

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ÁREA DE POSGRADO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA



**“ESQUEMA GENÉRICO PARA EL ANÁLISIS Y MEJORA DEL FLUJO DE
PACIENTES”**

TESIS

Que para obtener el grado de DOCTOR EN CIENCIAS presenta:

SILVIA VANESSA MEDINA LEÓN

DIRECTORA DE TESIS: DRA. AMALIA MEDINA PALOMERA

CO-DIRECTOR DE TESIS: DR. ÁLVARO GONZÁLEZ ÁNGELES

Agradecimientos

A la Dra. Amalia Medina Palomera y al Dr. Álvaro González Ángeles, mis directores de tesis que me guiaron en este gran proceso de aprendizaje de investigación.

A los sinodales Dr. Israel Saucedo Meza, Dr. Carlos Raúl Navarro González y Dra. Enriqueta Salazar de los cuales recibí valiosas recomendaciones para hacer de esta tesis un mejor trabajo.

A mi esposo por los días que no salimos y nos quedamos en casa.

A mi hijo por las horas que dejé de jugar con él y a mi hermana Cynthia por cuidarlo.

A mis padres por formarme.

Índice

<u>Descripción</u>	<u>Página</u>
Índice.....	iii
Índice de figuras.....	vi
Índice de tablas.....	viii
Abreviaciones.....	ix
Resumen.....	x
Abstract.....	x
Introducción.....	xi
 Capítulo 1. Generalidades	 1
1.1 Definición del problema.....	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Hipótesis.....	6
1.4 Objetivo general.....	7
1.5 Objetivos específicos.....	7
1.6 Metodología.....	7
 Capítulo 2. Estado del arte	 8
2.1 Modelos integradores de mejora del flujo de pacientes.....	9
2.2 Cambios en la operación para incrementar el flujo de pacientes.....	11
2.3 Pensamiento esbelto en hospitales.....	12
2.4 Simulación de eventos discretos aplicada a hospitales.....	16
2.5 Simulación de eventos discretos y diseño de experimentos.....	26
2.6 Métodos para la determinación del número de camas.....	28
2.7 Métodos para la determinación de salas y personal en hospitales.....	32
2.8 Aplicación de teoría de colas en problemas del sector salud.....	33
2.9 Metodologías para el diseño de hospitales.....	34
2.10 Integración de dinámica de sistemas con simulación de eventos discretos.....	35
2.11 Modelación basada en agentes utilizada en el sector salud.....	38
2.12 Modelos matemáticos aplicados para resolver problemas de flujo.....	39
2.13 Otros métodos aplicados.....	39
2.14 Identificación de retos y problemas en el sector salud.....	42
 Capítulo 3. Marco teórico	 47
3.1 Simulación de eventos discretos.....	47
3.2 Diseño de experimentos.....	55
3.3 Diagramas para la representación de procesos.....	58
3.4 Pensamiento esbelto.....	61
3.5 Herramientas básicas.....	70
3.6 Programas de mejora a lo largo de la compañía.....	73
3.7 Teoría de colas.....	76
3.8 Fundamentos de pruebas de hipótesis.....	77

Capítulo 4. Esquema de análisis y mejora del flujo de pacientes propuesto

Paso 1. Descripción del proceso de manera gráfica.....	79
Paso 2. Identificar los tiempos de espera mayor.....	90
Paso 3. Realizar un análisis de causa-efecto.....	91
Paso 4. Identificar oportunidades y posibles acciones de mejora.....	91
Paso 5. Clasificar las oportunidades y acciones de mejora.....	92
Paso 6. Determinar si las acciones de mejora propuesta son pertinentes.....	94
Paso 7. Seleccionar la(s) herramienta(s) avanzada(s) a utilizar.....	95
Paso 8. Aplicar simulación de eventos discretos, recomendando incluir diseño de experimentos.....	96
Paso 8.1 Formulación del problema.....	97
Paso 8.2 Formación de un equipo de trabajo específico para SED con personal de diferentes niveles.....	98
Paso 8.3 Diseño del modelo conceptual.....	98
Paso 8.4 Colección y tratamiento de datos.....	101
Paso 8.4.1 Calcular el tamaño de muestra.....	101
Paso 8.4.2 Colección de información.....	102
Paso 8.4.3 Preparación de datos para el análisis.....	103
Paso 8.4.4 Modelación de los datos de entrada.....	103
Paso 8.5 Construcción del modelo.....	107
Paso 8.6 Verificación.....	109
Paso 8.7 Validación.....	110
Paso 8.8 Análisis y experimentación.....	111
Paso 9. Aplicar otras herramientas avanzadas, principalmente matemáticas...	113
Paso 10. Presentación de recomendaciones y aprobación.....	116
Paso 11. Elaborar plan de implementación de recomendaciones resultado de análisis avanzados y recomendaciones directas.....	116
Paso 12. Preparación de eventos kaizen.....	117
Paso 13. Implementación.....	118

