema de filas de atención a los usuarios de una institución pública; pretende conocer la relación que hay entre la demanda y la oferta del servicio; es decir: ¿Qué tanto influye la oferta del servicio en la productividad del usuario? Luego simular el sistema con el fin de explicar cómo es que se relacionan estas variables y encontrar el mejor arreglo, así como plasmar en papel el nuevo proceso de operación del sistema para su posible posterior implementación. No existen indicadores que midan la satisfacción del usuario en términos subjetivos y no se piensa determinarlo en este trabajo, sino que se asume que la herramienta de simulación propondrá en términos cuantitativos, con el fin de aumentar la satisfacción de los usuarios lo que en la teoría de líneas de espera se conoce como consideraciones cualitativas del servicio

Hipótesis.

La realización de un estudio de simulación del sistema bajo estudio permitirá incrementar la eficiencia del proceso actual de atención a los usuarios, debido a que esta técnica permite una mejor comprensión del comportamiento del mismo en diferentes escenarios de operación.

³ El sistema de filas del sistema bajo estudio tiene características particulares que no se ajustan exclusivamente a un solo tipo de los modelos propuestos en la teoría de líneas de espera.

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

1.1. Antecedentes del centro.

El 9 de enero de 1986 se establece la Ley sobre el Sistema Nacional de Asistencia Social, “El DIF será el responsable de promover en las entidades y municipios, programas e instalaciones que hagan posible la rehabilitación integral de las personas con discapacidad; dichas acciones serán realizadas por los Centros de Rehabilitación y Educación Especial (CREE)”. Para cumplir estos objetivos el Sistema DIF Nacional se ha propuesto ampliar los servicios de rehabilitación, además de llevar a cabo acciones en materia de prevención de discapacidad, en centros no hospitalarios, con sujeción a la Ley General de Salud. El CREE La Paz, Brinda atención integral en materia de Rehabilitación a las personas que sufren algún padecimiento que le impida o implique algún tipo de limitación en el desempeño de sus actividades de la vida diaria, así como busca su integración a la sociedad desde el año 1986. En la actualidad en el CREE La Paz, se cuenta con los servicios de Medicina Física y Rehabilitación y Pediatría en el área médica, además de psicología, trabajo social, terapia física, terapia ocupacional, terapia de lenguaje, cámara de estimulación multisensorial, rayos X y taller de órtesis y prótesis, el personal del Centro participa en Jornadas sociales del Gobierno del Estado, y en la operación de los programas Sustantivos de Detección Temprana de Padecimientos Discapacitantes, Estimulación Múltiple Temprana, Escuela para Familias con Hijos con Discapacidad, Inclusión Educativa para menores con Discapacidad y en la supervisión de las Unidades Básicas de Rehabilitación en el Estado.

1.2. Problemática.

El sistema de atención a los usuarios del CREE puede representarse para propósitos de estudio como un sistema de filas complejo, donde existen diferentes tipos de locaciones y departamento (figura 1-1) donde solicitan atención dos tipos de usuarios: los usuarios que solicitan atención por primera vez y los que ya cuentan con una cita previa. Debido a la aleatoriedad de las solicitudes de los usuarios que solicitan el servicio por primera vez resulta imposible saber con exactitud el momento y la cantidad de tiempo que estos experimentarían en el sistema. Los usuarios que solicitan atención por primera vez y sean aceptados para ser tratados serán agendados para volver a integrarse al sistema con una cita previa. Por lo anterior resulta adecuado realizar un estudio de simulación lo cual implicará trasladar las

principales características de operación del sistema a un modelo computacional que determinará cual es el proceso más eficiente que se puede implementar para resolver problemas como el pronóstico de la demanda de los usuarios y los recursos que se requerirá para atenderlos en diferentes temporadas del año con el fin de reducir los costos que implica la puesta en operación del sistema.

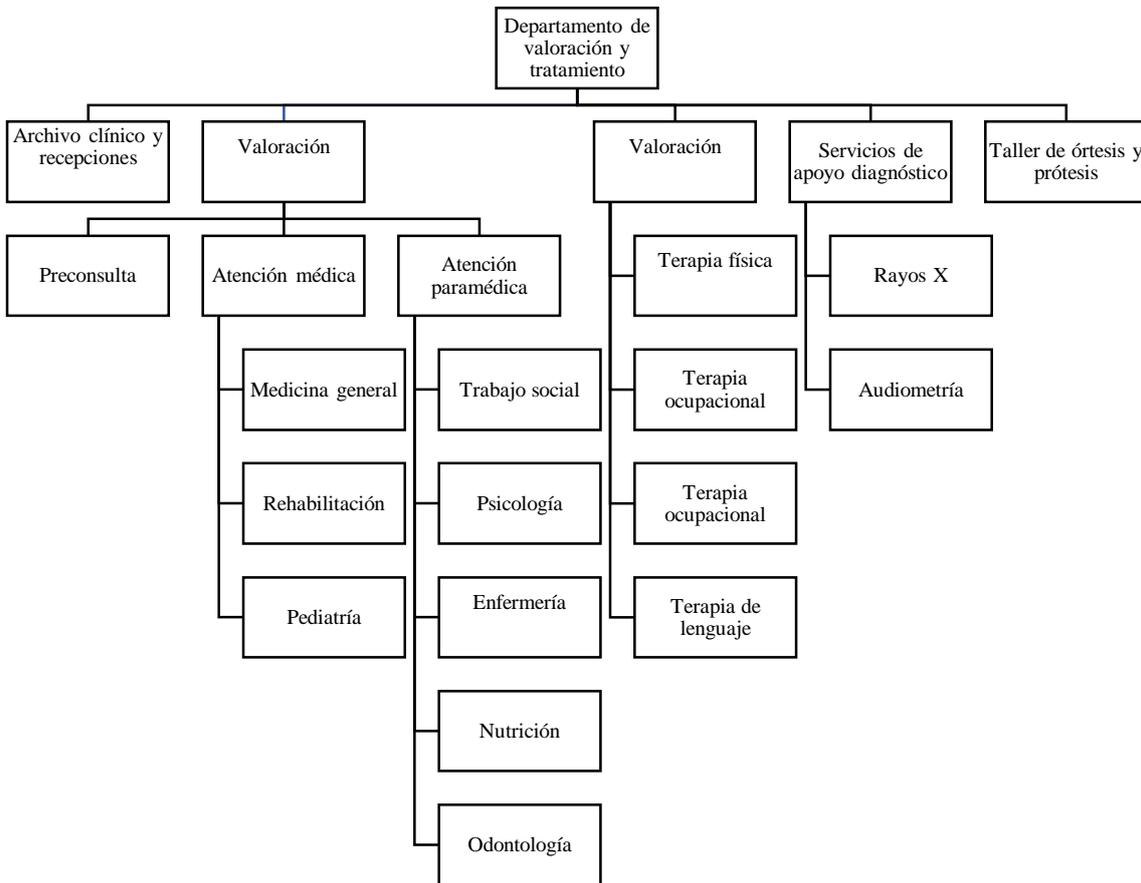


Figura 1-1. Organigrama del departamento de valoración y tratamiento del CREE. Fuente: CREE (2018).

1.3. Caracterización del lugar donde se realizó la investigación.

La ubicación geográfica del CREE es: Carretera al Norte km 4.5 esq. Luis Donaldo Colosio, Col. El Conchalito, C.P. 23090. Su nombre oficial es: Centro de Rehabilitación y Educación Especial La Paz, Baja California Sur (CREE, 2018). La siguiente tabla resume alguna información útil.

Tabla 1-1. Población y recursos de salud del estado.

Número Total de habitantes en el Estado:	637,026 *
Población calculada con probables secuelas de discapacidad en el Estado:	26,816 *
Infraestructura y Recursos Humanos en el Estado	
Número de Instituciones del Sector Salud con Servicios de Rehabilitación y cuales son:	CREE, IMSS. ISSSTE Y HOSPITAL MILITAR.
Número de Médicos en Rehabilitación en el Estado:	9
Número de Terapistas Físicos en el Estado:	14
Número de UBR en el Estado:	11
Número de UMR en el Estado: (informar si están operando)	1, No operando
Población atendida durante el año anterior:	1,839
Población Potencial que se espera atender en el año:	1,986

Fuente: elaborado a partir de (CREE, 2018).

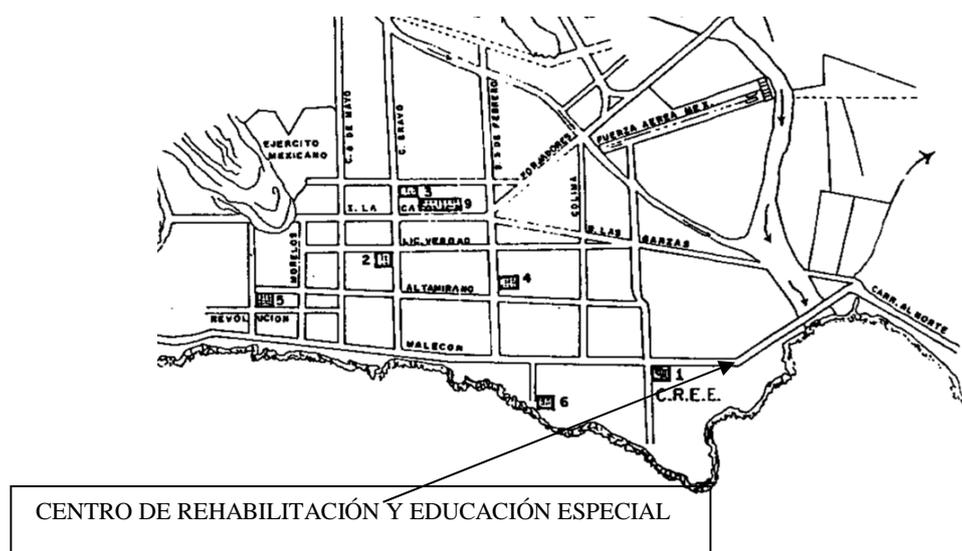


Figura 1-2. Croquis de ubicación. Fuente: (Diagnóstico situacional, 2016).

* Datos obtenidos a partir de información del censo realizado en 2010, por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), <http://www.inegi.org.mx>



Figura 1-3. Fotografía del CREE (fachada). Fuente: (Diagnóstico situacional, 2016).

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Teoría de líneas de espera.

La formación de líneas de espera es uno de los fenómenos más observados en la vida cotidiana y que más afectan a la sociedad y a los distintos procesos (por ejemplo: un grupo de personas se forman en espera de recibir un servicio o el proceso de manufactura de una línea de ensamble), sin embargo este fenómeno no solamente está vinculado a la formación literalmente lineal de personas u objetos ya que la formación de estas pueden tener diversos arreglos como bien señalan Hillier y Liberman (2015): “los sistemas de colas se aplican con sorprendente frecuencia en una amplia variedad de contextos” (p. 419), por ejemplo el pago de una nómina vía tarjeta bancaria. El porqué de este tipo de estudio es debido a la escasez de los recursos de la parte que suministra el servicio: ofrecer un nivel de servicio demasiado alto redundaría en gastos excesivos por parte de la administración, por otra parte, hacer esperar demasiado a los usuarios del sistema implicaría insatisfacción de estos (Taha, 2012): se estima que, en 2012 en Estados Unidos, la población gastaba 37 mil millones de horas al año esperando en colas. Si este tiempo se pudiera gastar productivamente, significaría casi 20 millones de personas-año de trabajo útil (Hillier y Hillier, 2016). Comprender y administrar las líneas de espera es de fundamental importancia debido al impacto que tienen en la eficiencia de los sistemas de espera (Chase y Jacobs, 2014).

2.1.1. Sistema de líneas de espera.

Un sistema de colas básico se forma cuando una entidad no puede ser atendida de inmediato, entonces esa entidad forma una línea de espera hasta que sea procesada. La cola no incluye a las entidades que ya están siendo procesadas. Uno o más servidores en el sistema de servicio son los que dan el servicio (Winston & Goldberg, 2005). En algunos sistemas de líneas, las entidades son personas. Sin embargo, en otros casos, por ejemplo, aviones que esperan despegar en una pista, máquinas que esperan ser reparadas o alguna pieza que espera en un proceso de manufactura. Por lo general, un servidor es un individuo. Sin embargo, podría ser una cuadrilla de empleados que trabaja juntas para atender a cada cliente. El servidor también puede ser una máquina, un vehículo, un dispositivo electrónico, etcétera. En la mayoría de los casos, la línea es simplemente una fila ordinaria de espera. Sin embargo,

no es necesario que los clientes estén esperando en fila en una estructura física, que constituye la instalación de servicio. Podrían estar en una sala de espera. Incluso podrían estar dispersos en un área esperando que un servidor llegue a ellos, por ejemplo, las máquinas estacionarias que necesitan reparación (Taha, 2012).

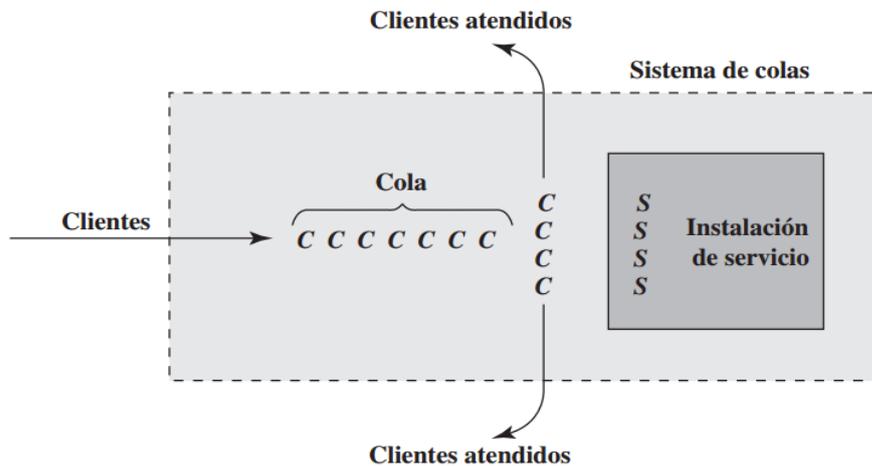


Figura 2-1. Sistema básico filas (colas). Fuente: Recuperado de Hillier y Hillier (2016) p. 42.

La descripción de los sistemas de colas puede parecer relativamente abstracta, aplicable sólo a situaciones prácticas bastante especiales. Para ampliar los horizontes en la aplicación de los modelos de colas se puede consultar (Hillier y Hillier, 2016).

2.1.1.1. Elementos de un sistema de líneas de espera.

Llegadas.

A los lapsos de tiempo entre llegadas consecutivas en un sistema de filas se llaman tiempos entre llegadas. Hillier y Hillier (2016) exponen que es posible hacer dos cosas:

1. Estimar el número esperado de llegadas por unidad de tiempo. Esta cantidad se conoce normalmente como la tasa media de llegadas. (El símbolo para esta cantidad es la letra griega lambda, λ)

2. Estimar la forma de la distribución de probabilidad de los tiempos entre llegadas. La media de esta distribución viene directamente del punto 1. Puesto que $\lambda =$ Tasa media de llegadas de los clientes que ingresan en el sistema de colas la media de la distribución de probabilidad de los tiempos entre llegadas es:

$$\frac{1}{\lambda} = \text{Tiempo esperado entre llegadas}$$

La mayoría de los modelos de filas suponen que la forma de la distribución de probabilidad de los tiempos entre llegadas es una distribución exponencial, como indica Chase et al: “por lo general se supone que el tiempo entre llegadas se distribuye de forma exponencial” (p. 280). Se puede notar en la figura 2.2, como los puntos más altos de la curva se presentan en tiempos muy pequeños, y luego la curva baja “exponencialmente” mientras aumenta el tiempo. Esto indica una alta probabilidad de tiempos entre llegadas cortos, bastante por debajo de la media (Figura 2-2).

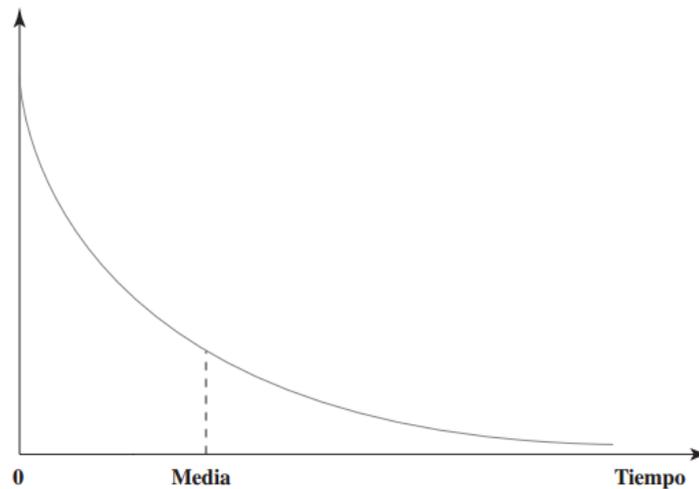


Figura 2-2. Grafica de la Distribución Exponencial. Fuente: Recuperado de (Hillier y Hillier, 2008, p: 423)

La línea.

La línea es donde las entidades esperan antes de ser procesadas. Hay dos formas de encontrarlas en los modelos de líneas: el número de entidades en la línea (también conocida como tamaño de la fila) es el número de entidades que esperan recibir el servicio (Galindoa & Batta, 2013). Luego está el número de entidades en el sistema, es el de los clientes en la línea más el número de las entidades que está siendo atendidos. La capacidad de la línea es el número máximo de entidades que se pueden mantener en ella. Una línea infinita es aquella en la que, en palabras de Hillier y Hillier (2016) “para propósitos prácticos, se puede mantener un número ilimitado de clientes” (p. 425). Cuando la capacidad es lo bastante pequeña como para que sea necesario considerarla, entonces la línea se conoce como finita.

Servicio.

En un sistema básico de líneas, cada entidad es atendida en forma individual por uno de los servidores. Un sistema con más de un servidor se conoce como sistema de servidores

múltiples, mientras que un sistema con un solo servidor tiene sólo un servidor. Un factor a tomar en cuenta en los sistemas de líneas es el orden del servicio: es el orden en el cual las entidades serán servidos por el servidor. A menos que se indique lo contrario, se asume que el primero que entra es el primero en ser servido (Halchor-Balter, 2013). Cuando una entidad es atendida, el tiempo transcurrido desde el principio hasta el final de su servicio se conoce como tiempo de servicio.

El símbolo usado para la media de la distribución del servicio es:

$$1/\mu = \text{Tiempo esperado de servicio (Hillier y Hillier, 2016).}$$

Donde μ es la letra griega mu. La interpretación de μ es:

μ = Número esperado de servicios completados por unidad de tiempo de un solo servidor continuamente ocupado.

Donde esta cantidad se llama tasa media de servicio. Diferentes modelos ofrecen varias opciones de distribuciones de tiempo de servicio, como se describe en seguida. La opción más popular de distribución de probabilidad de los tiempos de servicio es la distribución exponencial.

2.1.1.2. Características de operación del sistema de líneas.

Por lo general estas características se expresan en términos de valores probabilísticos. Sin embargo, aquí, es necesario aclarar si estamos contando sólo a las entidades mientras están en la fila, o mientras se hallan en cualquier lugar del sistema de filas. Estas expresiones proporcionan ideas cualitativas que reflejan las conclusiones obtenidas en el entorno probabilístico de llegadas y servicios de colas claras y generalizan al caso del comportamiento de cola (Bandi et. al., 2015).

Estas dos formas de definir ambos tipos de medidas nos dan cuatro medidas de desempeño. Estas cuatro medidas y sus símbolos se muestran a continuación.

L = número esperado de clientes en el sistema, que incluye a los que están siendo atendidos (el símbolo L viene de longitud de la línea).

L_q = número esperado de clientes en la cola, que excluye a los clientes que ya están siendo atendidos.

W = tiempo de espera esperado en el sistema (incluye el tiempo de servicio) de un cliente individual (el símbolo W se refiere a tiempo de espera).

W_q = tiempo de espera esperado en la cola (excluye el tiempo de servicio) de un cliente individual (Hillier y Hillier, 2016)

Estas definiciones suponen que el sistema de filas se halla en una condición de estado constante, es decir, el sistema está en su situación normal de operación después de cierto tiempo. Durante el periodo de arranque inicial después de que un sistema de filas abre operaciones sin entidades, necesita un tiempo para que el número esperado de clientes alcance su nivel normal.

La decisión de si se debe enfocar todo el sistema de colas L o W o simplemente en la cola L_q o W_q , depende de la naturaleza del sistema de colas, para ilustrar esto Hillier y Hillier, (2016), proporcionan el siguiente ejemplo:

“En una sala de emergencia de hospital o en un departamento de bomberos tal vez la cola (el tiempo hasta que el servicio puede comenzar) sea más importante. En un sistema de servicio interno, todo el sistema de colas (el número total de miembros de la organización que están ociosos) puede ser más importante” (p. 427).

2.1.2. Modelos de líneas de espera.

Según Sáez, (2012) “los datos (o variables) del modelo pueden ser de dos tipos: cuantitativos y cualitativos... Los datos cuantitativos son los que representan una cantidad en una escala numérica. A su vez, pueden clasificarse como datos cuantitativos discretos si se refieren al conteo de alguna característica, o datos cuantitativos continuos si se refieren a una medida (p.19).