Capítulo 5. Aplicación de esquema de análisis y mejora del flujo de pacientes en caso de estudio

Paso 1. Descripción del proceso de manera gráfica (CE).....	119
Paso 2. Identificar los tiempos de espera mayor (CE).....	120
Paso 3. Realizar un análisis de causa-efecto (CE).....	122
Paso 4. Identificar oportunidades y posibles acciones de mejora (CE).....	123
Paso 5. Clasificar las oportunidades y acciones de mejora (CE).....	126
Paso 6. Determinar si las acciones de mejora propuesta son pertinentes (CE)..	129
Paso 7. Seleccionar la(s) herramienta(s) avanzada(s) a utilizar (CE).....	134
Paso 8. Aplicar simulación de eventos discretos, recomendando incluir diseño de experimentos (CE).....	135
Paso 8.1 Formulación del problema (CE).....	136
Paso 8.2 Formación de un equipo de trabajo específico para SED con personal de diferentes niveles (CE).....	137
Paso 8.3 Diseño del modelo conceptual (CE).....	137
	138

Paso 8.4 Colección y tratamiento de datos (CE).....	141
Paso 8.4.1 Calcular el tamaño de muestra (CE).....	141
Paso 8.4.2 Colección de información (CE).....	144
Paso 8.4.3 Preparación de datos para el análisis (CE).....	146
Paso 8.4.4 Modelación de los datos de entrada (CE).....	146
Paso 8.5 Construcción del modelo (CE).....	153
Paso 8.6 Verificación (CE).....	159
Paso 8.7 Validación (CE).....	159
Paso 8.8 Análisis y experimentación (CE).....	160
Paso 9. Aplicar otras herramientas avanzadas, principalmente matemáticas (CE).....	171
Paso 10. Presentación de recomendaciones y aprobación (CE).....	181
Paso 11. Elaborar plan de implementación de recomendaciones resultado de análisis avanzados y recomendaciones directas (CE).....	184
Paso 12. Preparación de eventos kaizen (CE).....	185
Paso 13. Implementación (CE).....	188
Capítulo 6. Resultados, conclusiones y recomendaciones	189
Resultados y discusión.....	189
Conclusiones.....	192
Recomendaciones.....	193
Publicaciones y congresos.....	195
Referencias.....	196
Glosario.....	210

Índice de figuras

<u>Figura</u>	<u>Página</u>
1.1 Gastos en salud como porcentaje PIB de México y a nivel mundial de los países pertenecientes a la OECD de 1960 al 2010.....	3
1.2 Expectativa de vida de la población en México y mundial de los países de la OECD de 1960 al 2010.....	4
1.3 Población en México del 2000 al 2010 y pronósticos para el 2020 y 2050...	4
1. 4 Población de 65 años o más según sexo a nivel nacional.....	5
4.1 Esquema propuesto de mejora y análisis del flujo de pacientes.....	80
4.2 Diagrama de flujo para clasificar las oportunidades y acciones de mejora en base a su estrategia.....	93
4.3 Diferencia entre la distribución observada y teórica.....	105
5.1 Diagrama de flujo del proceso caso de estudio.....	122
5.2 Pareto de los tiempos de espera para ser atendido en el área de obstetricia y ginecología del departamento de emergencias del caso de estudio.....	123
5.3 Diagrama de causa y efecto del tiempo de espera mayor.....	125
5.4 Comparativo de utilización de Arena con respecto a otros en la WSC.....	136
5.5 Distribución actual del área de emergencias del hospital caso bajo estudio.	140
5.6 Histograma con distribución triangular ajustada para el proceso de cesárea.	148
5.7 Razón de arribos de pacientes por hora.....	151
5.8 Gráfica de proporción de llegadas.....	152
5.9 Ventana para el ingreso de arribos por hora.....	152
5.10 Sub-modelos de la construcción del modelo.....	153
5.11 Vista interna del submodelo 1.....	153
5.12 Vista general de animación del modelo en 2D.....	154
5.13 Vista de recepción.....	155
5.14 Ruta de pacientes entre el área de observación y recuperación.....	155
5.15 Vista panorámica del área de emergencias de obstetricia/ginecología del caso de estudio.....	156
5.16 Gráfica de Welch sobre el número de pacientes en el sistema.....	158
5.17 Gráfica de Pareto de filas de espera.....	161
5.18 Gráfica de barras para el tiempo de espera máximo.....	161
5.19 Gráfica de barras para el número máximo de personas esperando.....	162
5.20 Ventana del “Analizador de procesos”.....	164
5.21 Impacto del incremento de camas en observación sobre el tiempo de espera total.....	165
5.22 Distribución de probabilidad F.....	169
5.23 Gráfico de medias del número de camas en el área de observación.....	170
5.24 Diagrama de colas del sistema bajo estudio.....	173
5.25 Gráfica de razón de arribos vs razón de servicio total.....	174
5.26 Factor de utilización.....	175
5.27 Factor de utilización considerando 11 camas en el área de observación	

(estación 2).....	178
5.28 Distribución actual y propuesta.....	183

Índice de tablas

<u>Tabla</u>	<u>Página</u>
5.1 Análisis y posibles opciones de mejora para cada oportunidad de mejora derivada del diagrama de causa y efecto.....	126
5.2 Oportunidades de mejora generales.....	129
5.3 Clasificación de las oportunidades y acciones de mejora.....	130
5.4 Acciones de mejora pertinentes.....	135
5.5 Datos de la muestra inicial.....	143
5.6 Tabla de datos del muestreo final.....	145
5.7 SE por distribución para el proceso de cesárea.....	147
5.8 Resumen de resultados del “Analizador de datos de entrada” para el proceso de cesárea.....	148
5.9 Distribuciones de probabilidad ajustadas.....	149
5.10 Resultados de validación utilizando la técnica porcentaje de error del modelo.....	160
5.11 Resumen de datos de espera.....	162
5.12 Resultados de la evaluación de escenarios.....	165
5.13 Porcentaje de reducción del tiempo de espera promedio incremental y acumulado.....	166
5.14 Ecuaciones para el ANOVA simple.....	167
5.15 Matriz de valores de respuesta para cada tratamiento.....	168
5.16 Resultados del ANOVA.....	169
5.17 Datos colectados.....	173
5.18 Ecuaciones de los modelos de colas.....	177
5.19 Resultados de las medidas de efectividad con el número de camas actual.....	178
5.20 Resultados de tiempos de espera al variar el número de camas en el área de observación.....	178
5.21 Diferencias entre la utilización de simulación y modelo de colas.....	179
5.22 Ventajas y desventajas del análisis de colas.....	180
5.23 Plan de implementación de análisis avanzados.....	184
5.24 Plan de implementación de recomendaciones directas.....	185
5.25 Plan de eventos kaizen.....	186

Abreviaciones

ABMS. Simulación basada en agentes (Agent based modeling and simulation).

ANOVA. Análisis de Varianza.

CQI. Mejora de la calidad continua (Continuous Quality Improvement).

DEA. Análisis Envolvente de Datos (Data Envelopment Analysis).

DDE. Diseño de Experimentos (Design of Experiments).

DS. Dinámica de Sistemas (System Dynamics).

IID. Independientes e idénticamente distribuidos.