2.1.2.1. Clasificación de los modelos.

Para facilitar la clasificación de los diferentes modelos de líneas se emplea una serie de símbolos usados para las posibles distribuciones, ya sea para los tiempos de servicio o tiempos entre llegadas:

M = Distribución exponencial (markoviana)

D = Distribución degenerativa (tiempos constantes)

Por ejemplo, el modelo M/M/1 es el modelo de un solo servidor que supone que los tiempos entre llegadas y los tiempos de servicio tienen una distribución exponencial. El modelo M/M/2 es el modelo correspondiente con dos servidores. Si s , es el símbolo que representa el número de servidores, el modelo M/M/s es el modelo correspondiente que permite cualquier número de servidores. De modo similar, el modelo M/D/s tiene tiempos entre llegadas exponenciales, tiempos de servicio constante y cualquier número deseado de servidores. Los tiempos entre llegadas también pueden tener una distribución degenerativa, en lugar de una distribución exponencial. El modelo D/M/s tiene tiempos entre llegadas constantes, tiempos de servicio exponenciales y cualquier número de servidores (Eppen et. al., 2000). También hay modelos que permiten elegir cualquier distribución de probabilidad para los tiempos entre llegadas o tiempos de servicio. Los símbolos usados en estos casos son:

GI = Distribución general independiente de tiempos entre llegadas, se permite cualquier distribución arbitraria).

G = Distribución general de tiempos de servicio (se permite cualquier distribución arbitraria).

Así, el modelo G/I/M/s permite cualquier distribución de tiempos entre llegadas (con tiempos entre llegadas independientes), tiempos de servicios exponenciales y cualquier número de servidores. El modelo M/G/1 tiene tiempos entre llegadas exponenciales y un servidor, pero permite cualquier distribución de tiempo de servicio.

2.1.2.2. Modelado del sistema.

Para identificar cuál es la distribución de probabilidad que está siendo asumida para los tiempos de servicio y para los tiempos entre llegadas, un modelo de filas para un sistema básico se suele nombrar en forma convencional como explica Chase y Jacobs, (2014). Distribución de tiempos entre llegadas va en 1, distribución de tiempo de servicio va en 2 y el número de servidores va en 3. Así es que resulta el orden general para el modelado de los distintos sistemas de filas /1/2/3/.

Para modelar un sistema de líneas existe una serie de supuestos que generalmente se hacen en los modelos de líneas de un sistema de colas básico. (Chase y Jacobs, 2014), explican que cada uno de estos supuestos puede tomarse de manera automática, a menos que se exprese explícitamente lo contrario.

1. Los tiempos entre llegadas son independientes y están idénticamente distribuidos de acuerdo con una distribución específica de probabilidad.

2. Todas las entidades que llegan, entran al sistema de filas y se quedan ahí hasta que se complete el servicio.

3. El sistema de filas tiene una sola fila infinita, de modo que la fila mantendrá un número ilimitado de entidades (para todos los propósitos prácticos).

4. La disciplina de la línea es: primero en llegar, primero en ser atendido.

5. El sistema de líneas tiene un número específico de servidores; cada servidor puede atender a cualquiera de las entidades.

6. Cada entidad es atendida en forma individual por cualquiera de los servidores.

7. Los tiempos de servicio son independientes y se distribuyen idénticamente de acuerdo con una distribución de probabilidad específica.

2.1.2.3. Análisis económico del sistema de líneas.

Cuando se diseña un sistema de líneas, una cuestión clave frecuente es precisar qué nivel de servicio se debe ofrecer. Ofrecer demasiado causa costos demasiado altos; ofrecer muy poco causa una espera excesiva por parte de los clientes. Por lo tanto, elegir el número de servidores significa encontrar un punto intermedio adecuado entre el costo de los servidores y el tiempo de espera. En muchos casos, las consecuencias para una organización de hacer que sus clientes esperen, se pueden expresar como costo de espera. Hacer que los propios empleados esperen, provoca pérdidas de productividad, que resulta en pérdida de utilidades. Estas utilidades pérdidas son el costo de espera. En palabras de Taha (2012): ...Se trata de balancear dos costos opuestos: el costo de ofrecer el servicio y el costo de demorar la oferta de espera del cliente. Las dos clases de costo se contraponen, porque al aumentar una se reduce la otra automáticamente (p. 638).

Por lo general al administrador le interesa minimizar el costo total, el que está dado como sigue (Taha 2012):

Sea $TC =$ Costo total esperado por unidad de tiempo.

SC = Costo esperado del servicio por unidad de tiempo.

WC = Costo estimado de la espera por unidad de tiempo.

Así, el objetivo es elegir el número de servidores de modo que al minimizar $TC = SC + WC$, cuando cada servidor cuesta lo mismo, el costo de servicio es $SC = Cs$, Donde:

Cs = Costo de un servidor por unidad de tiempo.

s = número de servidores.

Cuando el costo de espera es proporcional a la cantidad de la espera, este costo se puede expresar como:

$$Wc = CwL$$

Donde:

Cw = Costo de espera por unidad de tiempo para cada cliente en un sistema de colas.

L = número esperado de clientes en el sistema de colas.

Por lo tanto, después de estimar las constantes Cs y Cw , la meta es elegir el valor de s de modo que se minimice $TC = CS + CL$. Al escoger el modelo de colas que se ajusta al modelo de filas, se puede obtener el valor de L para diversos valores de s .

2.2. Simulación.

En años recientes, el advenimiento de nuevos y mejores desarrollos en el área de la computación ha traído consigo innovaciones igualmente importantes en los terrenos de la toma de decisiones y el diseño de procesos y productos. En este sentido, una de las técnicas de mayor impacto es la simulación. Hoy en día, el analista tiene a su disposición una gran cantidad de software de simulación que le permite tomar decisiones en temas muy diversos, por ejemplo, el análisis de un proceso ya existente pero que requiere mejoras. En general, dichos paquetes ya sea orientados a procesos, a servicios o de índole general nos proveen de una enorme diversidad de herramientas estadísticas que permiten un manejo más eficiente de la información relevante bajo análisis, y una mejor presentación e interpretación de la misma (Gutiérrez et al., 2016). Para propósitos de esta investigación se aborda la definición básica del concepto de la simulación de eventos discretos, además se presenta algunos otros elementos relevantes, como los números pseudo aleatorios y las pruebas estadísticas necesarias para comprobar esta aleatoriedad, la generación de variables aleatorias y la

caracterización de algunas distribuciones de probabilidad de uso común en la simulación. El análisis de sensibilidad del modelo se realizará con un software comercial: Promodel*.

2.2.1. Metodología de la simulación.

El concepto de simulación de eventos discretos, en palabras de García (2006) es definido como el conjunto de relaciones lógicas, matemáticas y probabilísticas que integran el comportamiento de un sistema bajo estudio cuando se presenta un evento determinado (p. 13). El objetivo del modelo de simulación consiste, precisamente, en comprender, analizar y mejorar las condiciones de operación relevantes del sistema. En la definición anterior se encuentran elementos como sistema, modelo y evento, de los cuales se desprenden otros conceptos importantes dentro de la simulación, por lo que a continuación se abunda en cada uno de ellos (Tolk, 2012). La definición básica de sistema propuesta por (Law y Kelton, 1991) nos dice que se trata de un conjunto de elementos que se interrelacionan para funcionar como un todo; desde el punto de vista de la simulación, tales elementos deben tener una frontera clara. Cada uno de ellos puede dividirse en elementos que son relevantes para la construcción de lo que constituirá su modelo de simulación; entre ellos tenemos entidades, estado del sistema, eventos actuales y futuros, localizaciones, recursos, atributos, variables y el reloj de la simulación. Una entidad es la representación de los flujos de entrada a un sistema; éste es el elemento responsable de que el estado del sistema cambie. Ejemplos de entidades pueden ser los clientes que llegan a la caja de un banco, las piezas que llegan a un proceso o el embarque de piezas que llega a un inventario, las localizaciones son todos aquellos lugares en los que la pieza puede detenerse para ser transformada o esperar a serlo. Dentro de estas localizaciones tenemos almacenes, bandas transportadoras, máquinas, estaciones de inspección, etc., los recursos son aquellos dispositivos diferentes a las localizaciones necesarios para llevar cabo una operación, las variables son condiciones cuyos valores se crean y modifican por medio de ecuaciones matemáticas y relaciones lógicas. Pueden ser continuas (por ejemplo, el costo promedio de operación de un sistema) o discretas (por ejemplo, el número de unidades que deberá empacarse en un contenedor). Las variables son muy útiles para realizar conteos de piezas y ciclos de operación, así como para determinar características de operación del sistema. Un atributo es una característica de una entidad, los atributos son muy útiles para diferenciar entidades sin necesidad de generar

* Para mayores referencias: www.promodel.com/

una entidad nueva, y pueden adjudicarse al momento de la creación de la entidad, o asignarse y/o cambiarse durante el proceso. El reloj de la simulación es el contador de tiempo de la simulación, y su función consiste en responder preguntas tales como cuánto tiempo se ha utilizado el modelo en la simulación, y cuánto tiempo en total se quiere que dure esta última (Law, 2015).

2.2.1.1. *Elaboración del modelo de simulación.*

Una vez definido el problema bajo estudio se procede a generar un modelo de simulación base. Una vez que se ha definido el sistema en términos de un modelo conceptual, la siguiente etapa del estudio consiste en la generación de un modelo de simulación base. No es preciso que este modelo sea demasiado detallado, pues se requiere mucha más información estadística sobre el comportamiento de las variables de decisión del sistema (Hillier y Liberman, 2015). El siguiente paso a realizar es la recolección y análisis de datos. De manera paralela a la generación del modelo base, es posible comenzar la recopilación de la información estadística de las variables aleatorias del modelo (Argosy Medical Animation, 2007). En esta etapa se debe determinar qué información es útil para la determinación de las distribuciones de probabilidad asociadas a cada una de las variables aleatorias innecesarias para la simulación (Nelson, 2010). Para la generación del modelo preliminar, se debe integrar la información obtenida a partir del análisis de los datos, los supuestos del modelo y todos los datos que se requieran para tener un modelo lo más cercano posible a la realidad del problema bajo estudio. Al finalizar esta etapa el modelo está listo para su primera prueba: su verificación o, en otras palabras, la comparación con la realidad, (Stewart, 2014).

2.2.1.2. *Especificación de variables y parámetros.*

Para poder realizar una simulación que incluya variabilidad dentro de sus eventos, es preciso especificar algunas variables y parámetros. Los números aleatorios juegan un papel relevante. Así, una de las primeras tareas que es necesario llevar a cabo consiste en determinar si los números que utilizaremos para correr o ejecutar la simulación son realmente aleatorios o no (White y Ingalls, 2015). Un modelo de simulación permite lograr un mejor entendimiento de prácticamente cualquier sistema. Para ello resulta indispensable obtener la mejor aproximación a la realidad, lo cual se consigue componiendo el modelo a

base de variables aleatorias que interactúen entre sí. Pero, ¿cómo se puede determinar qué tipo de distribución tiene una variable aleatoria? ¿Cómo se puede usarla en el modelo, una vez que conocemos su distribución asociada? Existen métodos y herramientas que pueden dar contestación a estas interrogantes clave para la generación del modelo. Se puede decir que las variables aleatorias son aquellas que tienen un comportamiento probabilístico en la realidad. Dadas estas características, las variables aleatorias deben cumplir reglas de una distribución de probabilidad conocida o particular (Rubinstein y Kroese, 2017):

1. La suma de las probabilidades asociadas a todos los valores posibles de la variable aleatoria x es uno.

2. La probabilidad de que un posible valor de la variable x se presente siempre es mayor que o igual a cero.

3. El valor esperado de la distribución de la variable aleatoria es la media de la misma, la cual a su vez estima la verdadera media de la población.

4. Si la distribución de probabilidad asociada a una variable aleatoria está definida por más de un parámetro, dichos parámetros pueden obtenerse mediante un estimador no sesgado. La distribución de probabilidad de los datos puede determinarse mediante las pruebas Chi-cuadrada, de Kolmogorov-Smirnov y de Anderson-Darling.

2.2.1.3. Validación del modelo de simulación.

Una vez que se han identificado las distribuciones de probabilidad de las variables del modelo y se han implantado los supuestos acordados, es necesario realizar un proceso de verificación de datos para comprobar la propiedad de la programación del modelo, y comprobar que todos los parámetros usados en la simulación funcionen correctamente (Dong et al, 2015). El proceso de validación del modelo consiste en realizar una serie de pruebas al mismo, utilizando información de entrada real para observar su comportamiento y analizar sus resultados. Si el problema bajo simulación involucra un proceso que se desea mejorar, el modelo debe someterse a prueba con las condiciones actuales de operación, lo que nos dará como resultado un comportamiento similar al que se presenta realmente en nuestro proceso. Una vez que el modelo se ha validado, el analista está listo para realizar la simulación y estudiar el comportamiento del proceso. En caso de que se desee comparar escenarios diferentes para un mismo problema, éste será el modelo raíz; en tal situación, el siguiente paso es la definición de los escenarios a analizar.

2.2.2. Simulación filas de espera por computadora.

En un principio, los programas de simulación se elaboraban utilizando algún lenguaje de propósito general, como ASSEMBLER, FORTRAN, ALGOL o LP/1. A partir de la década de 1960 hacen su aparición los lenguajes específicos para simulación que permiten a analistas y programadores desarrollar modelos de una forma más rápida, gracias a módulos estandarizados. En aquella época surgieron lenguajes como GPSS, GASP, SIMSCRIPT, SLAM, SIMAN y SSED (García et al, 2013).

2.2.2.1. Programas y lenguajes de simulación.

En el terreno práctico, es importante utilizar la aplicación que mejor se adecúe al tipo de sistema a simular, ya que de la selección del lenguaje o simulador dependerá el tiempo de desarrollo del modelo de simulación. Las opciones van desde las hojas de cálculo, lenguajes de tipo general (como Visual Basic, C++ y FORTRAN), lenguajes específicos de simulación (como GPSS, SLAM, SIMAN, SIMSCRIPT, GAS y SSED), hasta simuladores específicamente desarrollados para diferentes objetivos (como SIMPROCESS, ProModel, Witness, Taylor II y Crystal Ball). En la actualidad la selección del lenguaje o simulador depende de los siguientes factores (García, 2006, citado en Ramírez y Gabriela, 2016):

1. Requerimientos de equipo, como plataforma o sistema operativo, memoria RAM y utilización de disco duro.
2. Capacidad de construcción y programación del modelo a través de iconos o mediante procesos, así como acceso a programación estándar. A este respecto también es importante considerar el tiempo y la velocidad en la detección de errores.
3. Inclusión de herramientas complementarias para la realización de pruebas de bondad de ajuste en forma automática, el análisis de las variables de respuesta, la posibilidad de crear diseño de experimentos y la optimización del sistema simulado.
4. La animación del sistema, considerando aspectos como velocidad, uso de diferentes vistas, facilidad de exportación, compatibilidad con otras aplicaciones y la posibilidad de poder prescindir del uso de la animación.
5. El costo y el tipo de licencia otorgada, así como el soporte técnico y la facilidad de entrenamiento y uso de manuales y ayudas en línea.

6. Otras consideraciones, como la capacidad de empaquetamiento de los modelos, la distribución a otros usuarios, y la capacidad que tenga la compañía para actualizar su producto.

2.2.2.2. Análisis de sensibilidad.

Tras validar el modelo es necesario fijar los escenarios que se quiere analizar. Una manera muy sencilla de determinarlos consiste en utilizar un escenario pesimista, uno optimista y uno intermedio para la variable de respuesta más importante, como presentan en su trabajo (Ferrer et al, 2013). Sin embargo, es preciso tomar en cuenta que no todas las variables se comportan, igual ante los cambios en los distintos escenarios, por lo que tal vez sea necesario que más de una variable de respuesta se analice bajo las perspectivas pesimista, optimista e intermedia. Una vez que se obtienen los resultados de los escenarios es importante realizar pruebas estadísticas que permitan comparar los escenarios con los mejores resultados finales. Si dos de ellos tienen resultados similares será necesario comparar sus intervalos de confianza respecto de la variable de respuesta final. Si no hay intersección de intervalos podremos decir con certeza estadística que los resultados no son iguales; sin embargo, si los intervalos se traslapan será imposible determinar, estadísticamente hablando, que una solución es mejor que otra. El siguiente paso a seguir es la documentación del modelo, sugerencias y conclusiones. Una vez realizado el análisis de los resultados, es necesario efectuar toda la documentación del modelo. Esta documentación es muy importante, pues permitirá el uso del modelo generado en caso de que se requieran ajustes futuros. En ella se deben incluir los supuestos del modelo, las distribuciones asociadas a sus variables, todos sus alcances y limitaciones y, en general, la totalidad de las consideraciones de programación. También es importante incluir sugerencias tanto del uso del modelo como sobre los resultados obtenidos, con el propósito de realizar un reporte más completo. Por último, deberán presentarse asimismo las conclusiones del proyecto de simulación, a partir de las cuales es posible obtener los reportes ejecutivos para la presentación final.

2.3. Análisis de procesos.

Un proceso se refiere a una parte cualquiera de una organización que toma insumos y los transforma en productos que, según espera, tendrán un valor más alto para ella que los insumos originales (Chase y Jacobs, 2014). No obstante, el producto de muchos procesos

son ciertos servicios. El análisis del proceso permite contestar algunas preguntas importantes, como ¿cuántos usuarios pueden manejar el proceso por hora? ¿Cuánto tiempo tomará servir a un usuario? ¿Qué cambio necesita el proceso para expandir la capacidad? ¿Cuánto cuesta el proceso? El primer paso del análisis del proceso es difícil e importante y consiste en definir con claridad cuál es el propósito del análisis. ¿El propósito es resolver un problema? ¿El propósito es comprender mejor las repercusiones de un cambio en la manera de hacer negocios en el futuro? Es fundamental comprender con claridad el propósito del análisis para poder definir el grado de detalle del modelo del proceso durante su preparación. “El análisis debe ser tan sencillo como sea posible” (Chase y Jacobs, 2014, p. 110).

2.3.1. Diagramas de flujo de procesos.

Las actividades asociadas a un proceso con frecuencia se afectan unas a otras, por lo cual es importante considerar el desempeño simultáneo de una serie de actividades que operan todas al mismo tiempo (Alonso, 2014). Una forma aconsejable de empezar a analizar un proceso es haciendo un diagrama que muestre los elementos básicos de un proceso, por lo general, las tareas, los flujos y las zonas de almacenamiento. Las tareas se presentan en forma de rectángulos, los flujos como flechas y el almacenamiento de bienes o de otros artículos como triángulos invertidos. A veces, los flujos que pasan por un proceso se dirigen en distintos sentidos, dependiendo de ciertas condiciones. Los puntos de decisión son representados como un diamante con diferentes flujos que salen de las puntas del diamante (Figura 2-3).

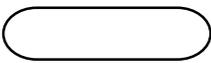
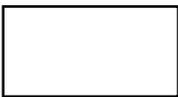
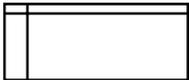
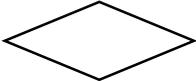
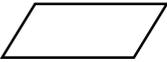
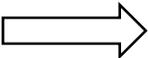
Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción
	Inicio y terminación (del proceso).		Proceso (hace referencia a una locación de servicio).
	Almacenamiento interno en el centro.		Operación (hace referencia a la actividad de la entidad en las locaciones)
	Decisión (hace referencia a la asignación de los usuarios).		Datos (hace referencia a la generación de datos)
	Traslado o transporte. Asocia tiempo de desplazamiento.		Proceso predefinido (hace referencia al modelo de filas determinado)



Figura 2-3. Símbolos de un diagrama de flujo. Fuente: elaboración propia a partir de (Chávez, 2016)

2.3.2. Tipos de procesos.

Es conveniente clasificar los procesos de modo que describa cómo está diseñado un proceso. Cuando es posible clasificar rápidamente un proceso, es fácil mostrar las similitudes y las diferencias que existen entre procesos (Comas et al, 2014). La primera manera de clasificar un proceso consiste en determinar si se trata de un proceso de una sola etapa o uno de varias etapas. Un proceso de varias etapas tiene diversos grupos de actividades que están ligados por flujos. Se utiliza el término etapa para indicar que varias actividades se han reunido para efectos del análisis (Figura 2-4).

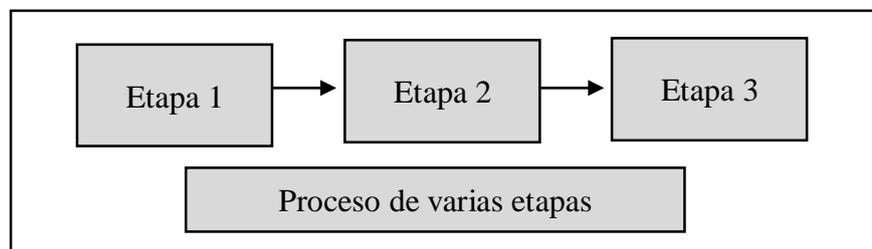


Figura 2-4. Tipos de procesos. Fuente: elaboración propia. Fuente: elaboración propia a partir de (Chase y Jacobs, 2014).

Las formas en que se calculan las medidas del desempeño en la práctica son muy variables. La definición de las medidas debe ser de forma congruente con la que se usa más comúnmente en la práctica. La medida más común de los procesos posiblemente es la utilización. La utilización siempre se mide en relación con algún recurso.