OECD. Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (Organization for Economic Cooperation and Development).

FIFO. El primero que entra es el primero que sale (First In First Out)

IMC. Índice de Masa Corporal.

LIFO. El último que entra es el primero que sale (Last In First Out).

PIB. Producto Interno Bruto.

RIE. Eventos de Mejora Rápida (Rapid Improvemen Events)

SE. Error Cuadrático (Square Error).

SED. Simulación de Eventos Discretos (Discrete Event Simulation).

TQM. Administración Total de la Calidad (Total Quality Management).

VSM. Mapa de Flujo de Valor (Value Stream Map).

WSC. Conferencia de Simulación de Invierno (Winter Simulation Conference).

Resumen

En la actualidad el sector salud en todo el mundo tiene presiones en la demanda de atención de pacientes, en la reducción de costos y en la mejora de la calidad del cuidado del paciente. Aún cuando en la literatura se encuentra una gran cantidad de artículos sobre la solución de problemas que impactan en el flujo de pacientes en instituciones de salud utilizando herramientas de ingeniería industrial, estos trabajos son presentados para solucionar el caso específico de la institución sin plantear un esquema completo que sirva de guía para otras instituciones. En este trabajo de tesis se presenta un esquema metodológico para el análisis y mejora del flujo de pacientes fundamentado que permite mejorar el flujo de pacientes a través de un análisis inicial y la selección de una estrategia de solución la cual se clasifica en análisis avanzados, eventos kaizen o directa. El esquema pretende ser un marco de referencia para instituciones de salud interesadas en emprender acciones de mejora para mejorar el flujo de pacientes. El esquema de análisis se aplicó en un caso real resultando en una propuesta que reduce el tiempo promedio de espera total en un 71 %.

Abstract

Currently in the entire world, healthcare has problems meeting patients demand, cost reduction and quality improvement in patient care. Even though in literature there is a significant quantity of articles for solving problems with an impact on flow of patients in healthcare institutions using industrial engineer tools, these works are written to solve a specific case, without a complete framework that could be used as guide by other institutions. This thesis presents a methodological framework for the patient flow analysis and improvement to improve the flow of patients through an initial analysis and selection of a solving strategy which could be advanced analysis, kaizen events or direct. The framework pretends to be a reference for healthcare institutions interested on improving flow of patients. The framework was applied in a real case, resulting in a proposal that reduces the total waiting time in 71%.

Introducción

Uno de los retos del mundo es la capacidad de atención de las personas en servicios de salud, de tal forma que sea de calidad y con costos controlados. Este problema, en la actualidad se ha agudizado por el incremento de la expectativa de vida de las personas, tratamiento de nuevas enfermedades originadas por una mala alimentación y un incremento gradual en los costos por la falta de optimización de los procesos, entre otros factores.

Técnicas de análisis y mejora de sistemas de ingeniería industrial se han desarrollado y utilizado en la milicia y el sector industrial con éxito desde hace más de 100 años, no obstante en el sector salud por muchos años se mantuvo ajeno a la aplicación de esas técnicas. En la década de los 1960's un interés especial despertó en el estudio de los sistemas de salud por investigadores del área de investigación de operaciones y desde entonces el número de casos de estudio se ha incrementado, siendo hoy en día el sector salud una de las áreas de estudio más relevantes en la comunidad de Ingeniería Industrial.

Uno de los problemas de interés en el sector salud es mejorar el flujo de pacientes. El mejorar el flujo de pacientes permite ofrecer un mejor servicio porque disminuye la espera de los pacientes y permite optimizar el uso de los recursos. En la literatura se encuentran una gran cantidad de trabajos relacionados al estudio de este tema pero se enfocan al caso específico de una institución sin generalizar en su aplicación. Por otro lado los pocos trabajos que tienen el objetivo de servir como referencia en los proyectos de mejora del flujo de pacientes tienen sus limitaciones. Con la finalidad de cubrir esa necesidad en esta tesis se presenta una propuesta con una serie de pasos generalizados y específicos sobre el análisis y mejora del flujo de pacientes obtenido a través de un análisis de la literatura y experiencias de un caso de estudio. En términos generales el esquema consiste en un análisis inicial del sistema utilizando herramientas básicas de análisis como lo es diagrama de flujo, diagrama de causa y efecto y gráficos de Pareto, como salida de este análisis se identifican oportunidades de mejora y posibles acciones de mejora. Posteriormente se clasifican las oportunidades y acciones de mejora en base a la estrategia a seguir la cual puede ser análisis avanzados, eventos kaizen o directa. Es importante clasificar la estrategia a seguir porque no todos los problemas tienen la misma complejidad ni se resuelven de la misma forma.