2.3.3.1. Productividad y eficiencia.

Para Chase y Jacobs (2014) “productividad se refiere a la proporción de productos en relación con los insumos” (p. 169). La productividad total de los factores se suele medir en unidades monetarias, por ejemplo, dólares, tomando el valor de la producción en dólares (como los bienes y los servicios vendidos) y dividiéndolo entre el costo de todos los insumos (es decir, materiales, trabajo e inversión de capital). Eficiencia se refiere a la proporción de la producción real de un proceso en relación con algún parámetro. Si los operadores de un turno de hecho producen a un ritmo de 36 cajas por minuto, entonces la eficiencia de la máquina es de 120% (36/30).

CAPÍTULO 3. DISEÑO METODOLÓGICO

La estructura metodológica para llevar a cabo un estudio de simulación por computadora está bien definida en la literatura: (García, et al., 2013) (Law, 2015) (Hillier y Hillier, 2008) (Chase et al., 2009) (Hillier y Lieberman, 2010). El sistema de atención a los usuarios del CREE está representado por un sistema de filas complejo, para el estudio del cual es conveniente utilizar una metodología de simulación de eventos discretos por lo cual se decidió basar el estudio en (García, et al., 2013), entre otras cosas, por su enfoque en el uso del software de simulación de propósito específico orientado a procesos, Promodel. El estudio implica tres etapas: el diseño del modelo del problema a analizar, la construcción del modelo y la experimentación con el sistema, como se ilustra en la figura 3-1.

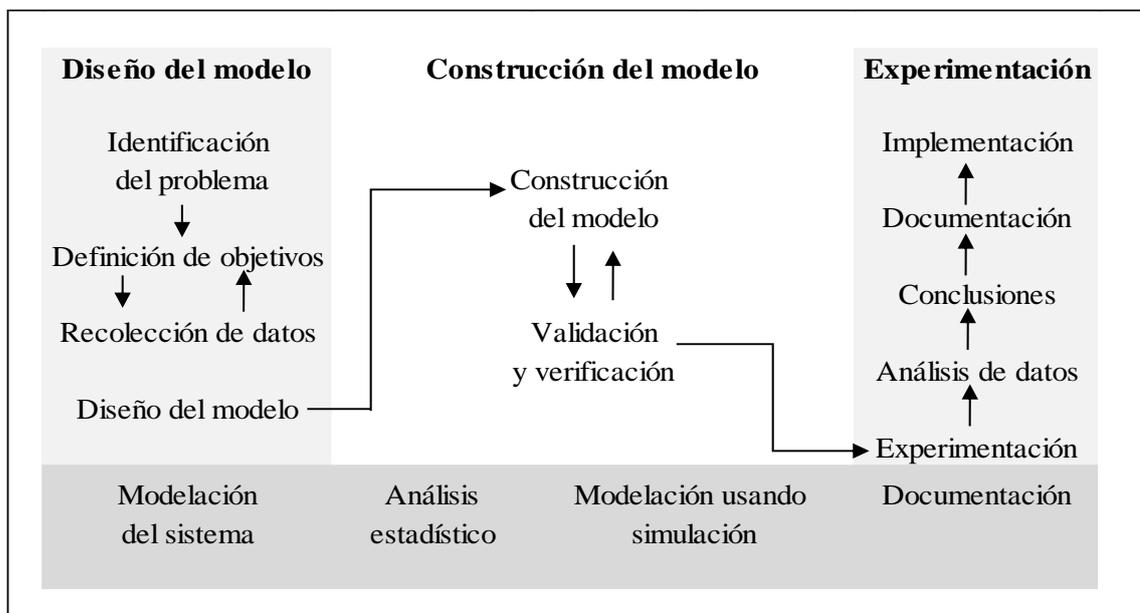


Figura 3-1. Representación de la estructura metodológica de un estudio de simulación. Fuente: propia a partir de (García, et al., 2013, p. 16)

3.1. Identificación del problema.

Se debe diferenciar entre los distintos planteamientos de los problemas de investigación y simulación por computadora de que se habla en la literatura (Chase et al., 2009): en simulación, el planteamiento del problema, básicamente consiste en la especificación de objetivos e identificación de las variables relevantes controlables e incontrolables del sistema que se va a estudiar (p. 654). Para un estudio de simulación que toma como herramienta metodológica la teoría de líneas de espera es claro que las variables relevantes son: tiempos entre llegadas y de servicio, además estas dos son (incontrolables).

Descripción del procedimiento.

Para propósitos prácticos del estudio se describirá un esbozo general del procedimiento de atención a los usuarios que solicitan el servicio por primera vez basado en el procedimiento oficial escrito en el Manual de procedimientos de la dirección general de rehabilitación (CREE, 2012). Los aspectos relevantes que se quiere mostrar son los eventos, los canales de servicio y los servidores que intervienen en el proceso obviando detalles operacionales. Los usuarios que solicitan el servicio por primera vez muestran tiempos de llegada y de servicio aleatorios en todos los servidores excepto en el tiempo del servicio en el consultorio, donde se cuenta con un máximo de treinta minutos para prevalorarlos. La tabla 3-2 y la figura 3-1, describen el proceso del sistema:

Tabla 3-1. Proceso de atención a los usuarios del sistema de filas del CREE que solicitan el servicio por primera vez.

Área responsable	Número de actividad	Desarrollo
Caja	1	Recibe al usuario que solicita atención por primera vez en el Centro, emite recibo de preconsulta (sin costo) e indica al paciente que se presente en recepción de valoración para notificar su llegada.
Recepción de valoración	2	Recibe al usuario con recibo de preconsulta y le indica que espere turno en el consultorio de preconsulta. Notifica al médico responsable de preconsulta la llegada del usuario solicitando el servicio.
Preconsulta	3	Recibe del paciente la solicitud de atención médica en el Centro de Rehabilitación. De acuerdo a la entrevista inicial y al diagnóstico clínico, si lo considera candidato, explica al usuario que es necesario presentarse en la consulta médica especializada. Si no se considera candidato termina el procedimiento. Se canaliza al servicio de salud correspondiente en caso necesario.

Recepción de valoración	4	Recibe al usuario que sí corresponde con hoja de preconsulta firmada por el médico, asigna trabajadora social y canaliza al usuario a plática de inducción.
Trabajo social	5	Recibe al usuario para elaboración de estudio socioeconómico y asignación de clave de cuotas de recuperación de acuerdo al Procedimiento para atender usuarios en la consulta médica de primera vez en el Centro posterior a la plática de inducción a los servicios del Centro. Orienta al usuario sobre el trámite que debe seguir y refuerza la información sobre la necesidad de presentarse en la consulta médica Especializada.
Recepción de valoración	6	Recibe al usuario y registra cita a la consulta médica especializada o paramédica correspondiente en la agenda electrónica y en el carnet de citas. Informa al usuario y le indica la fecha y hora señalada en su carnet de citas para que se presente a recibir la atención programada. Si la atención es el mismo día se envía a caja para realizar el pago de cuota de recuperación y elaborar su recibo correspondiente.
Caja	7	Recibe al usuario y verifica la cita señalada en su carnet, si es correcta emite recibo de consulta médica especializada o paramédica de acuerdo a la clave de cuota de recuperación asignada por trabajo social y remite al paciente a recepción de valoración para notificar su llegada. Si el paciente se encuentra fuera de horario o no corresponde al día de su cita, lo remite a la recepción de valoración para el registrar nueva cita como marca el punto 6.
Recepción de valoración	8	Recibe al usuario que notifica su llegada al Centro para recibir consulta médica especializada o paramédica, indica al mismo que espere su turno en el consultorio correspondiente.
Consulta médica especializada y/o consulta paramédica	9	Recibe al usuario de primera vez en la fecha y hora señalada en la agenda electrónica y carnet de citas. Brinda atención de acuerdo al Procedimiento para atender usuarios en la consulta médica de primera vez en el Centro, realiza la apertura de expediente clínico definitivo, elabora historia clínica y nota inicial, según corresponda el caso. Si considera que existen opciones de tratamiento que ofrecer en este Centro, orienta y explica al usuario la importancia

	de la propuesta de tratamiento, realiza la prescripción de terapias u otro servicio que se considere necesario y remite al paciente para programar las citas correspondientes. Indica al usuario que después de concluir el tratamiento debe agendar nueva cita a la consulta médica especializada o paramédica subsecuente como lo indica el punto 6.
--	--

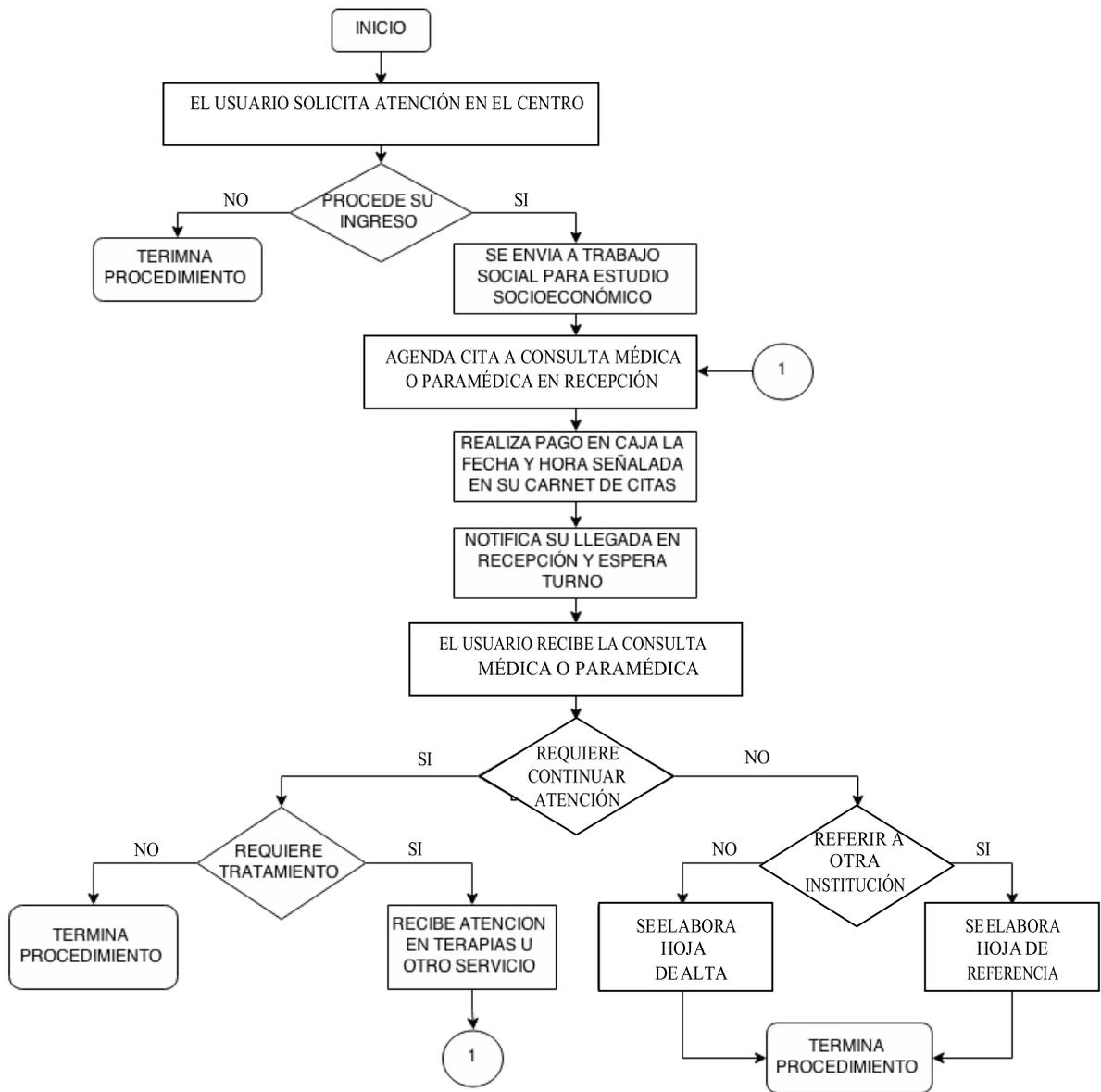


Figura 3-2. Diagrama de flujo del sistema de atención a los usuarios que solicitan el servicio por primera vez del CREE.

Modelo de filas.

En el sistema de filas de atención a los usuarios que solicitan el servicio por primera vez en el CREE, existe una población fuente que genera los usuarios estos llegan buscando el servicio y se topan con la primera etapa (el servidor 1) donde pueden pasar directamente a ser atendidos o pueden esperar en una fila, de la misma forma, luego pasan a las otras etapas, hasta que salen del sistema. El sistema de filas del CREE se puede describir básicamente en tres componentes; llegada de los usuarios, el mecanismo de servicio y la salida de los usuarios. De acuerdo con (Hillier y Lieberman, 2010) se puede clasificar como un sistema de filas social (p. 713).

La unidad de tiempo que se tomará como referencia para el cálculo de los tiempos promedios entre llegada y servicio será el turno de trabajo, el cual es de 7 am a 15 pm.

Llegada de los usuarios.

Se supone una distribución exponencial de los tiempos entre llegada, además, la distribución exponencial y la de Poisson se pueden derivar una de la otra (Chase et al., 2009, p.281) por lo que se supone una distribución de Poisson para el número de usuarios que demandan el servicio por turno.

Patrón de llegadas: en términos técnicos las llegadas pueden ser controladas, pero para propósitos prácticos, que es además lo que se da en el sistema real, actualmente, las llegadas se suponen incontrolables, como argumenta (Chase et al., 2009, p.281).

Tamaño de las unidades de las llegadas: para propósitos prácticos del estudio se establecerá que las llegadas son únicas, aunque en ocasiones llegan al sistema más de un usuario a la vez, en tal caso en tiempo entre llegada se muestreo como un lapso de tiempo de un segundo. Se determinó así por razón de que la experiencia indica que no afecta de manera relevante la simulación para un sistema que presenta longitudes de tiempos promedios de llegadas como los del sistema de filas del CREE.

Grado de paciencia: aunque no en el cien por ciento de los casos, con base en la experiencia obtenida durante el muestreo puede afirmarse que, como define (Chase et al., 2009, p.282) los usuarios esperan tanto tiempo como sea necesario hasta que el servicio esté disponible

para atenderlos, por tanto, se define el grado de paciencia del usuario como *paciente*. Las características anteriores se resumen en las tablas 3-3 y 3-4.

Tabla 3-2. Características de las llegadas de los usuarios del sistema de filas del CREE que solicitan el servicio por primera vez.

Características de las llegadas	Caja	Recepción de valoración	Preconsulta	Recepción de valoración	Trabajo social	Recepción de valoración
No de servidor	1	2	3	4	5	6
Distribución	Exponencial	Exponencial	Exponencial	Exponencial	Exponencial	Exponencial
Patrón	Incontrolable	Incontrolable	Incontrolable	Incontrolable	Incontrolable	Incontrolable
Tamaño de llegada	Única	Única	Única	Única	Única	Única
Grado de paciencia	Paciente	Paciente	Paciente	Paciente	Paciente	Paciente

Fuente: propia (2018).

Tabla 3-3. Estructura de las líneas de los usuarios del sistema de filas del CREE que solicitan el servicio con cita previa agendada.

Estructura de las líneas	Caja	Recepción de valoración	Consulta médica especializada	Recepción de valoración
No de servidor	7	8	9	6
Distribución	Determinística	Determinística	Determinística	Determinística
Patrón	Controlable	Controlable	Controlable	Controlable
Tamaño de llegada	Única	Única	Única	Única
Grado de paciencia	Paciente	Paciente	Paciente	Paciente

Fuente: propia (2018).

Mecanismo de servicio:

El mecanismo de servicio está formado por dos componentes principales: por el número de líneas y servidores disponibles (Chase et al., 2009, p.282). Estos componentes presentan particularidades que se describirán a continuación:

Longitud: la población fuente del sistema de filas del CREE es, principalmente, la población del municipio de la Paz que busca uno de los servicios ofrecidos y no está restringida a edad, sexo ni condición socioeconómica por lo cual se hace evidente que para propósitos prácticos aquí se considera infinita.

Número de líneas: para los servidores dos y tres (los cuales realizan la misma función) hay una sola línea para los dos servidores y en el caso de los servidores cuatro y cinco existe una línea para cada servidor, aunque técnicamente muestran un proceso deferente ente sí.

Disciplina de la cola: primero en entrar, primero en salir (PEPS) (Hillier y Lieberman, 2010).

Distribución del tiempo del servicio: para los servidores cuatro y cinco existe una restricción en el tiempo máximo de servicio, el cual es de 30 minutos, por lo cual se debe determinar qué tipo de distribución de probabilidad los representa. Para todos los demás servidores se supone una distribución exponencial.

Estructura de las líneas: para el caso de los servidores dos y tres, aunque ambos ofrecen el mismo servicio, los usuarios avanzan por una sola línea. Para el caso de los servidores cuatro y cinco existe una línea independiente por servidor. Lo anterior se resumen en las tablas 3-5 y 3-6.

Tabla 3-4. . Estructura de las líneas que forman los usuarios que solicitan el servicio por primera vez del sistema de filas del CREE.

Factores del mecanismo de servicio	Caja	Recepción de valoración	Preconsulta	Recepción de valoración	Trabajo social	Recepción de valoración
No de servidor	1	2	3	4	5	6
Longitud	Infinita	Infinita	Infinita	Infinita	Infinita	Infinita
Número de líneas	1	1	1	1	1	1
Disciplina de la cola	PEPS	PEPS	PEPS	PEPS	PEPS	PEPS
Distribución del tiempo del servicio	Exponencial	Exponencial	Lognormal	Exponencial	Exponencial	Exponencial

Fuente: propia (2018).

Tabla 3-5. Estructura de las líneas que forman los usuarios con cita previa agendada del sistema de filas del CREE.

Estructura de la línea	Caja	Recepción de valoración	Consulta médica especializada	Recepción de valoración
No de servidor	7	8	9	6
Longitud	Infinita	Infinita	Infinita	Infinita
Número de líneas	1	1	1	1
Disciplina de la cola	PEPS	PEPS	PEPS	PEPS
Distribución del tiempo del servicio	Exponencial	Exponencial	Lognormal	Exponencial

Fuente: propia (2018).

Salida de los usuarios del sistema.

Como la población fuente es bastante grande y este tipo de servicio solo se brinda una vez, existe poca probabilidad de que un usuario solicite este mismo servicio por segunda vez, entonces para propósitos prácticos del estudio se considerara improbable que los usuarios vuelvan a la población fuente nuevamente.

Modelación del sistema de filas: para darle nombre al modelo de filas se usará una clasificación estándar, donde se describen tres elementos principalmente (Hillier y Hillier, 2008): las distribuciones de probabilidad de los tiempos entre llegada y servicio y el número de servidores (p. 425), como se muestra en la figura 3-3.

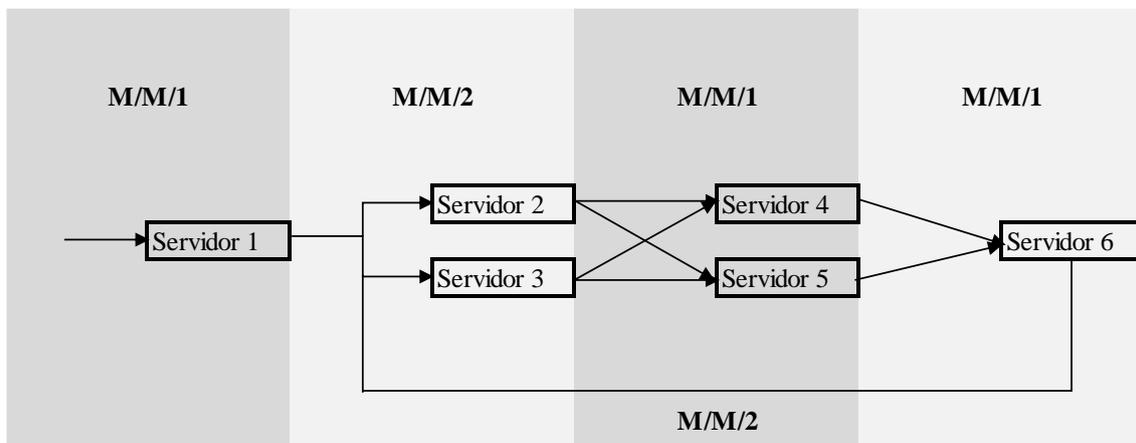


Figura 3-3. Clasificación de las filas del CREE. Fuente: propia (2018).

3.2. Definición de Objetivos.

En la ciencia administrativa el objetivo final de la simulación es estimar algunas medidas de desempeño deseables que describan el comportamiento del sistema simulado (Taha, 2012).

El propósito del presente estudio de simulación es determinar un equilibrio que minimice los costos de operación del sistema y la espera de los usuarios. En general, el modelo mide la calidad de la solución sugerida, así como cuánta variabilidad puede existir en las diferentes medidas de desempeño debido a lo aleatorio de las entradas.

Recolección de datos.

En esta parte del estudio es conveniente que el analista, adquiera experiencia acerca del comportamiento del sistema, por ejemplo, se requiere saber si hay patrones, como “*una hora pico*” en tal caso es posible que esto implique dividir el turno en segmentos, debido a que los tiempos extremos en el muestreo afectan de manera significativa los eventos en el modelo de simulación: puede darse el caso de que la mayoría de los usuarios lleguen en horas de la mañana y el modelo de simulación no los represente a si, sino más uniformemente distribuidos. La recolección de los datos implicara principalmente dos tipos, los tiempos entre llegada y de servicio de los clientes.

Muestreo: como apunta bien (Chase et al., 2009):

“se debe admitir que la información obtenida de estas fuentes probablemente no sea suficiente para validar las conclusiones derivadas de la simulación. Por lo tanto, la única prueba real de una simulación es qué tan bien se desempeña el sistema real después de haber implantado los resultados del estudio” (p. 654).

Para cada uno de los servidores se deben tomar datos tanto de tiempos entre llegadas como de servicio. Debido a la extenuante tarea que conlleva esta actividad y como señala (Chase et al., 2009): si usamos una distribución de probabilidad conocida simplificamos en gran medida el análisis y recolección de datos (p.654), además: Se podría observar las operaciones del sistema durante un periodo largo de tiempo, recopilar una gran cantidad de datos y con estos determinar las características de operación del sistema bajo estudio, sin embargo, no es necesario invertir meses o años en esta tarea ya que la simulación puede lograr lo mismo

en poco tiempo (Hillier y Hillier, 2010, p.488). Para validar esto, se empleará dos estrategias: usar datos operativos antiguos del sistema real y la percepción del analista del sistema real. Por lo anterior, para el caso de las llegadas, la administración lleva a cabo un registro de cuantos usuarios solicitan el servicio diariamente, con lo cual es válido determinar el tiempo promedio entre llegadas, como lo explica (Chase et al., 2009):

“Cuando se observan las llegadas a un local de servicios, se pueden adoptar dos puntos de vista: en primer término, se puede analizar el tiempo que transcurre entre llegadas sucesivas para ver si los tiempos siguen alguna distribución estadística. Por lo general se supone que el tiempo entre llegadas se distribuye de forma exponencial. En segundo, es posible establecer una duración de tiempo (T) y tratar de determinar cuántas llegadas entrarían en el sistema dentro de T” (p. 280).

De cualquier forma, se contrastará estos datos con la toma de cincuenta datos entre llegada para cada uno de los servidores a lo largo de varios días de muestreo (en caso de no ser consistente, se muestreará nuevamente) (Halchor-Balter, 2013). Lo mismo se llevará a cabo con los tiempos del servicio. Por motivos técnicos y temporales, las particularidades de los días y temporadas de variación inusual en la ausencia de los usuarios se tendrán que integrar al modelo de simulación sobre la marcha. El hecho de que el número de los datos sea arbitraria y una cantidad adecuada se debe a criterios estadísticos del programa Stat:Fit* y por referencias de trabajos afines (Gutiérrez et al, 2016) (Ramírez y Gabriela, 2016) (Ferrer et al, 2013) y (Chávez, 2017).

Forma de tomar los tiempos.

Los datos de tiempos se medirán con un cronometro. El tratamiento estadístico de los datos se realizara con la herramienta Stat:Fit, incluida dentro del Promodel.

Tiempos entre llegada: el tiempo comenzará a avanzar en el momento de la llegada de un usuario a la instalación de servicio y se detendrá para ser registrado al momento de la llegada del siguiente usuario.

* Stat:Fit es un software de análisis estadístico incluido en Promodel: www.promodel.com

Tiempo entre llegadas: el tiempo comenzará a avanzar en el momento de la llegada de un usuario al servidor y se detendrá para ser registrado al momento de su salida de este.

3.3. Diseño del modelo.

Es importante diferenciar aquí la metodología para la simulación de problemas generalmente de ingeniería y administración y la herramienta con que se realiza esa simulación por ejemplo los métodos por computadora, en este estudio se definirán los conceptos fundamentales del modelo de simulación con base en (García et al., 2013). La teoría de líneas de espera emplea métodos determinísticos para los cuales no siempre es posible resolver todos los modelos, especialmente los modelos que presentan varias etapas, como señala (Eppen et al., 2000): si la distribución no coincide exactamente, o si hay otras complejidades en el modelo que no coinciden con las hipótesis estándar, puede resultar difícil o imposible obtener resultados analíticos. Entonces se tendría que utilizar la simulación (p. 509), además: Las líneas de espera que ocurren en serie y en paralelo (como líneas de ensamble y centros de trabajo) por lo común no se pueden solucionar matemáticamente (Chase et al., 2009, p. 658). El tipo de simulación que se utilizara es el que intenta representar eventos aleatorios, también conocido como método Monte Carlo (Eppen et al., 2000). Dentro de los tipos de simulación por computadora existe, los generales y los de propósito específico, para este caso se utilizará el Software Promodel el cual se adecua de manera plena, para así poder realizar simulaciones de variables discretas (García et al., 2013).

Elementos del modelo.

Los elementos más relevantes del sistema real deberían estar representados por representaciones abstractas que faciliten la comprensión analítica y visual en la medida de lo posible. Es importante hallar un equilibrio entre usar muy pocos elementos y usar demasiados, ya que muy pocos podrían derivar en un modelo demasiado simple que corre el riesgo de omitir aspectos relevantes para el análisis por otro lado un modelo demasiado detallado puede entorpecer la obtención de los parámetros buscados, por lo cual se debe buscar en la manera de lo posible evitar el exceso de detalles que no son estrictamente relevantes para cumplir los objetivos, sin caer en demasiada simplicidad, como aconseja (García et al., 2013). Los elementos que se tomaran en cuenta para este modelo son:

Los usuarios: están definidos por cualquier persona que demande una inversión de recursos por parte del servidor, en el software serán llamados entidades.

Estado de las instalaciones: los tipos de sucesos que se pueden observar en el sistema real son, por ejemplo: el número total de usuarios que están dentro de las instalaciones o cuántos de ellos están esperando en la fila, el tiempo total que invierten los usuarios dentro de las instalaciones o el tiempo que tardan en ser atendidos en cada servidor. Así también se podría calcular estos sucesos probabilísticamente, por ejemplo, la probabilidad de que haya cierto número de personas dentro de las instalaciones en determinado momento o la probabilidad de que una persona invierta determinado tiempo en el sistema (White & Ingalls, 2015). Estos sucesos son las llamadas características de operación puntuales, y sus probabilidades en el modelo de filas de donde, para su representación, tomara estos nombres el modelo de simulación.

Fenómenos que ocurren dentro de las instalaciones: se presentan dos fenómenos relevantes el sistema de filas del CREE las llegadas de los usuarios ya sea a la fila o a los servidores y sus salidas de estos. En el modelo de simulación estos eventos serán llamados eventos actuales y futuros respectivamente. Además, existen otros fenómenos que representarían eventos, la puesta fuera de servicio de algún servidor en determinado momento, por ejemplo, por salir a tomar alimentos los cuales también se pueden simular.

Etapas del proceso: cómo se puede apreciar en la figura 3-4 el sistema de filas del CREE se puede descomponer en varios subsistemas de acuerdo con los modelos de la teoría de líneas de espera, cada cual tiene dos componentes fundamentales su o sus filas y servidores. A cada subsistema de estos se le llamará localización en el modelo de simulación.

Documentos: serían en dado caso los recursos, pero no es relevante para este estudio debido a que no es uno de los objetivos estimar variables para estos.

Características físicas de las instalaciones y los usuarios: se buscará darle aspecto visual realista al sistema, aunque un mayor parecido con el sistema real no mejoraría o disminuiría la eficiencia del modelo (Sturrock, 2013). A estas características se les llamará atributos.

Variables: los tiempos entre llegada y de servicio son las variables principales de que servirán para resolver el modelo basado en costos, costos que también presentan variables que se pueden categorizar en: variables de costos por ofrecer el servicio y por la espera de los usuarios.

Proceso recorrido por el usuario dentro del sistema: se deben tomar en cuenta dos aspectos principales, las actividades que realiza en cada subsistema y las que, por llamarlo así, es la suma de todas las que realiza dentro de las instalaciones. En el modelo simulado estas estarán representadas respectivamente por los relojes relativos y absoluto (Minitab® 17, 2017).

Construcción del modelo.

Para llevar a cabo el estudio se utilizó el software de simulación ProModel Student® versión 9.3.0.2051 (32 bit) creado en 2016. Al ser una herramienta de simulación de eventos discretos ProModel proporciona a los administradores la oportunidad de probar nuevas ideas para el diseño o la mejora del sistema antes de comprometer el tiempo y los recursos necesarios para construir o modificar el sistema real (ProModel, 2016). La programación del modelo se llevó a cabo de acuerdo con las características del sistema real y el diagrama de proceso del sistema. Para programar el modelo en el software se siguieron las indicaciones de la guía del usuario (Promodel, 2016). Se requirió de la creación de 8 locaciones, 1 entidad y la lógica de programación del proceso como se puede ver en la figura 3-4.

Locaciones: las locaciones se definen en el editor de locaciones al cual se accede desde el menú construir.

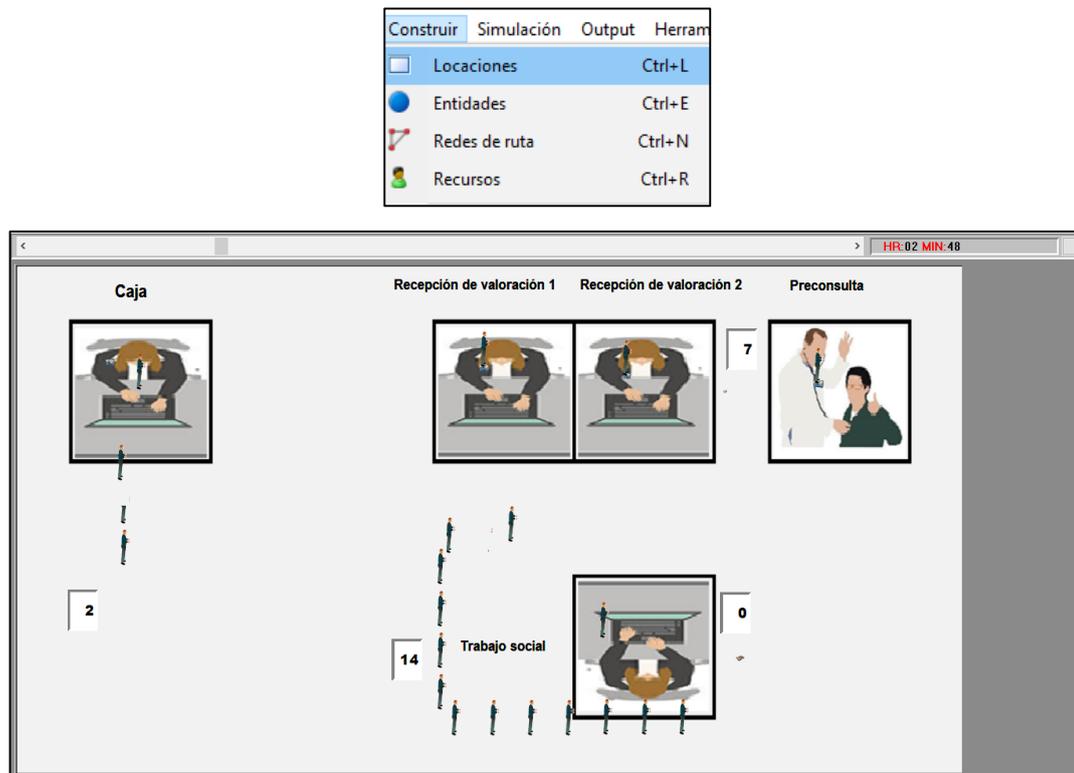


Figura 3-4. Modelo del sistema de filas del CREE programado en ProModel. Fuente propia (2016).

Las locaciones en el modelo figura 3-5 corresponden a los servidores reales del sistema de filas del CREE. Se consideró establecer locaciones para representar las filas (fila y pallet, llamadas filas), con variables que contaran el número de usuarios en la fila de cada locación (Simio Forwar Tinking, 2017).. Las variables de las locaciones se interpretan en la sección de los resultados de acuerdo con las variables de respuesta del modelo (outputs).

Entidades: el tipo de entidad puede ser creado y editado con el editor de entidades Figura 3-6. la programación de esta consiste en (1) especificar en el cuadro de edición el nombre y las especificaciones de la entidad, y (2) la ventana de los gráficos de la entidad donde selecciona el icono que representara a la misma. El nombre asignado a la entidad fue “usuario” y representa al usuario que solicita el servicio por primera vez en el sistema.

Icono	Nombre	Cap.	Unidades	TMs...	Estadist	Reglas...	Notas...
	Fila_de_la_caja	INFINITE	1				
	Caja	1	1	Ninguna	Series de ti	Más Tiempo	
	Fila_de_la_recepción_de_valoración	INFINITE	1	Ninguna	Series de ti	Más Tiempo, FIFO	
	Recepción_de_valoración	1	1	Ninguna	Series de ti	Más Tiempo	
	Fila_de_preconsulta	INFINITE	1	Ninguna	Series de ti	Más Tiempo, FIFO	
	Preconsulta	1	1	Ninguna	Series de ti	Más Tiempo	
	Fila_de_trabajo_social	INFINITE	1	Ninguna	Series de ti	Más Tiempo, FIFO	
	Trabajo_social	1	1	Ninguna	Series de ti	Más Tiempo	

Figura 3-5. Programación de las locaciones del modelo en ProModel. Fuente: propia (2016).

Construir	Simulación	Output	Herramientas
<input type="checkbox"/>	Locaciones		Ctrl+L
<input checked="" type="checkbox"/>	Entidades		Ctrl+E
	Redes de ruta		Ctrl+N
	Recursos		Ctrl+R

Gráficas

Nuevo

Sólo Correa Transportadora:

Ancho 1.8571 Pt

Largo 6.4286 Pt

Caja Recepción de valoración 1 Recepción de valoración 2 Preconsulta

Trabajo social

Icono	Nombre	Velocidad (Epm)	Estadist	Notas...
	Usuario	15	Series de tiempo	

Figura 3-6. Programación de las entidades del modelo de filas del CREE con ProModel. Fuente: propia (2016).

Arribos: la locación a la que llegara el usuario es la caja, ya que es la primera en el proceso del sistema. Existe un horario de atención a los usuarios que solicitan el servicio por primera vez de solo 2 horas por lo cual para determinar la tasa promedio de llegadas de usuarios diaria λ (ocurrencias) se calculó el promedio de esta con base en reporte mensual de acciones individuales y de acuerdo con el supuesto de la teoría de líneas de espera que dice que la tasa promedio de llegadas sugiere seguir una distribución de probabilidad de Poisson (Fuentes, et al, 2016). Por lo anterior en la lógica de programación para as ocurrencias fue de $\lambda= 15$ que sigue una distribución de Poisson (Figura 3-7).

Entidad...	Locación...	Cant. por Arribo...	Primera Vez...	Ocurrencias	Frecuencia	Lógica...	Deshab...
Usuario	Fila_de_la_caja	1		p(15)	e (2.57) min		

Figura 3-7. Programación de los arribos del modelo de filas del CREE con ProModel. Fuente: propia (2016).

Proceso: la lógica de programación del proceso para el sistema de filas del CREE (Figura 3-8) busca representar los modelos de filas que se presentan dentro de este, así, por ejemplo, para la caja la cual se puede modelar como un modelo M/M/1 debido a que tanto los tiempos de llegada como los de servicio para esta estación son probabilísticos (Markovianos) y solo está en operación un servidor. Para encontrar las características de operación del sistema fue necesario establecer a las filas como locaciones (ejemplo, fila de la caja) con el fin de encontrar el número promedio de usuarios que esperan en la fila y el tiempo promedio que pasan en ella. El porcentaje de utilización del sistema, el número total promedio de usuarios en el sistema y el tiempo promedio total que pasa el usuario en el sistema están dados por los servidores y se pueden analizar en los resultados de la simulación.

Entidad...	Locación...	Operación...
Usuario	Fila_de_la_caja	
Usuario	Caja	wait e(1.96)min
Usuario	Fila_de_la_recepción_de_valoración	
Usuario	Recepción_de_valoración_1	wait e(29.84)min
Usuario	Recepción_de_valoración_2	wait e(29.84)min
Usuario	Fila_de_preconsulta	
Usuario	Preconsulta	Wait U(32, 1.64) min
Usuario	Fila_de_la_recepción_de_valoración	
Usuario	Recepción_de_valoración_1	wait e(15.35)min
Usuario	Recepción_de_valoración_2	wait e(15.35)min
Usuario	Fila_de_trabajo_social	
Usuario	Trabajo_social	wait e(21.53)min
Usuario	Fila_de_la_recepción_de_valoración	
Usuario	Recepción_de_valoración_1	wait e(14.31)min
Usuario	Recepción_de_valoración_2	wait e(10)min

Blk	Salida...	Destino...	Regla...	Lógica de Movimiento...
	Usuario	Caja	FIRST 1	move on redl

Figura 3-8. Programación del proceso del modelo de filas del CREE con ProModel. Fuente: propia (2016).

Costos: el principal costo del sistema es el costo de los servidores (locaciones). Para calcular los costos se solicitó información a la administración del sueldo de los trabajadores que atienden los servidores y de las que intervienen en la operatividad del sistema. Debido a motivos discrecionales el CREE solo se proveyó de una lista de costos generales con lo cual se tuvo que promediar el costo por servidor. El otro costo implicado en el modelo económico, costo por esperar del usuario, se calcula en base a la productividad del usuario la cual se calcula con base en los ingresos que recibe el centro por el tratamiento a los usuarios (cuotas de recuperación) el cual también se promedió debido a los mismos motivos discrecionales del CREE. Para programar los costos en el ProModel se elige la opción Costos del menú construir (Figura 3-9).

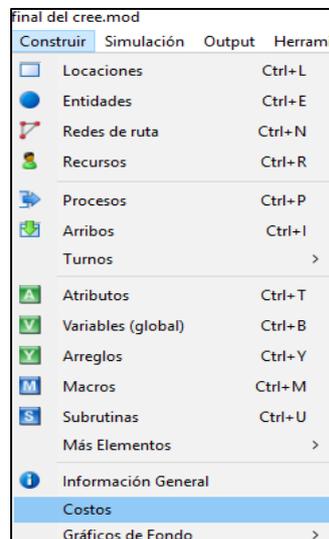


Figura 3-9. Ventana de programación de los costos con ProModel. Fuente: propia (2016).

Validación del modelo.

La prueba estadística que se utilizó para validar el modelo preliminar es la comparación de los tiempos promedios entre llegadas y de servicio de los usuarios que solicitan el servicio por primera vez debido a que es aquí donde se dan las condiciones de aleatoriedad del sistema. Utilizando como herramienta una prueba t para dos tipos de muestras con varianzas distintas, con lo cual se puede demostrar si el modelo del estudio es estadísticamente válido para representar el modelo real (Gorgas et al, 2011). Para calcular los promedios de los tiempos * entre llegadas y de servicio se siguió el procedimiento que se muestra en la sección 3.3. con lo cual se obtuvieron los datos que se muestran en la tabla 3-7.

* Nota: el tiempo entre llegadas para los servidores dos, tres y cuatro se forma a partir del tiempo de servicio de los servidores de donde procede el usuario por eso no se tomó en cuenta para la construcción del modelo del estudio.

Tabla 3-6. Tiempo promedio de llegadas y del servicio de los usuarios que solicitan el servicio por primera vez del sistema de filas del CREE.

Tiempo promedio en minutos de	Caja	Recepción de valoración	Preconsulta	Recepción de valoración	Trabajo social	Recepción de valoración
Llegadas	2.57					
Servicio	1.96	29.84	32.70	15.35	21.53	14.31

Fuente: propia (2018).

Con estos promedios se puede determinar el número de muestras, n , que se deben obtener mediante el software de simulación que sería el equivalente a muestrear el sistema en la realidad. Cada número de muestra se puede replicar en el programa con el fin de obtener mayor validez por lo tanto se busca cuantas replicas sean necesarias para validar el modelo de acuerdo con la ecuación propuesta por (García et. al., 2013):

$$n = \left(\frac{s}{e} t_{\alpha/2, n-1} \right)^2 \quad (1)$$

Donde:

$t_{\alpha/2, n-1}$: estadístico de la distribución *t-student* para dos colas con $n-1$ grados de libertad y nivel de significancia α .

n : tamaño de la muestra preliminar de réplicas

s : desviación estándar de la muestra preliminar de réplicas

e : margen de error

Como ejemplo del procedimiento se muestra el cálculo del tamaño de la muestra para la caja. Los resultados para todos los servidores se muestran en la tabla 3-9. El número de réplicas del modelo de prueba piloto que se eligió fue de diez (a criterio del investigador). Los resultados de las réplicas para la caja se muestran en la tabla 3-8.

Tabla 3-7. Resultado de las réplicas simuladas del modelo preliminar para la caja.

Réplica	Tiempo promedio entre llegadas (en minutos)	Tiempo promedio del servicio (en minutos)
1	2.53	1.93

2	2.55	1.91
3	2.57	2.03
4	2.52	1.95
5	2.49	1.99
6	2.56	1.99
7	2.59	1.87
8	2.54	1.9
9	2.51	1.95
10	2.58	1.97

Fuente: propia (2018)

Las desviaciones estándar son: $s = 0.032$ para el tiempo entre llegadas y $s = 0.048$ para el tiempo del servicio. El error asignado por la administración fue de $\epsilon = 0.015$ para los tiempos entre llegada y de $\epsilon = 0.030$ para los tiempos del servicio. El estadístico de prueba *t-student* para dos colas con $n = 10$ y $\alpha = 5\%$, se calculó como sigue:

$$t_{\alpha/2, n-1} = t_{0.025, 9} = 2.26216$$

El cálculo del número de réplicas n_E para el tiempo entre llegadas del estudio está dado de acuerdo con la ecuación 1 como sigue:

$$n_E = \left(\frac{0.032}{0.015} * 2.26216 \right)^2 = 23.35 \approx 24 \text{ réplicas.}$$

Al tratarse de tiempos en minutos para calcular el error se utilizó la proporción de tiempo que representa la desviación estándar de la tasa de llegadas, λ histórica en el servidor 1 y para el servicio se calculó con base a criterios del administrador tomando en cuenta que el horario de atención para los usuarios que solicitan el servicio por primera vez es de solo 2 horas del turno de trabajo.