En los siguientes capítulos se presenta una revisión del estado del arte, el fundamento teórico, la presentación del esquema y su aplicación a un caso de estudio y se finaliza con los resultados, conclusiones y recomendaciones obtenidas de la investigación.

Capítulo 1

Generalidades

1.1 Definición del problema

En la literatura no se encuentra un esquema genérico estructurado para mejorar el flujo de pacientes en hospitales públicos en las áreas de atención directa del paciente con herramientas utilizadas ampliamente en manufactura, debido a que en su mayoría existe documentación de forma específica para ser aplicado a un solo caso y los pocos trabajos presentados tienen limitaciones en su alcance.

1.2 Justificación

A nivel mundial las instituciones de salud tienen presiones para reducir los costos y mejorar la calidad del cuidado del paciente. Hoy en día es común encontrar quejas de pacientes que esperan horas para ser atendidos o incluso que no fueron atendidos. Mientras tanto los proveedores de servicios de salud se quejan que no tienen suficientes recursos como la falta de equipo, de personal etc. Por otro lado el gobierno anuncia la necesidad de recorte de gastos en salud los cuales se están disparando año con año. Además de lo anterior consideremos el incremento del promedio de expectativa de vida y el incremento en enfermedades relacionadas con la obesidad y mala alimentación generando de esta manera más servicios de salud para la población. En estas circunstancias se tiene un margen muy pequeño para dar cabida a desperdicios en el sistema por lo que varios países en el mundo han iniciado trabajos sobre el análisis y optimización de procesos en el sector salud. A diferencia de otros países, México tiene muy pocas acciones de mejora aplicando herramientas de ingeniería industrial (al menos documentada) por lo que este trabajo de tesis fomentará un área de estudio poco tratada pero de gran beneficio para la sociedad al proponer un modelo de mejora del flujo de pacientes de un hospital de la localidad. Aun cuando varios autores del área de ingeniería industrial han

atacado diferentes problemas en el sector salud, pocos autores han presentado un esquema de mejora como guía para analizar y mejorar el flujo de pacientes, más bien las soluciones han sido presentadas de manera puntual al problema específico.

La justificación de este trabajo de tesis, se presenta en los siguientes 5 puntos:

1. El tema de tesis es un problema actual de la sociedad, la cual es beneficiada con este tipo de estudios.
2. México es un país de oportunidades (los indicadores más negativos y los recursos más restringidos), además hay poco desarrollo y aplicaciones en Latinoamérica sobre el tema.
3. Hay una infinidad de oportunidades que todavía no se han explotado en la aplicación de herramientas de ingeniería industrial en el sector salud.
4. En la literatura se encuentran una considerable cantidad de trabajos dedicados al estudio de este tema pero en su mayoría se enfocan al caso específico de una institución sin presentar un esquema como tal que sirva de guía para emprenderlo en otras instituciones y los esquemas presentados tienen limitaciones en alcance.

A continuación se describe la situación de México en materia de salud desde una perspectiva mundial con el propósito de fortalecer la justificación del tema de tesis.

El Producto Interno Bruto (PIB) es una estadística de la economía de un país la cual se refiere al valor monetario de todos los bienes y servicios producidos entre las fronteras de un país durante un periodo específico, por lo general calculado en una base anual. El producto interno bruto se calcula de la siguiente manera $PIB = C + G + I + X - I$, donde C, es el consumo privado; G, es la suma de todos los gastos del gobierno; I, se refiere a la inversión o suma de gastos de las empresas del país en capital; X, es el valor de las exportaciones e I, el valor de las importaciones [1]. El interés sobre esta medida es que en los últimos años, tanto en México como en los demás países pertenecientes a la OECD se han incrementado considerablemente los gastos en servicios de salud como porcentaje del PIB (ver Figura 1.1) [2]. Cabe mencionar que las gráficas presentadas en esta sección son de datos obtenidos de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OECD, Organization for economic cooperation and development). Actualmente la OECD contiene estadísticas de 34 países incluyendo a México en diferentes rubros.

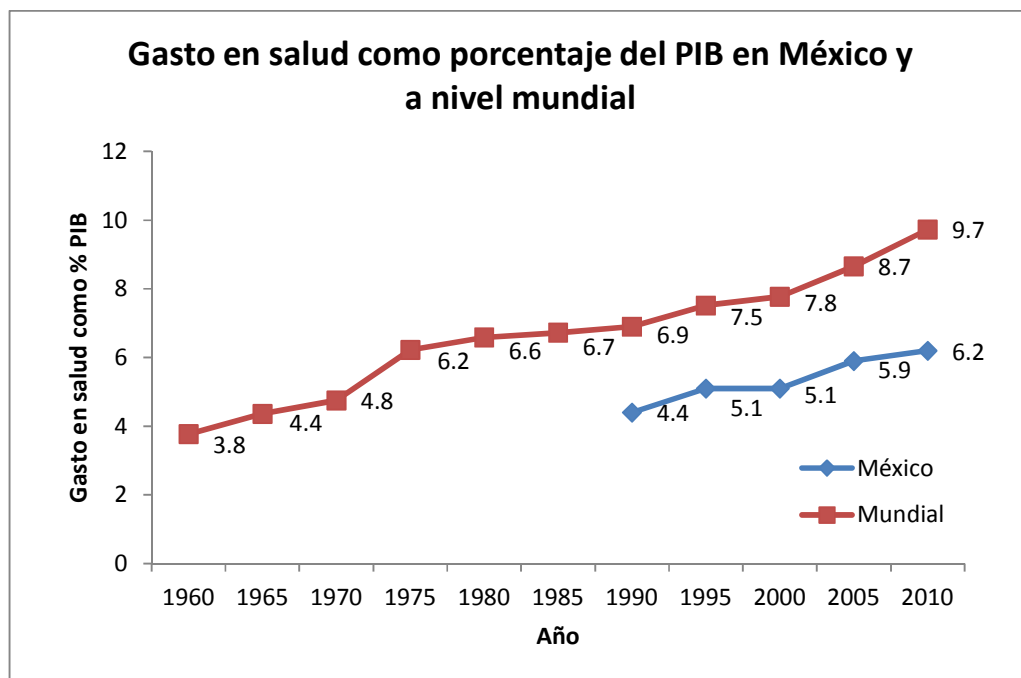


Figura 1.1 Gastos en salud como porcentaje PIB de México y a nivel mundial de los países pertenecientes a la OECD de 1960 al 2010 [2].

La figura 1.2 muestra como la expectativa de vida al nacer para México va aumentando a través de los años, esto definitivamente repercute en el aumento de servicios de salud requeridos a lo largo de la vida de una persona. En 1960 el promedio de vida en México era de 57.5 años, mientras que en el 2010, se registró un promedio de vida de 75.5 años. Es decir la población en México hoy en día vive en promedio 18 años más que hace 60 años. Esto mismo sucede con la población mundial donde en promedio se ha incrementado la expectativa de vida [2].

Por otro lado, otro factor de impacto que presenta el sector salud es la obesidad de las personas, en base a las estadísticas de la OECD del año 2009, México ocupa el segundo lugar en obesidad en adultos con un 30% de la población, superado únicamente por Estados Unidos con un 33.8% y en obesidad infantil ocupa el cuarto lugar con un 29% de la población entre 5 a 17 años superado por Italia (30.9%), Estados Unidos (35.9%) y Grecia (37%). El problema con la obesidad es que una persona obesa requiere de 25% más gastos de salud que una persona normal [3].