Tabla 3-8. Calculo del número de las réplicas para los distintos servidores de atención a los usuarios que solicitan el servicio por primera vez del sistema de filas del CREE.

Parámetro		Caja	Recepción de valoración	Preconsulta	Recepción de valoración	Trabajo social	Recepción de valoración
Desviación estándar del muestreo (en minutos)	Llegada	0.03	0.03	0.49	0.61	0.32	0.48
	Servicio	0.05	0.47	2.10	0.51	0.47	0.45
Error asignado (en minutos)	Llegada	0.015	0.015	0.3	0.3	0.3	0.3
	Servicio	0.03	0.3	2	0.3	0.3	0.3
Estadístico de prueba	Llegada	2.26216	2.26216	2.26216	2.26216	2.26216	2.26216
	Servicio	2.26216	2.26216	2.26216	2.26216	2.26216	2.26216
Número de replicas	Llegadas	23.35	24.79	13.49	21.29	5.67	12.97
	Sevicio	13.20	12.38	5.63	14.59	12.61	11.72

Fuente: propia (2018)

Estos cálculos solo se llevaron a cabo para el servidor 1 debido a que las llegadas al servidor 2 dependen del tiempo del servicio del servidor 1 y los márgenes de error para los tiempos de servicio d de los demás servidores se dejaron a criterio del administrador como se muestra en la tabla 3-9.

Fuente: propia (2018).

Para realizar el contraste de los datos se llevó a cabo un muestreo aleatorio de 50 datos (ver anexo 2) y así encontrar los tiempos promedios entre llegadas, $1/\alpha$ y de servicio, $1/\lambda$ para todos los servidores.

Los resultados contrastados de los promedios de los tiempos entre llegadas y servicio de las réplicas \bar{x}_E (media del estudio) y $1/\lambda$ y $1/\mu$ se muestran en la 3-10. La prueba concluyente de que el modelo del estudio si es válido para representar el sistema real es una prueba de hipótesis sobre las medias poblacionales μ_s del sistema real y μ_E del estudio. De acuerdo con (Montgomery et. al., 2006) tenemos que:

$$H_0: \mu_s = \mu_E$$

$$H_A: \mu_s \neq \mu_E$$

La hipótesis nula H_0 establece que se asume que las medias poblacionales son iguales y el modelo es válido para representar al servidor en cuestión (en este ejemplo es la caja). La hipótesis alternativa H_A , establece que las medias poblacionales son diferentes y por tanto el modelo del estudio no es válido para representar el servidor. Se puede decir que se rechaza H_0 , cuando:

$$|t_0| > t_{\alpha/2, v}$$

t_0 , es el estadístico *t-student* de la prueba y $t_{\alpha/2, v}$, es el valor crítico de la distribución *t-student* para dos colas, con un nivel de significancia α y v grados de libertad. El estimador se calcula como sigue:

$$t_0 = \frac{\hat{x}_S - \hat{x}_E}{\sqrt{\frac{\sigma_S^2}{n_S} + \frac{\sigma_E^2}{n_E}}} \quad (2)$$

Al sustituir en la ecuación 2 los valores del muestreo y las réplicas obtenemos:

$$t_0 = \frac{2.56 - 2.57}{\sqrt{\frac{0.055^2}{50} + \frac{0.074^2}{25}}} = -0.30$$

$$|t_0| = 0.30$$

El valor crítico de la distribución *t-student* para dos colas $t_{\alpha/2, v}$, presenta los parámetros de nivel de significancia $\alpha = 5\%$ y, v grados de libertad, calculados como sigue (ecuación 3):

$$v = \frac{\left(\frac{\sigma_S^2}{n_S} + \frac{\sigma_E^2}{n_E}\right)^2}{\sqrt{\frac{(\frac{\sigma_S^2}{n_S})^2}{n_S - 1} + \frac{(\frac{\sigma_E^2}{n_E})^2}{n_E - 1}}} \quad (3)$$

Sustituyendo los valores del muestreo en el sistema real y las réplicas del modelo (se decidió realizar 25 réplicas para todo el modelo debido a que 25 fue el número mayor que requería el servidor 2 (tabla 3-10) en la ecuación 3 se obtiene:

$$v = \frac{\left(\frac{0.055}{50} + \frac{0.074}{25}\right)^2}{\sqrt{\frac{(\frac{0.055}{50})^2}{50 - 1} + \frac{(\frac{0.074}{25})^2}{25 - 1}}}$$

$$v = 37.40 \approx 37 \text{ grados de libertad}$$

El valor crítico de la distribución *t-student* se obtiene como sigue:

$$t_{\alpha/2, v} = t_{0.025, 37} = 2.0262$$

Como el criterio de rechazo $|t_0| > t_{\alpha/2, v}$ no se cumple debido a que el estadístico *t-student* de la prueba no es mayor que el valor crítico de la distribución, se puede afirmar estadísticamente que no existe diferencias significativas en las medias poblacionales de los tiempos entre llegadas y los del servicio del sistema real y del modelo del estudio por lo que se puede aceptar el modelo del estudio como válido (Montgomery et al, 2006). Las pruebas para los demás servidores se pueden observar en la tabla 3-10.

Tabla 3-9. Prueba de Hipótesis para determinar que el modelo del estudio si es válido para representar el sistema real.

Parámetro		Caja	Recepción de valoración	Preconsulta	Recepción de valoración	Trabajo social	Recepción de valoración
Estadístico de la prueba <i>t-student</i>	Llegada	-0.30	0.11	-0.21	-0.56	0.48	0.03
	Servicio	-0.30	-0.67	0.34	-0.04	0.27	-1.00
Valor crítico de la distribución <i>t-student</i>	Llegada	2.0262	2.0117	2.0141	2.0227	2.0057	2.0154
	Servicio	2.0066	1.9944	2.0076	2.0003	1.999	2.0129
Prueba de hipótesis nula	Llegada	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta
	Servicio	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta

Fuente: propia (2018).

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

Los resultados del estudio de simulación realizado están organizados en dos secciones: la que describe las características de operación del sistema y la que describe la experimentación del modelo que determinó el costo más bajo para operar el sistema de filas.

4.1. Características de operación del sistema.

Porcentaje de utilización del sistema: el porcentaje de utilización del sistema (P) el cual está dado por la razón entre la tasa de arribos y la de servicio por unidad de tiempo (λ/μ) representa la proporción del tiempo que pasa cada servidor en operación. Para este caso de estudio se presentan los resultados para el sistema en general y para cada una de las estaciones según los resultados del reporte *Output-Viewer* del ProModel® (Anexo 1), como se muestra en la tabla 4-1:

Tabla 4-1. Resultados de la simulación del modelo para el Porcentaje de utilización del sistema (P) con ProModel®.

	Porcentaje de utilización del sistema (P)
Todo el sistema	76.21
Caja	9.46
Recepción de valoración	87.77
Preconsulta	81.94
Trabajo social	Excede la capacidad del sistema

Fuente: propia (2018)

El porcentaje de utilización de todo el sistema parece indicar un buen desempeño, pero al analizar el resultado para cada localización se observa que existe un desequilibrio importante entre los servidores. La caja presenta la mayor actividad en el primer cuarto del turno donde los usuarios llegan a este servidor siguiendo una distribución de probabilidad de tipo *Poisson*, lo cual obedece a que los usuarios solo utilizan el sistema las primeras horas de la mañana. En el caso de los servidores, Recepción de valoración y Preconsulta presentan un porcentaje de utilización que puede significar un buen desempeño para atender a todos los usuarios que solicitan el servicio debido a que el remanente de capacidad que presentan

parece el ideal para afrontar los momentos en los cuales el sistema experimenta una alta demanda. Para el servidor trabajo social es indispensable incrementar su capacidad de servicio para que no haya usuarios que queden sin ser atendidos.

Número de usuarios promedio en la fila (L_q): representa la cantidad de usuarios promedio que se observó en la fila en todo el sistema y en cada uno de los servidores (tabla 4-2). Este dato es de gran relevancia debido a que sirve para calcular el costo de espera del usuario ($E(CW)$) al multiplicarlo por costo de espera por unidad de tiempo determinado a partir de que se deja de percibir una ganancia por hacer esperar a un usuario en la fila.

Tabla 4-2. Resultados de la simulación del modelo para el número de usuarios promedio en la fila (L_q) con ProModel®.

	Número de usuarios promedio en la fila (L_q)
Todo el sistema	5.253
Caja	0.13
Recepción de valoración	2.07
Preconsulta	1.68
Trabajo social	1.35

Fuente: propia (2018)

Los resultados reflejados en la tabla expresan que en promedio se espera que haya cinco usuarios esperando a ser atendidos en los momentos en que el sistema está más saturado. la fila que presenta la menor cantidad de usuarios esperando es la de la caja esto es debido a que el ritmo del servicio de este servidor es más rápido que el tiempo entre llegadas de los arribos. La fila de recepción de valoración presenta el promedio más alto del sistema, esto es debido a que los arribos a esa fila vienen de la caja, de pre consulta y de trabajo social.

Número esperado de clientes en el sistema (L): esta característica de operación representa el número de usuarios que promedio que se puede observar en el sistema en cualquier momento del turno en todo el sistema y en cada uno de los subsistemas formados por cada uno de los servidores individuales (tabla 4-3).

Tabla 4-3. La fila de recepción de valoración presenta el promedio más alto del sistema, esto es debido a que los arribos a esa fila vienen de la caja, de pre consulta y de trabajo social.

	Número esperado de usuarios en el sistema (L)
Todo el sistema	8.49
Caja	0.20
Recepción de valoración	3.45
Preconsulta	2.82
Trabajo social	2.00

Fuente: propia (2018).

Según los resultados obtenidos se puede apreciar que los usuarios que están siendo atendidos en todo el sistema en promedio es de más de ocho, lo cual indica que una gran la afluencia de los usuarios en el sistema es lenta ya que esto representa más del 56% de la tasa de llegadas, lo anterior no necesariamente implica ineficiencia en el sistema ya que se debe a la naturaleza misma del servicio que es relativamente lento.

Tiempo promedio esperado en la fila (Wq): esta característica de operación del sistema representa el tiempo promedio que un usuario tiene que pasar esperando en la fila de todo el sistema y cada subsistema formado por cada servidor en particular (tabla 4-4). Cuando un sistema brinda servicio a un usuario que tiene una alta productividad es deseable que este tiempo de espera no sea demasiado alto.

Tabla 4-4. Resultados de la simulación del modelo de filas del sistema del CREE para tiempo promedio esperado en la fila (W_q) con ProModel®.

	Tiempo promedio esperado en la fila (W_q) (en min)
Todo el sistema	118.64
Caja	3.62
Recepción de valoración	22.18
Preconsulta	49.41
Trabajo social	43.42

Fuente: propia (2018)

Los resultados para esta característica de operación muestran que los usuarios pasan en promedio casi 2 horas en espera por pasar a cada uno de los servidores del sistema esto representa un tiempo de espera relativamente alto, aunque está distribuido en los cuatro servidores. La fila en la que más tiempo pasan esperando los usuarios es la de preconsulta debido a que este servidor muestra una distribución de probabilidad de tipo uniforme y cada uno de los usuarios tarda en ser atendido alrededor de 32 minutos sin tanta variación.

Tiempo de espera promedio en el sistema (W): representa el tiempo total promedio que un usuario invierte en todo el sistema y cada uno de los subsistemas formados por cada uno de los servidores en particular (tabla 4-5).

Tabla 4-5. Resultados de la simulación del modelo para el tiempo de espera promedio en el sistema (W) con ProModel®.

	Tiempo de espera promedio en el sistema (W) (min)
Todo el sistema	210.08
Caja	5.83
Recepción de valoración	53.24

Preconsulta	85.31
Trabajo social	65.69

Fuente: propia (2018).

Según los resultados obtenidos para esta característica de operación muestran que el usuario tiene que invertir en promedio alrededor de tres horas y media dentro del sistema y el servidor donde más tiempo pasa esperando es en preconsulta debido a que el tiempo del servicio para este servidor es el más significativo.

4.2. Experimentos con el modelo.

Los experimentos con el modelo siguen la forma del modelo económico de filas (Taha, 2012), sin embargo, las consideraciones cualitativas del servicio ($E(CW)$) se tomaron para la característica Lq con el fin de determinar lo que cuesta hacer esperar al usuario en la fila.

Escenarios: el proceso de estimación de los escenarios depende primero de encontrar la constante del costo por unidad de tiempo en que se brinda el servicio ($E(CS)$) así como ($E(CW)$). Estas dos constantes se calcularon como se muestra en la sección 2.1.2.3. A si se experimenta con la cantidad de servidores (s) como posibles escenarios del sistema: escenarios 1, 2, 3, 4 y 5. El valor de Lq para los diversos valores de s están dados por la simulación de los escenarios con ProModel® (Tablas 4-6, 4-7, 4-8, 4-9, 4-10 y figuras 4-1, 4-2, 4-3, 4-4 y 4-5).

Tabla 4-6. Cálculo de $E(CT)$ de valores alternativos de s para todo el sistema.

s	p	Lq	$E(CS)= CsS$	$E(CW)=CwL$	$E(CT)= E(CS) + E(CW)$
1	63%	5.25	\$ 5,000.00	\$ 8,195.34	\$ 13,195.34
2	55%	1.94	\$ 10,000.00	\$ 3,026.40	\$ 13,026.40
3	55%	0.93	\$ 15,000.00	\$ 1,450.80	\$ 16,450.80
4	55%	0.55	\$ 20,000.00	\$ 858.00	\$ 20,858.00
5	54%	0.37	\$ 25,000.00	\$ 577.20	\$ 25,577.20

Fuente: propia (2018).

En la tabla 4-6 se puede observar que a medida que los costos por brindar el servicio aumentan, los costos por espera del usuario disminuyen. La columna más a la izquierda, la de los servidores s explica el número de servidores por cada uno de los cuatro subsistemas

de filas formados en todo el sistema de filas del CREE. Si el sistema se queda como opera actualmente el costo de espera por hora sería de \$13195.34 lo cual significaría que el 86% del costo total del sistema estaría dado por este tipo de costo. La sugerencia del modelo económico de que se trabaje con tres servidores por cada subsistema no se puede seguir simplemente así ya que, aunque el costo por espera de los usuarios sería más bajo relativamente hablando, esto implicaría un aumento de \$10000 por hora al brindar el servicio. Para tomar la mejor decisión se requiere analizar que nos indica el modelo económico en cada uno de los subsistemas.

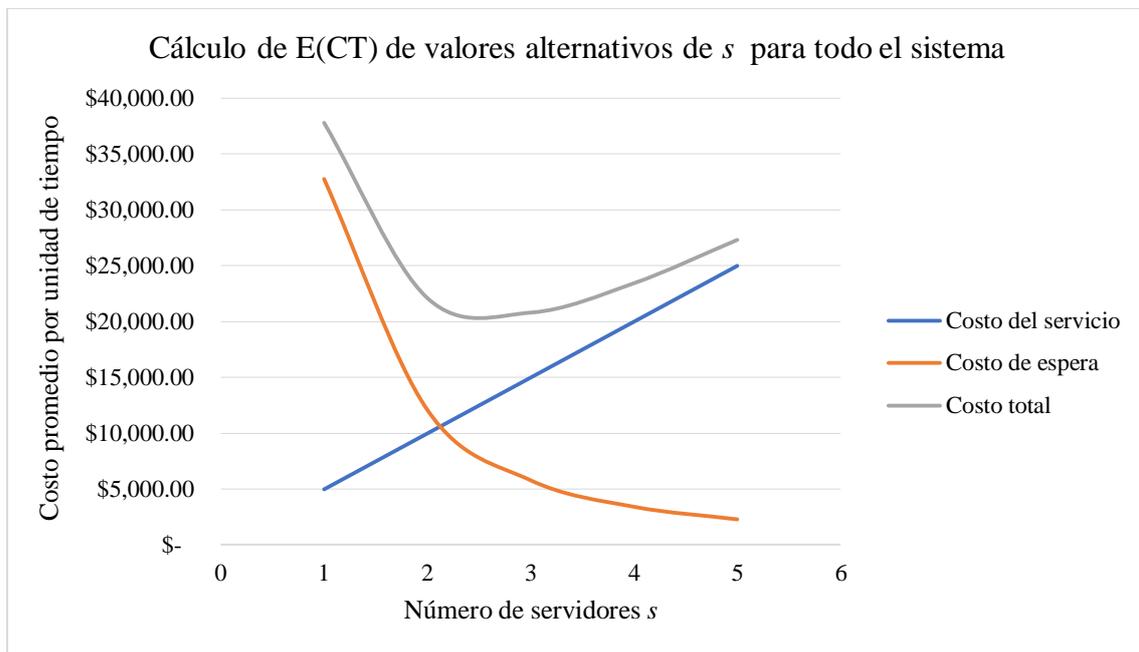


Figura 4-1. Cálculo de E(CT) de valores alternativos de s para todo el sistema. Fuente: propia (2018).

El supuesto del modelo económico enseña que, en el punto de cruce de las dos ecuaciones lineales, la de los costos del servicio y los de espera de los usuarios, está el número ideal de servidores con los cuales se minimiza el costo de operación del sistema. Aunque en la figura 4-1 se puede observar que el cruce de las rectas está más cercano a dos servidores que a tres, pero no exactamente dos sino un número mayor que dos lo cual es inviable de representar en números fraccionarios al estar hablando del número de servidores por lo cual se hace válido el dato dado en la tabla 4-6 de que el costo más bajo por operar el sistema es de tres servidores por cada subsistema para este contexto en particular.

Tabla 4-7. Cálculo de E(CT) de valores alternativos de s , para la Caja.

s	p	Lq	$E(CS)=CsS$	$E(CW)=CwL$	$E(CT)=E(CS)+E(CW)$
1	9.4%	0.13	\$ 1,250.00	\$ 202.80	\$ 1,452.80
2	6.0%	0.05	\$ 2,500.00	\$ 78.00	\$ 2,578.00
3	4.6%	0.05	\$ 3,750.00	\$ 78.00	\$ 3,828.00
4	3.8%	0.05	\$ 5,000.00	\$ 78.00	\$ 5,078.00
5	3.2%	0.05	\$ 6,250.00	\$ 78.00	\$ 6,328.00

Fuente: propia (2018)

En la tabla 4-7 se puede ver que con un solo servidor s , el porcentaje de ocupación p , es bajo, solo el 9.4 % de la capacidad de este servidor, esto significa que el servidor tiene potencial en demasía para afrontar los momentos del turno de trabajo en que la afluencia de los usuarios es más cuantiosa y la causa de este porcentaje bajo de utilización se debe principalmente a dos factores: que los usuarios llegan buscando el servicio por lo general en las dos primeras horas de la mañana y que el ritmo del servicio de la caja es rápido 3.62 minutos. Con respecto a los costos se puede observar que el costo de espera por hora de los usuarios es relativamente bajo, debido a que el promedio de los usuarios que tuvieron que esperar en la fila fue relativamente bajo incluso para el escenario de un solo servidor que también resulta ser el escenario que minimiza el costo de este subsistema según el modelo económico.

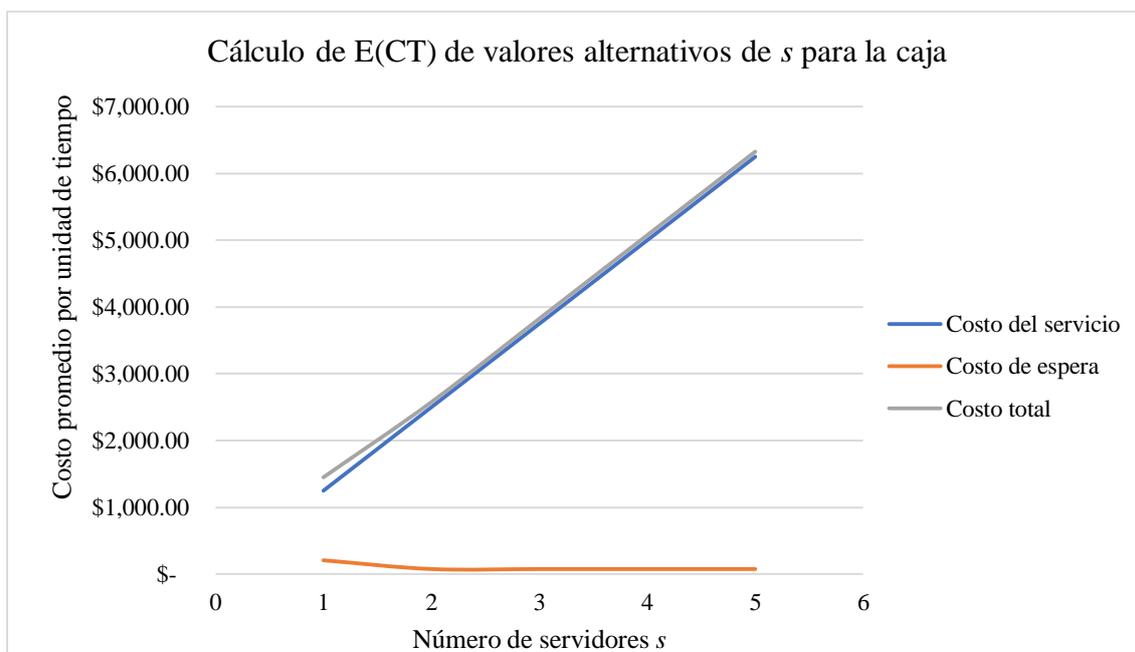


Figura 4-2. Cálculo de E(CT) de valores alternativos de s para la caja. Fuente: propia (2018).

La figura 4-2, demuestra que el mayor porcentaje de los costos por operar este subsistema es el del servicio. No se observa un cruce en las rectas del costo del servicio y el de espera hasta el momento del servidor uno, pero si se siguiera avanzando a la izquierda las rectas, el costo del servicio hacia sur-este del cuadrante del plano coordenado y la recta del costo de espera hacia nor-este, se interceptarían en cierto punto, aunque este sería una fracción propia.

Tabla 4-8. Cálculo de E(CT) de valores alternativos de s , para Recepción de valoración.

s	p	Lq	$E(CS)=CsS$	$E(CW)=CwL$	$E(CT)=E(CS)+E(CW)$
1	87.8%	2.07	\$ 1,250.00	\$ 3,229.20	\$ 4,479.20
2	45.3%	0.34	\$ 2,500.00	\$ 530.40	\$ 3,030.40
3	32.4%	0.2	\$ 3,750.00	\$ 312.00	\$ 4,062.00
4	25.1%	0.2	\$ 5,000.00	\$ 312.00	\$ 5,312.00
5	20.5%	0.2	\$ 6,250.00	\$ 312.00	\$ 6,562.00

Fuente: propia (2018).

La tabla 4-8 muestra que cuando este subsistema opera con un solo servidor s , el porcentaje de utilización p , es alto, 87.8%, esto significa que experimenta momentos en que su capacidad es insuficiente para brindar atención a los usuarios como se pudo observar en el modelo del estudio donde el promedio de usuarios que esperaron en la fila fue de 2.07, lo cual incrementa considerablemente el costo de espera de los usuarios y además hace menos rentable económicamente hablando que este subsistema opere con un solo servidor en lugar de lo cual se proponen dos, con lo cual no se haría esperar en demasía a los usuarios pero a la vez, probablemente, el porcentaje de utilización del subsistema tendría mucho potencial desperdiciado.

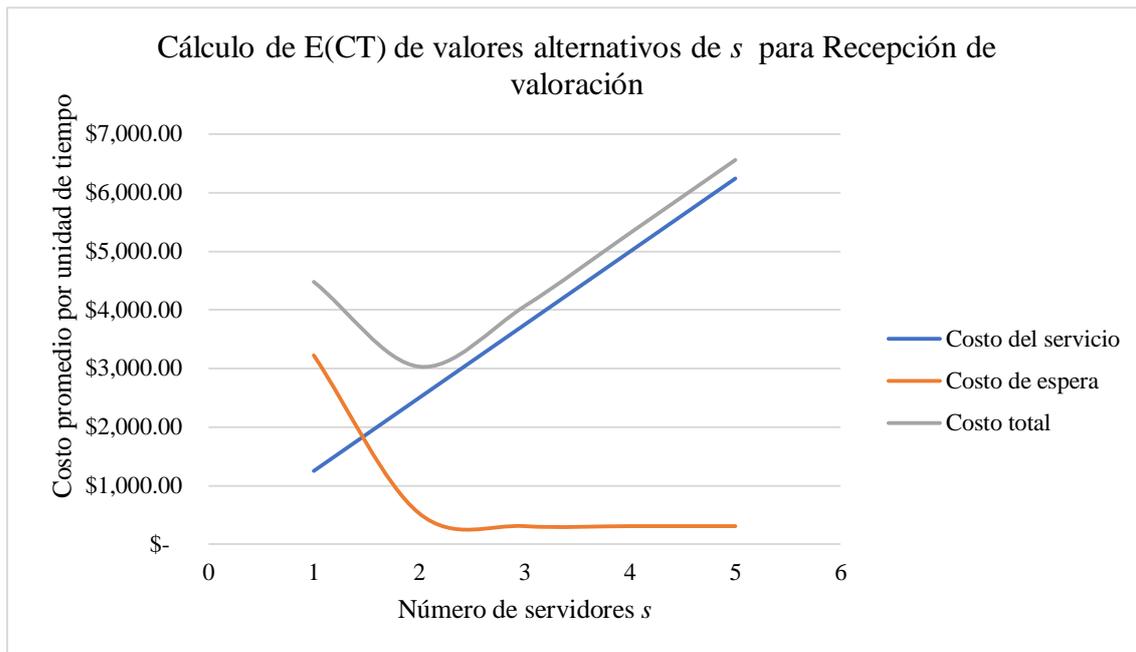


Figura 4-3. Cálculo de E(CT) de valores alternativos de s para Recepción de valoración. Fuente: propia (2018).

Aunque la figura 4-3 muestra el cruce de las rectas del costo del servicio y la de espera de los usuarios interceptándose entre uno y dos servidores, un solo servidor no sería el más eficiente en términos económicos con las características de operación actuales por lo cual el modelo económico muestra que dos servidores serian el número que minimiza los costos por operar la Recepción de valoración.

Tabla 4-9. Cálculo de E(CT) de valores alternativos de s , para la Preconsulta.

s	p	Lq	$E(CS)= CsS$	$E(CW)=CwL$	$E(CT)= E(CS) + E(CW)$
1	81.9%	1.68	\$ 1,250.00	\$ 2,620.80	\$ 3,870.80
2	54.6%	0.81	\$ 2,500.00	\$ 1,263.60	\$ 3,763.60
3	37.2%	0.29	\$ 3,750.00	\$ 452.40	\$ 4,202.40
4	27.3%	0.11	\$ 5,000.00	\$ 171.60	\$ 5,171.60
5	21.4%	0.05	\$ 6,250.00	\$ 78.00	\$ 6,328.00

Fuente: propia (2018).

La tabla 4-9 muestra que cuando este subsistema opera con un solo servidor s , el porcentaje de utilización es relativamente alto lo cual representa que se observara en la fila un promedio de 1.68 usuarios esperando por recibir el servicio, lo que genera un costo alto de espera y hace que el costo total con sea más alto que operar el sistema con dos servidores. Cuando el subsistema opera con dos servidores el porcentaje de utilización de 54.6% parece tener un

exceso de capacidad para atender a los usuarios lo cual podría implicar un desperdicio de recursos por parte de los servidores.

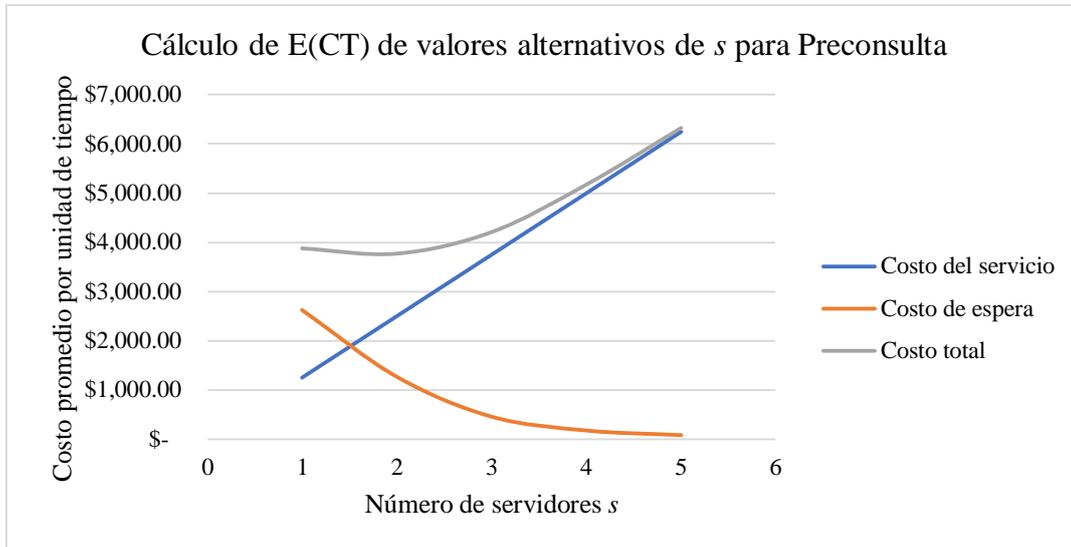


Figura 4-4. Cálculo de E(CT) de valores alternativos de s para la Preconsulta. Fuente: propia (2018).

La figura 4-4 muestra que el cruce de las rectas del costo del servicio y la del costo de espera se ocurre alrededor de uno y dos servidores y aunque los costos son muy parecidos al operar el subsistema con uno y dos servidores, la indicación del modelo económico es operarlo con dos servidores.

La tabla 4-10 muestra que el porcentaje de utilización del subsistema Trabajo social con un solo servidor es superior a su capacidad, esto es debido a que según se observó en el modelo del estudio es muy probable que se queden usuarios sin ser atendidos durante un turno de trabajo, aun así no se observó un número promedio de usuarios demasiado grande en la fila, esto se puede explicar porque el tiempo promedio del servicio del servidor 2 y 3 es relativamente alto y por consecuencia el momento en que comienza a trabajar el servidor 4 es de alrededor de 76 minutos (la sumatoria de las Wq de los servidores 1, 2 y 3) después de iniciado el turno de trabajo si se toma en cuenta que al primer usuario en el sistema le toma llegar hasta allí eso. Luego se observa que el costo más bajo por operar el sistema es con un solo servidor por la causa explicada de que Lq es relativamente pequeño. El administrador deberá decidir si operar este subsistema con dos servidores lo cual implica un costo por hora de solo \$298.4 más caro o trabajar con un solo servidor minimizando costos, pero afrontando el costo de dejar usuarios sin ser atendidos.

Tabla 4-10. Cálculo de E(CT) de valores alternativos de s, para Trabajo social.

s	p	Lq	$E(CS)=CsS$	$E(CW)=CwL$	$E(CT)=E(CS)+E(CW)$
1	109.7%	1.35	\$ 1,250.00	\$ 2,106.00	\$ 3,356.00
2	79.3%	0.74	\$ 2,500.00	\$ 1,154.40	\$ 3,654.40
3	56.1%	0.39	\$ 3,750.00	\$ 608.40	\$ 4,358.40
4	40.0%	0.19	\$ 5,000.00	\$ 296.40	\$ 5,296.40
5	29.4%	0.07	\$ 6,250.00	\$ 109.20	\$ 6,359.20

Fuente: propia (2018).

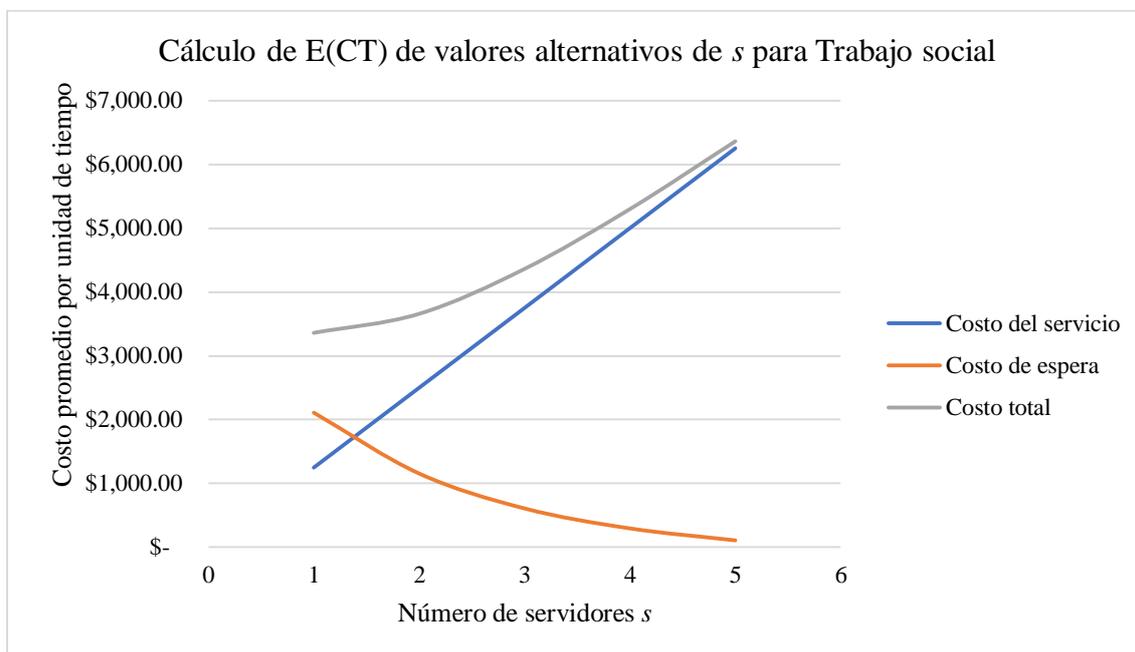


Figura 4-5. Cálculo de E(CT) de valores alternativos de s para Trabajo social. Fuente: propia (2018).

La figura 4-5, muestra que el cruce de las rectas de los costos del servicio y los de espera se encuentra alrededor de uno o dos servidores, más cercano a uno, esto significa que el número ideal de servidores es un número más cercano a uno que a dos.

Tabla 4-11. Cálculo de E(CT) para las condiciones de operación del sistema actual.

Nombre del servidor	s	p	Lq	$E(CS)=CsS$	$E(CW)=CwL$	$E(CT)=E(CS)+E(CW)$
Caja	1	9.5%	0.13	\$ 1,250.00	\$ 203.22	\$ 1,453.22
Recepción de valoración	1	87.7%	2.08	\$ 1,250.00	\$ 3,238.14	\$ 4,488.14
Preconsulta	1	81.9%	1.69	\$ 1,250.00	\$ 2,634.10	\$ 3,884.10
Trabajo social	1	109.7%	1.36	\$ 1,250.00	\$ 2,119.89	\$ 3,369.89
Todo el sistema	4	76.2%	5.25	\$ 5,000.00	\$ 8,195.34	\$ 13,195.34

Fuente: propia (2018).

La tabla 4-11, muestra las condiciones de operación del sistema actual. Se puede observar que para cada etapa del proceso solo existe un servidor trabajando. Los porcentajes de utilización tanto del servidor Caja como del servidor Trabajo social, muestran un exceso y una falta de capacidad respectivamente para atender a los usuarios. Los costos de espera para el sistema representan más del 62% de los costos totales.

La figura 4-6, muestra que para cada servidor los costos del servicio son constantes mientras que los costos de espera para el caso de la Caja son bajos, para el caso de los demás servidores es más alto que el costo del servicio esto es debido a que el número promedio de usuarios que se observó en la fila fue relativamente alto lo que trae como consecuencia que los costos totales también sean altos.

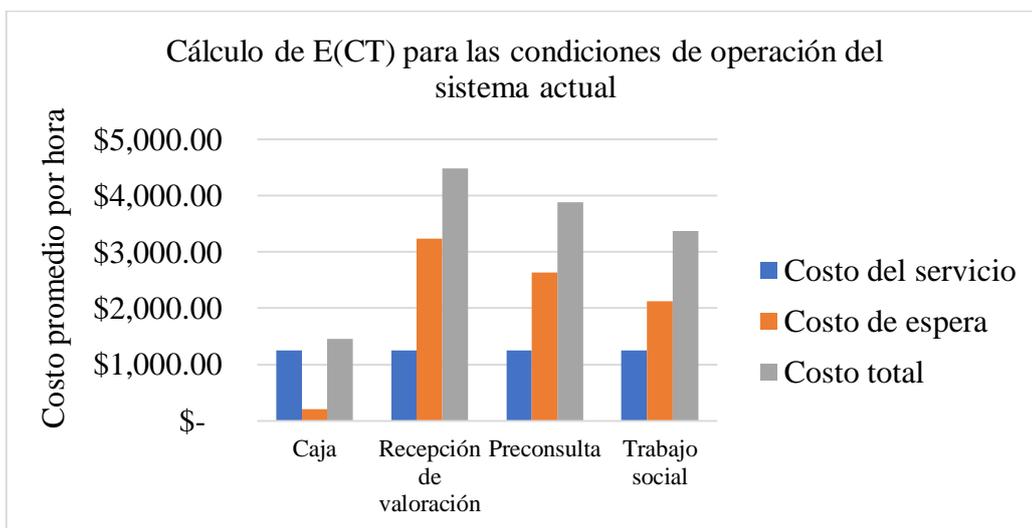


Figura 4-6. Cálculo de E(CT) para las condiciones de operación del sistema actual. Fuente: propia (2018).

La Tabla 4-12 muestra las condiciones de operación de la primera propuesta la cual se puede definir a partir de los resultados de los experimentos del modelo, el número de servidores recomendados por el modelo económico. Se puede observar que el número de servidores es seis y que el costo total del sistema se redujo en poco más del 10% aunque el servidor cuatro sigue sin poder solventar sus problemas de capacidad por el contrario los demás servidores parecen tener un exceso de la misma.

Tabla 4-12. Cálculo de E(CT) para las condiciones de operación de la propuesta 1.

Nombre del servidor	s	p	Lq	$E(CS)=CsS$	$E(CW)=CwL$	$E(CT)=E(CS)+E(CW)$
Caja	1	9.1%	0.13	\$ 1,250.00	\$ 202.80	\$ 1,452.80
Recepción de valoración	2	49.4%	0.4	\$ 2,500.00	\$ 624.00	\$ 3,124.00
Preconsulta	2	38.7%	0.53	\$ 2,500.00	\$ 826.80	\$ 3,326.80
Trabajo social	1	132.8%	1.73	\$ 1,250.00	\$ 2,698.80	\$ 3,948.80
Todo el sistema	6	71.2%	2.79	\$ 7,500.00	\$ 4,352.40	\$ 11,852.40

Fuente: propia (2018).

La figura 4-7, muestra como los costos por brindar el servicio se duplica para los servidores dos y tres ya que se propone trabajar con dos servidores. Los de espera se redujeron para los servidores uno, dos y tres se redujeron mientras que para el servidor cuatro aumentaron. La reducción de los costos de espera es debido al incremento en la capacidad de los servidores lo cual reduce el número promedio de usuarios en la fila.

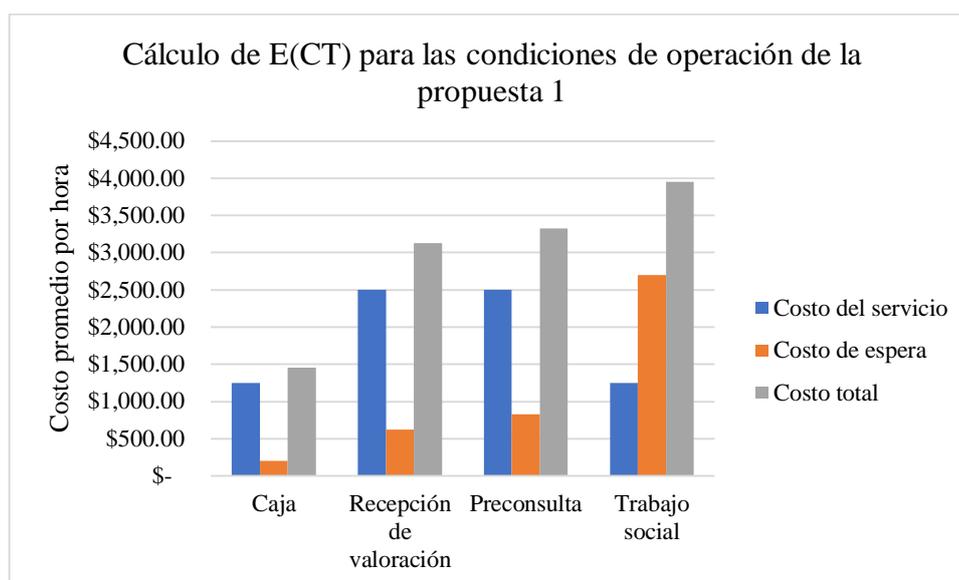


Figura 4-7. Cálculo de E(CT) para las condiciones de operación de la propuesta 1. Fuente: propia (2018).

La tabla 4-13, muestra la propuesta dos para las condiciones de operación del sistema a partir de lo observado durante el funcionamiento del modelo de simulación creado en el estudio y de los experimentos. Se propone un solo servidor tanto para la Caja como para la Recepción de valoración. Para trabajo social y para Preconsulta se propone dos servidores, lo cual equilibra considerablemente el porcentaje de utilización no solo para estos dos sino también para la Recepción de valoración ya que usuarios también vienen de Preconsulta a buscar el servicio allí. El costo total del sistema fue de más del catorce por ciento menos.

Tabla 4-13. Cálculo de E(CT) para las condiciones de operación de la propuesta 2.