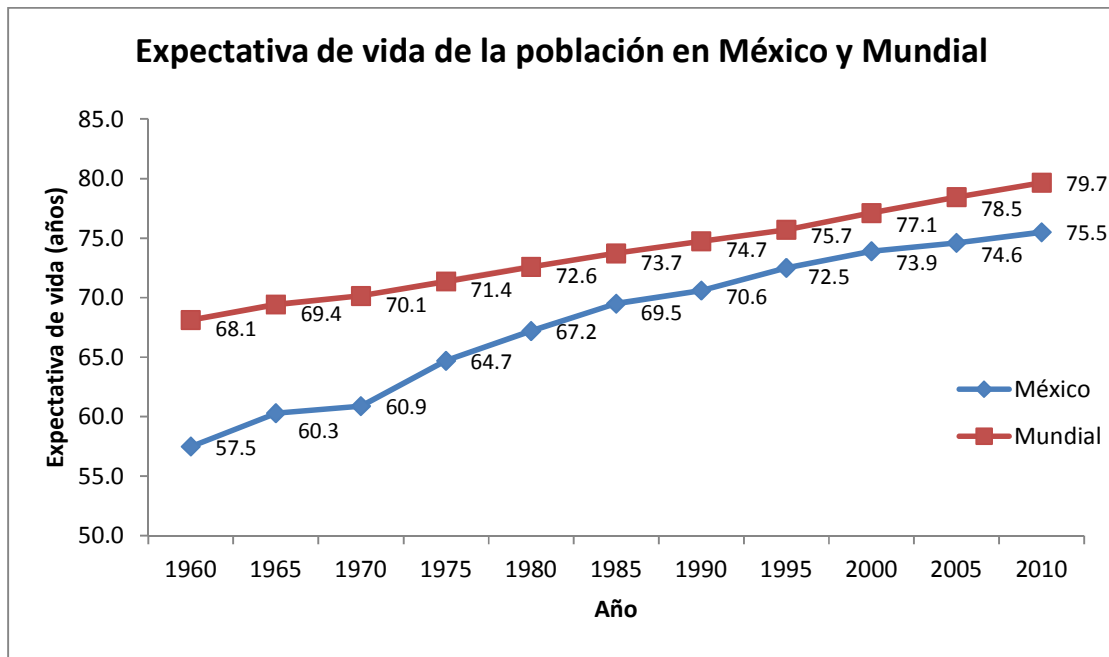


Figura 1.2 Expectativa de vida de la población en México y mundial de los países de la OECD de 1960 al 2010 [2].

En lo que se refiere al crecimiento de la población en México, esta va en aumento requiriendo con ello mayores servicios de salud [2]. La figura 1.3 muestra que la población en México aumentó en 10 millones en la última década.