Nombre del servidor	s	p	Lq	$E(CS)=CsS$	$E(CW)=CwL$	$E(CT)=E(CS)+E(CW)$
Caja	1	12.3%	0.18	\$ 1,250.00	\$ 280.80	\$ 1,530.80
Recepción de valoración	1	59.7%	0.82	\$ 1,250.00	\$ 1,279.20	\$ 2,529.20
Preconsulta	2	50.9%	0.64	\$ 2,500.00	\$ 998.40	\$ 3,498.40
Trabajo social	2	80.1%	0.79	\$ 2,500.00	\$ 1,232.40	\$ 3,732.40
Todo el sistema	6	60.2%	2.43	\$ 7,500.00	\$ 3,790.80	\$ 11,290.80

Fuente: propia (2018).

La figura 4-8, muestra como los costos de espera de los usuarios son considerablemente menores representando aquí un poco más del treinta y tres por ciento por razón de que el número promedio de usuarios en la fila es menor.

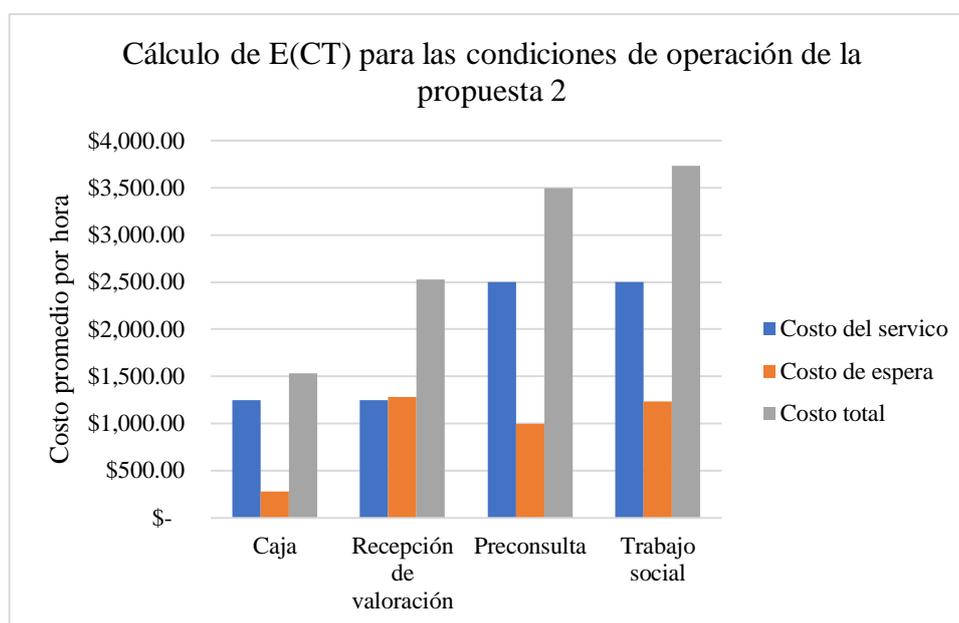


Figura 4-8. Cálculo de E(CT) para las condiciones de operación de la propuesta 2. Fuente: propia (2018).

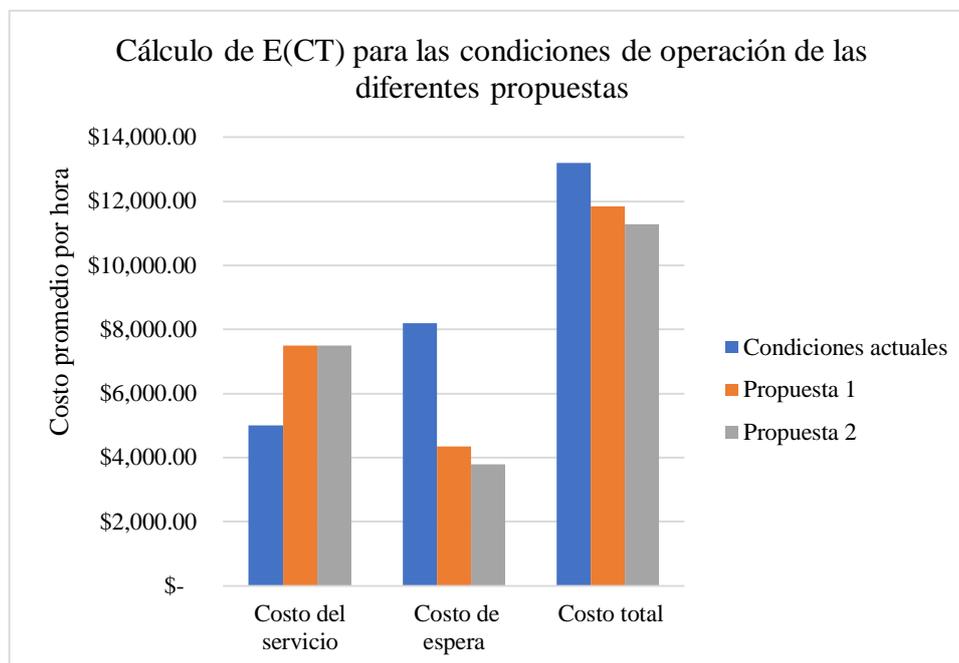
La tabla 4-14, muestra el contraste entre las condiciones de operación de las diferentes propuestas. se puede notar el número menor de servidores y en cambio presenta el costo por operar más alto debido a que Lq es el más alto de las tres alternativas lo que genera costos de espera altos. La opción que parece más viable es la alternativa dos tanto en términos económicos como en eficiencia ya que con dicho sistema no se quedan usuarios sin ser atendidos como si lo hacen en las primeras dos opciones.

Tabla 4-14. Cálculo de E(CT) para las condiciones de operación de las diferentes propuestas.

Condiciones de operación	s	p	Lq	$E(CS)=CsS$	$E(CW)=CwL$	$E(CT)=E(CS)+E(CW)$
Actuales	4	76.2%	5.25	\$ 5,000.00	\$ 8,195.34	\$ 13,195.34
Propuesta 1	6	71.2%	2.79	\$ 7,500.00	\$ 4,352.40	\$ 11,852.40
Propuesta 2	6	60.2%	2.43	\$ 7,500.00	\$ 3,790.80	\$ 11,290.80

Fuente: propia (2018)

En la figura 4-9, se muestra las dos variables independientes (costos del servicio y costos de espera) y la variable dependiente (costo total) siendo comparadas para las diferentes alternativas y se puede apreciar que la alternativa que parece tener el mejor resultado es la dos.



Cálculo de E(CT) para las condiciones de operación de las diferentes propuestas. Fuente: propia (2018).

La figura 4-10, muestra que el costo anual de operación fue es de \$ 2,744,632, \$2,465,299 y \$2,348,486 respectivamente para las distintas alternativas de los sistemas de filas que son viables de operar. Si el administrador del sistema decidiera implementar la propuesta dos esto implicaría un ahorro anual de \$396,145 no tomando en cuenta el costo por reducir el tiempo del servicio del servidor dos en un tercio lo cual se puede hacer mediante un estudio de proceso de atención a los usuarios ya sea reduciendo el tiempo de las operaciones o agregando más capacidad al subsistema.

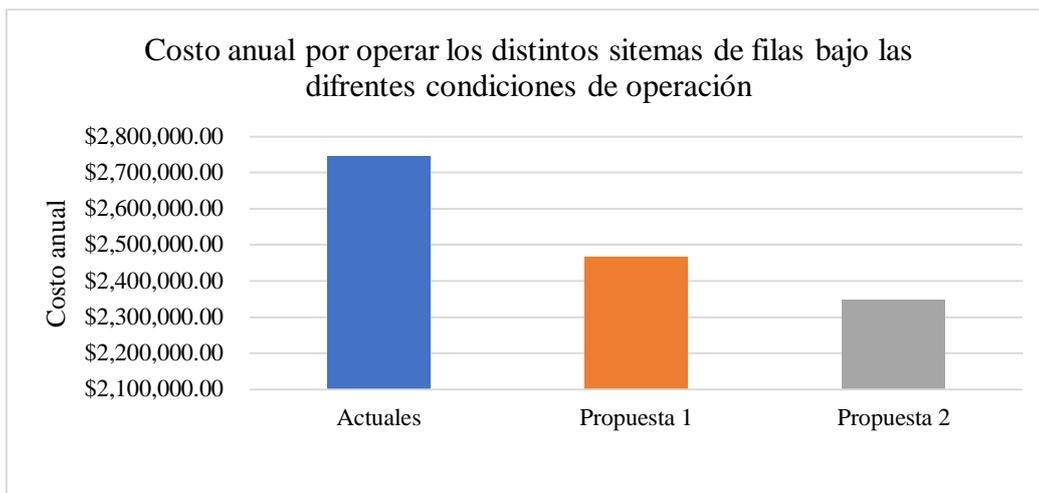


Figura 4-9. Costo anual por operar los distintos sistemas de filas bajo las diferentes condiciones de operación. Fuente: propia (2018).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Conclusiones practicas: el estudio de simulación realizado en el sistema de atención a los usuarios que solicitan el servicio por primera vez en el CREE permitió comprender el sistema desde dos puntos de vista principales, primero las características de operación del sistema y segundo, el modo en que estas características influyen en los subsistemas en términos de costos. En lo que respecta al primer punto se entiende que por la naturaleza del servicio brindado a los usuarios las etapas del proceso son irreducibles, debe haber por lo menos cuatro servidores. En lo que respecta al segundo punto se encontró que los costos del servicio y los de espera están muy ligados al comportamiento de las características de operación en los diferentes subsistemas, por ejemplo, el servidor uno experimenta una tasa de llegadas con bastante afluencia de los usuarios durante las dos primeras horas del turno luego el resto del turno lo dedica a otras actividades no implicadas directamente en el proceso, lo que genera un porcentaje de utilización del sistema relativamente bajo y costos de espera bajos, caso contrario al servidor cuatro donde el primer usuario tarda relativamente bastante tiempo en llegar hasta ahí por lo cual tiene ocio en los primeros minutos del turno pero luego la fluencia de los usuarios es numerosa y genera que la capacidad del sistema probablemente sea insuficiente para atender la demanda si no se incrementa su capacidad. En lo que respecta al enfoque teórico se aprecia en la literatura que la aplicación de políticas que tengan un enfoque en técnicas administrativas cuantitativas es importante y relevante pero no siempre está en entre las prioridades de los procesos de los programas públicos, por ejemplo, (Hernández, 2016) realizó un estudio basado en el liderazgo de los jefes de una dependencia pública, con el fin de motivar a los trabajadores a brindar un mejor servicio. Entre algunas de las justificantes propuestas para el estudio, se mencionan: lograr importantes resultados que satisfagan a cada uno de los individuos en particular, a la organización a la que pertenecen y al país en general y... se ha observado que en algunas organizaciones no dan importancia adecuada a estos temas en su aplicación, los cuales son de gran impacto para la clase trabajadora, así como para las empresas de servicio público. (Cogco et al, 2013) después de la aplicación de un modelo de satisfacción a los usuarios de una dependencia pública, mencionan los siguientes argumentos sobre la importancia de brindar un servicio de calidad:

“es de importancia para el diseño de políticas públicas, así como para el rediseño de programas que ya se estén aplicando, ya que los datos que son producto de la percepción

de los beneficiarios, quienes reciben alguna acción del estado, proporcionar evidencia en relación al desempeño del programa, en cuanto a la gestión, la contraprestación, la calidad del beneficio, la expectativa y la imagen. Además, el modelo permite establecer el nivel de impacto que ha tenido la implementación de dicho programa desde la óptica de los beneficiarios”.

Siempre que se quiere tener satisfechos a los clientes de una empresa o usuarios en el caso de las dependencias públicas, se debe tomar en cuenta que brindarles un servicio de calidad también implica procurar el bienestar de las personas que prestan estos servicios, el cliente o usuario interno.

Recomendaciones: Para la Recepción de valoración se propone un solo servidor, pero se incrementó su capacidad en un tercio por razón de que las operaciones que realiza el usuario en este servidor tienen que ver con documentación, además que tiene dos orígenes de llegadas tanto los que vienen de la caja como los que vienen de Preconsulta, sin embargo, se debe hacer notar que la justificación para este hecho hasta el momento solo está en el exceso de capacidad cuando se trabaja con dos servidores. El aumento de capacidad se propone sea logrado mediante el aumento del ritmo del servicio por medio de un estudio de las operaciones que involucran esta etapa.

El propósito general de la aceptación por parte del CREE, hacia este estudio era el de eficientar el proceso de atención a los usuarios que reciben el servicio por primera vez, además de la manera en que se desempeña el sistema: tiempos de espera en la fila, durante se estaba recibiendo el servicio directamente de un servidor, el tiempo total que se invierte en el sistema, el número de usuarios en la fila en determinado momento del turno de trabajo, el número de usuarios que están recibiendo el servicio y el número total de usuarios que hay en el sistema, el tiempo activo y ocioso del sistema y el costo. Por lo anterior es claro que la administración requería de información del sistema para poder tomar decisiones acerca de un modo óptimo del ofertar un servicio eficiente, pero reducir los costos operativos, a la vez. Por parte del presente estudio, es recomendable implementar la propuesta 2 la cual incrementa el número de servidores lo cual implicaría contratación de dos personas por lo menos y el acondicionamiento de las instalaciones, pero a cambio se ganaría en un ahorro por un servicio más rápido, eficiente y de mayor calidad. También es importante mejorar el

servicio por que existen ciertos indicadores que él CREE tiene que cumplir en la medida de lo posible pues de esto depende su categoría y el presupuesto asignado entre otras cosas.

REFERENCIAS

- CREE (2018). *Manual de Procedimientos de la dirección general de rehabilitación*. Centro de educación y rehabilitación especial. [archivo PDF]. México. Recuperado de <http://sitios.dif.gob.mx/>
- Diagnóstico situacional (2016). *Diagnóstico situacional DEL Centro de Rehabilitación y Educación Especial*. [archivo digital]. México.
- Hillier, F. & Lieberman, G. (2010). *Introducción a la investigación de operaciones* (9ª). México: McGraw-Hill.
- Taha, H. (2012). *Investigación de operaciones* (9ª). México: Pearson.
- Hillier, F., & Hillier, M. (2008). *Métodos cuantitativos para administración* (3ª). México: McGraw-Hill.
- Chase, R., Jacobs, R., & Aquilano, N. (2009). *Administración de operaciones* (12ª). México: McGraw-Hill.
- Winston, W. L., & Goldberg, J. B. (2005). *Investigación de operaciones: aplicaciones y algoritmos* (4ª). México: Thomson.
- Halchor-Balter, M. (2013). *Queuing Theory Terminology. Performance Modeling and Design of Computer Systems: Queuing Theory in Action* (Cambridge Ed.), [version DX Reader] (pp 13-26). Recuperado de <https://books.google.es/>
- Bandí, C., Bertsimas, D., & Youssef, N. (abril, 2015). *Robust Queueing Theory*. *Operations Research*, 63(3), 676 - 700. Recuperado de <http://journals.informs.org/>
- Sáez, C. A. (2012). *Apuntes de Estadística para Ingenieros*. España: Universidad de Jaén.
- Eppen, G., Gould, F., Schmidt, C., Moore, J. & Weatherford, R. (2000). *Investigación de Operaciones en la Ciencia Administrativa* (5ª). México: Pearson.
- Gutiérrez, J., Silva, M., Gutiérrez, E., Villegas, Portillo, I., & Salcido, A. (2016). *Utilización de la simulación para mejorar el desempeño de líneas de espera*. *Revista de la Ingeniería Industrial*, 10(1), 50-59. ISSN 1940-2163. Recuperado de <http://www.academiajournals.com/revista-ing-industrial/>
- García E., G. H. (2006). *Principios Basicos de la Simulacion*. En G. H. García E., *Simulacion y Analisis de Sistemas con Promodel* (págs. 1-13). Mexico: Pearson Education.
- Tolk, A. (2012). *Principles of Combat Modeling and Distributed Simulation* (Xa). New Jersey: A John Wiley & Sons.

Nelson, B. (2010). *Stochastic Modeling (Xa)*. New York: Dover publications, inc.

Law, A. M., Kelton, W. D. (1991). *Simulation Modeling and Analysis*. Singapore : McGraw Hill.

Law, A. (2015). *Simulation, modeling and analysis (5ª)*. Boston. McGraw-Hill.

Stewart, R. (2014). *Simulation: The Practice of Model Development and Use*. New York, USA: Palgrave Mcmillan.

Galindoa, G., & Battaa, R. (octubre, 2013). Review of recent developments in OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, 230 (2), 201–211. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.01.039>

White, K. P., & Ingalls, R. G. (diciembre, 2015). Introduction to simulation. Trabajo presentado en Winter Simulation Conference (WSC), Huntington Beach, CA. USA: doi: 10.1109/WSC.2015.7408292. Resumen recuperado de https://www.ieee.org/publications_standards.

Rubinstein, R. Y., & Kroese, D. P. (2017) *Simulation and Monte Carlo Method*. New Jersey, USA: Wiley, J., & Sons.

Dong, J., Feldman, P., & Yom-Tov, G. (2015). Service system with slowdowns: Potential failures and proposed solutions. *Operations Research*, 62(2):305–324. Recuperado de <https://www.informs.org/Explore/Operations-Research-Analytics>

García, E., García, H. & Cárdenas, R. (2013). *Simulación y análisis de sistemas con ProModel (2ª)*. México: Pearson.

Ramírez, J., & Gabriela, M. (2016). Análisis de la demanda de la línea B del Metro utilizando optimización y simulación (Tesis de maestría). De la base de datos de Tesis del Sistema Bibliotecario de la UNAM. (No de control TES01000750178).

Argosy Medical Animation. (2007-2009). *Visible body: Discover human anatomy*. New York, EU.: Argosy Publishing. Recuperado de <http://www.visiblebody.com>

Alonso, C. (2014). Orientaciones para implementar una gestión basada en procesos. *Ingeniería Industrial*, 35(2), 159-171. Recuperado en 17 de abril de 2017, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59362014000200005&lng=e

Ferrer, J. E., Moras, C. G., Fernández, M. J., & Álvarez, C. (2013). Aplicación de simulación para el incremento de la productividad de una empresa generadora de panela en la ciudad de Tuxtepec, Oaxaca. *Revista de la Ingeniería Industrial*, 7(1), 13-20. ISSN 1940-2163. Recuperado de <http://www.academiajournals.com/revista-ing-industrial/>

Chávez, D. (2016). *Balanceo de una estación de manufactura mediante simulación y optimización para minimizar su costo de operación* (Tesis de maestría). De la base de datos de Tesis del Sistema Bibliotecario de la UNAM.

Comas, Raúl., Nogueira, Dianelys. & Medina, Alberto. (2014). *El control de gestión y los sistemas de información: propuesta de herramientas de apoyo*. Ingeniería Industrial, 35(2), 214-228. Recuperado en 17 de abril de 2017, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59362014000200009&lng=es&tlng=es

Sturrock, D. (2013). *Simio and Simulation: Modeling, Analysis, Applications: Economy*. [versión DX Reader]. Recuperado de https://www.simio.com/publications/Simio-and-Simulation-Modeling-Analysis-Applications-Edition-03/preview/Simio_and_Simulation_PREVIEW_3e.pdf

Halchor-Balter, M. (2013). *Queuing Theory Terminology*. En Cambridge (Ed.), Performance Modeling and Design of Computer Systems: Queuing Theory in Action [version DX Reader] (pp 13-26). Recuperado de <https://books.google.es/>

Minitab® 17. (abril, 2017). *Minitab 17 Características*. Recuperado de <http://www.minitab.com/es-mx/products/minitab/look-inside/>

Gorgas, J., Garcia, N., Lopez, C., & Zamorano, J. (2011). *Estadística Básica para Estudiantes de Ciencias*. Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid.

Montgomery, D., Bermúdez, T., Walker, H., Maisel, L., Arley, N., Maddala, G., & Wilkinson, R. (2006). Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería. Costa Rica. CATIE.

Fuentes, L., Moras, C., Rojas, L., Mora, C. & López, A. (2016). *Evaluación de un sistema de semáforos en un cruceo peligroso de la ciudad de Tierra Blanca, Veracruz, usando simulación con Simio(R)*. Revista de la Ingeniería Industrial, 10(1), 67-79. ISSN 1940-2163. Recuperado de <http://www.academiajournals.com/revista-ing-industrial/>

Simio Forwar Tinking. (2017). Make Better Decisions with Simio. Recuperado de <https://www.simio.com/products/>

White, K. P., & Ingalls, R. G. (diciembre, 2015). Introduction to simulation. Trabajo presentado en Winter Simulation Conference (WSC), Huntington Beach, CA. USA: doi: 10.1109/WSC.2015.7408292. Resumen recuperado de https://www.ieee.org/publications_standards.

Cogco, A., Pérez, J., & Martínez, Ó. (2013). *Satisfacción de programas sociales. El caso del programa de abasto de leche Liconsa*. Revista de Economía del Rosario, 16(1), 125-147.

Hernández, P. O. (2017). *El Impacto del Liderazgo en la Motivación para la Eficiencia en el Servicio Público en Sedesol de Pátzcuaro, Michoacán*. Revista de la Facultad de Contaduría y Ciencias Administrativas, 1(1), 186-206.

ANEXOS

Anexo 1. Prueba de correlación e independencia de los datos.

Con el uso de la herramienta Statfit® se ingresan los datos recabados en el muestreo para verificar la correlación, la independencia y la normalidad de los datos (García et. al., 2013). Para verificar la independencia en la barra del menú statistics se selecciona Independence y sus submenús scatter plot (grafico de dispersión), autocorrelation (autocorrelacion) y runs test (prueba de corridas arriba y debajo de la media) como se muestra en la figura ().

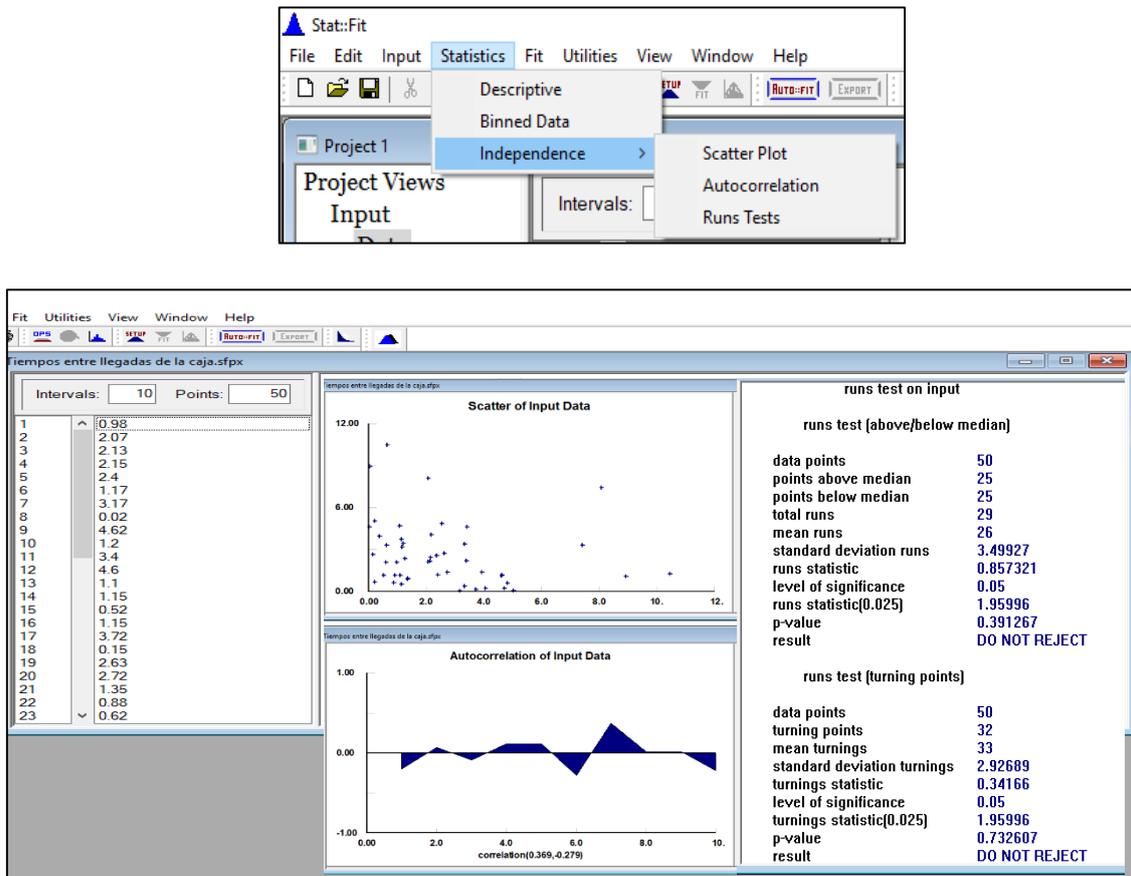


Figura 1. Procedimiento de la prueba de correlación e independencia de los datos con Statfit. Fuente: propia (2018).

Anexo 2. Recopilación de datos en las localizaciones del sistema de filas de usuarios que solicitan el servicio por primera vez en el CREE.

Tabla 1. Tiempos entre llegada de los usuarios que solicitan el servicio por primera vez en el CREE. Fuente: propia (2018).

Tiempos entre llegadas (en minutos)						
	Caja	Recepción de valoración	de Preconsulta	Recepción de valoración	Trabajo social	Recepción de valoración
1	0.98	9.88	25.53	35.15	5.78	36.62
2	2.07	0.53	30.80	21.20	27.98	1.18
3	2.13	4.78	24.76	38.57	10.57	16.36
4	2.15	0.76	20.82	15.78	18.90	11.19
5	2.40	0.82	6.41	27.20	47.92	22.19
6	1.17	2.31	46.82	91.37	9.19	31.80
7	3.17	0.03	44.44	53.64	5.05	63.98
8	0.02	0.45	0.55	177.79	25.58	12.61
9	4.62	2.22	37.28	121.59	2.30	45.30
10	1.20	0.72	124.00	23.11	9.37	0.40
11	3.40	2.63	11.07	35.31	24.33	49.97
12	4.60	2.95	35.09	61.93	5.46	29.88
13	1.10	5.24	11.02	25.47	1.71	6.00
14	1.15	0.19	14.24	9.46	22.91	23.32
15	0.52	6.00	4.08	53.97	10.72	0.21
16	1.15	7.58	1.17	2.67	8.42	16.81
17	3.72	0.11	39.24	44.58	60.65	9.41
18	0.15	2.35	33.31	116.27	5.97	5.29
19	2.63	4.40	43.09	41.80	6.59	54.43
20	2.72	1.02	187.98	63.24	30.63	9.64
21	1.35	1.95	8.57	67.33	16.66	16.18
22	0.88	1.24	81.01	78.83	15.66	8.92
23	0.62	2.41	9.23	78.87	51.46	85.81
24	3.33	1.41	5.37	21.21	0.97	10.84
25	3.38	0.34	21.73	9.16	49.59	32.41
26	2.18	0.93	24.92	29.99	27.30	13.33
27	4.05	3.38	18.54	39.07	12.09	8.46
28	0.20	2.22	20.21	6.88	7.97	3.19
29	5.03	4.87	9.78	36.60	9.58	36.52
30	0.05	2.56	9.04	18.25	10.24	9.11
31	8.92	0.26	3.66	13.82	7.13	11.63
32	1.08	4.03	12.56	15.36	25.03	10.92
33	4.70	2.71	32.25	49.34	6.12	8.57
34	0.22	2.89	29.19	108.59	3.15	4.52
35	0.65	1.83	75.39	4.52	22.47	48.72
36	10.45	0.63	16.05	60.41	3.46	23.64
37	1.27	0.54	20.71	18.66	7.44	17.63
38	2.35	0.38	1.79	114.01	2.60	38.01
39	2.55	7.00	60.68	117.68	23.95	2.13
40	4.82	2.36	14.21	52.00	21.41	12.32
41	0.60	0.60	19.84	38.52	0.71	7.52
42	2.07	7.53	31.18	3.51	7.56	12.16
43	8.07	0.24	26.96	55.92	9.99	26.98
44	7.41	0.51	15.31	6.57	44.75	34.86
45	3.33	6.14	28.14	0.49	2.37	4.72
46	0.37	0.62	5.50	23.06	28.04	95.85
47	3.93	0.48	33.23	13.77	16.88	20.05
48	1.36	1.25	27.80	71.84	42.68	27.58
49	0.92	2.80	6.98	5.16	11.45	8.01
50	1.15	4.04	26.77	4.36	6.14	22.35
	2.57	2.46	28.77	44.48	16.70	22.19

Tabla 2. Tiempos del servicio a los usuarios que solicitan el servicio por primera vez en el CREE. Fuente: propia (2016).

Tiempos del servicio (en minutos)						
	Caja	Recepción de valoración	Preconsulta	Recepción de valoración	Trabajo social	Recepción de valoración
1	1.83	32.12	35	22.09	20.60	36.16
2	0.49	83.20	30	27.43	35.78	4.53
3	0.24	9.70	32	30.96	16.38	1.88
4	1.46	22.72	30	10.18	6.27	39.43
5	0.02	67.13	32	32.03	57.42	2.10
6	0.25	26.10	33	3.25	12.41	13.88
7	1.68	54.02	33	2.61	13.70	5.07
8	4.24	85.46	33	25.98	4.74	4.41
9	0.11	19.17	31	4.32	18.23	1.62
10	0.58	21.38	34	4.62	37.99	16.93
11	1.29	93.64	33	13.62	15.61	21.82
12	0.41	22.12	32	7.93	3.34	7.87
13	1.97	29.60	31	1.54	6.64	15.31
14	0.23	9.71	35	18.13	3.65	0.27
15	0.58	23.11	32	5.52	28.77	18.09
16	1.02	15.13	35	42.01	7.29	39.72
17	0.56	58.94	34	14.50	0.15	3.11
18	0.59	2.49	35	2.33	3.48	0.17
19	1.35	20.49	35	10.85	23.21	30.96
20	1.32	67.74	35	3.71	38.16	3.39
21	1.78	17.11	34	10.29	27.11	4.36
22	3.50	58.86	34	11.75	62.30	6.46
23	0.74	9.46	30	40.01	21.13	15.21
24	2.18	1.99	34	40.55	0.58	25.48
25	0.33	7.42	33	3.72	34.75	16.40
26	3.29	67.75	33	5.60	3.76	4.46
27	7.71	22.87	33	46.58	6.86	5.33
28	2.06	17.37	30	18.19	16.75	40.72
29	2.24	70.14	33	13.15	34.29	0.10
30	1.88	33.74	30	43.98	58.28	10.51
31	3.85	12.30	35	12.16	7.80	5.04
32	0.27	12.56	32	2.33	2.48	20.83
33	2.73	10.32	32	15.36	15.29	12.75
34	1.89	55.58	34	21.28	34.78	35.06
35	0.16	0.44	30	7.49	20.53	9.54
36	0.59	1.24	33	29.89	14.81	24.82
37	1.15	27.96	33	2.58	12.66	6.72
38	4.54	31.77	34	9.97	80.62	31.62
39	4.35	17.90	33	3.78	18.02	7.23
40	6.83	32.96	31	3.45	21.02	17.78
41	5.99	69.01	35	0.56	9.04	18.80
42	0.66	14.86	32	6.77	4.26	4.75
43	1.67	1.35	31	11.97	100.01	0.79
44	1.46	9.36	33	8.07	16.62	14.68
45	3.19	28.58	30	51.96	20.87	1.21
46	2.87	17.05	35	2.80	4.76	24.61
47	1.79	14.56	33	0.16	16.36	4.69
48	0.25	16.73	33	13.89	39.36	31.21
49	0.81	15.81	31	26.18	3.46	16.46
50	6.99	30.92	31	19.22	14.14	31.29
	1.96	29.84	32.70	15.35	21.53	14.31

Anexo 3. Pruebas para determinar el tipo de distribución de probabilidad a las cuales se ajustan los tiempos muestreados de cada servidor.

La herramienta *StatFit*® de ProModel permite realizar pruebas de bondad de ajuste para determinar el tipo de distribución de probabilidad al cual se ajustan los datos ingresados. Seleccionando la opción *AutoFit* del menú *Fit*, donde aparecen las características de la distribución que se desea aproximar y el programa te sugiere una lista de distribuciones y sus porcentajes de aproximaciones Figura 2.

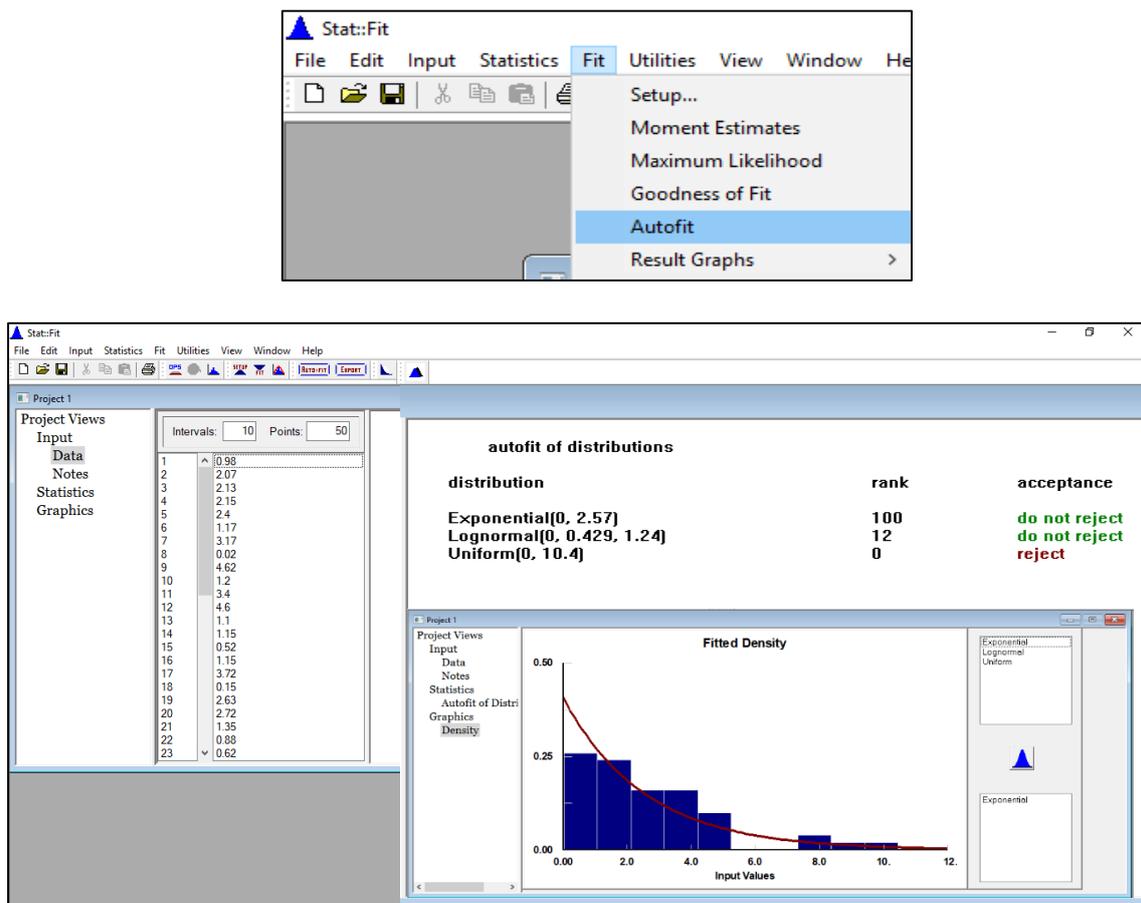


Figura 2. Forma de determinar a qué tipo de distribución de probabilidad se aproximan los datos de los tiempos de llegada y servicio del sistema de filas del CREE con Stat::Fit®. Fuente: propia (2018).

Anexo 3. Prueba de bondad de ajuste de los datos recolectados en el muestreo del sistema de filas del CREE.

Las pruebas de bondad de ajuste permiten validar la distribución de probabilidad asociada a los datos. Stat::Fit utiliza pruebas de bondad de ajuste como *Kolmogorov-Smirnov* y *Anderson-Darling* para determinar la validez. El procedimiento consiste en seleccionar del menú *Fit* la opción *Goodness of Fit* y el programa muestra los resultados de aceptación o rechazo de las distribuciones sugeridas (figura 3).

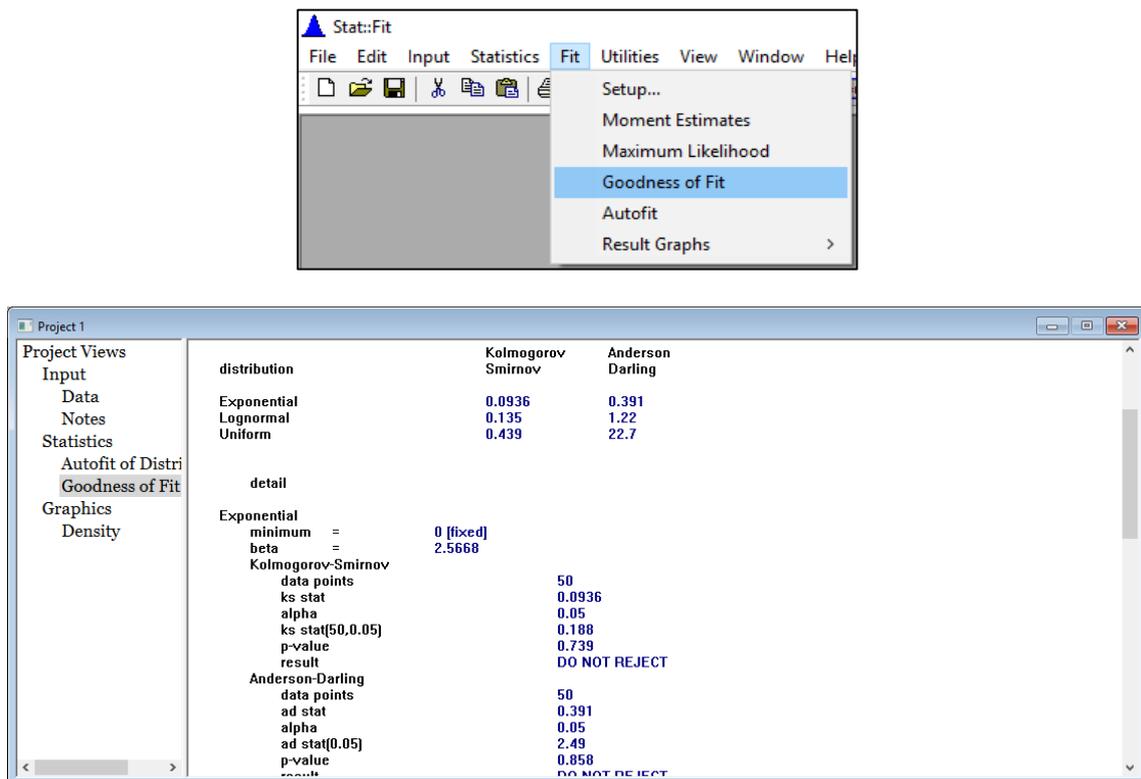


Figura 3. Prueba de bondad de ajuste para determinar a qué tipo de distribución de probabilidad se aproximan los datos de los tiempos de llegada y servicio del sistema de filas del CREE con Stat::Fit®. Fuente: propia (2018).

Anexo 4. Características de operación del sistema interpretadas a partir del reporte de resultados del *Output-Viewer* del ProModel®.

La herramienta *Output-Viewer* del ProModel®. Genera un reporte de resultados que requiere ser interpretado para encontrar las características de operación del sistema. Para el caso del porcentaje de utilización de todo el sistema, primero para todo el sistema se interpreta a partir del estado de la entidad (usuario) (figura 4). para ver los resultados de las locaciones (servidores) se selecciona la opción *Tablas, Locación-resumen* del menú *Gráficos* del *Output-Viewer* (figura 5). Este resumen también genera las características de operación principales del sistema: número esperado de clientes en el sistema (L), número esperado de clientes en la cola (Lq), tiempo de espera esperado en el sistema (W) y el tiempo de espera esperado en la cola (Wq). Donde W es igual a la suma del tiempo por entrada promedio de fila y el servidor, Wq es igual al tiempo por entrada promedio de la fila, L es la suma de la cantidad promedio de la fila y el servidor, Lq es igual a la cantidad promedio de la fila. Para cada una de las anteriores según sea el servidor y su fila.

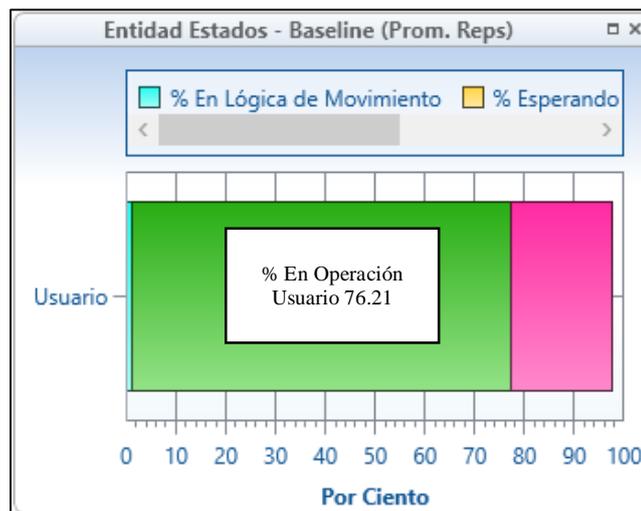


Figura 4. Porcentaje de utilización de todo el sistema con *Output-Viewer*. Fuente: propia (2018).



Réplica	Nombre	Tiempo Programado (Hr)	Capacidad	Total Entradas	Tiempo Por entrada Promedio (Min)	Contenido Promedio	Contenido Máximo	Contenido Actual	% Utilización
Avg	Fila de caja	6.87	999,999.00	14.20	3.62	0.13	3.64	0.01	1.56
Avg	Caja	6.87	1.00	14.19	2.21	0.08	1.00	0.01	7.90
Avg	Fila de Recepción de valoración	6.87	999,999.00	40.19	22.19	2.08	6.96	0.69	18.83
Avg	Recepción de valoración 1	6.87	2.00	21.31	30.42	1.45	2.00	0.38	72.53
Avg	Recepción de valoración 2	6.87	2.00	18.19	31.69	1.31	2.00	0.33	65.36
Avg	Fila de Preconsulta	6.87	999,999.00	13.98	49.41	1.69	5.36	0.10	24.91
Avg	Preconsulta	6.87	2.00	13.87	35.90	1.14	2.00	0.05	57.04
Avg	Fila de Trabajo social	6.87	999,999.00	13.24	43.42	1.36	2.84	0.70	45.05
Avg	Trabajo social	6.87	1.00	12.53	22.27	0.65	0.99	0.34	64.73

Figura 5. Porcentaje de utilización de las locaciones del sistema con *Output-Viewer*. Fuente: propia (2018).