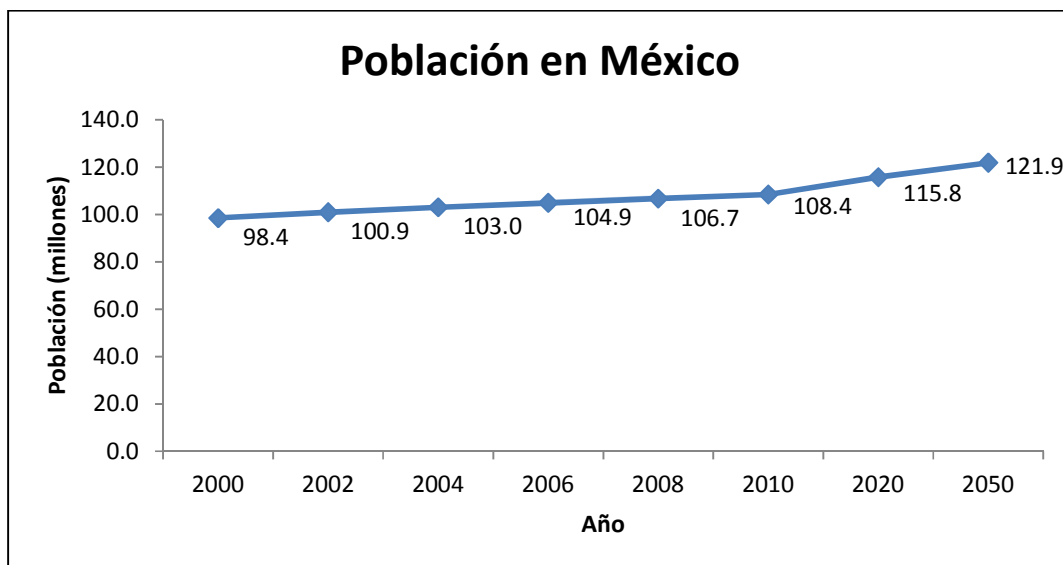


Figura 1.3 Población en México del 2000 al 2010 y pronósticos para el 2020 y 2050 [2].

México a nivel mundial tiene una población joven, pero esa población tarde o temprano envejecerá, por lo que la población mayor a 65 años se mantiene en aumento (ver figura 1.4) [4]. Este incremento representa un mayor gasto en salud debido a que las personas requieren mayor atención médica y también tiene un efecto en la economía porque este rubro de la población es económicamente inactiva.

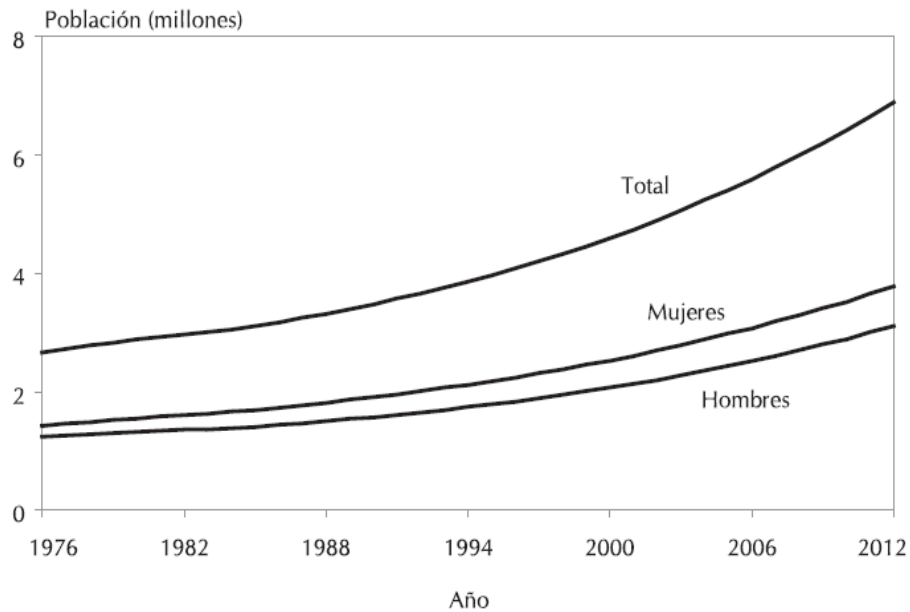


Figura 1. 4 Población de 65 años o más según sexo a nivel nacional [4].

Concluyendo el análisis de las gráficas podemos enunciar que:

- 1) Tanto en México como a nivel mundial, los países tienen una tendencia al incremento en gastos en salud como porcentaje del PIB. El incremento de los gastos en salud es un problema mundial que ha llamado la atención del gobierno, administradores del sector salud e investigadores como una oportunidad de mejora de tal forma que los recursos se optimicen al máximo logrando satisfacer las necesidades de la población pero con un mínimo de recursos. Gobiernos, aun de países desarrollados, están limitando el presupuesto en salud, con la finalidad de que las organizaciones de salud sean más eficientes. Por otro lado el hecho de gastar más en salud no garantiza una mejor salud de la población, la cual debería de ser la finalidad de toda entidad en materia de salud. Esto nos indica que la solución no es necesariamente un incremento en apoyo económico, a partir de esto surgen

las preguntas: ¿cómo están siendo utilizados estos recursos? ¿Son utilizados eficientemente? ¿Cuál es la forma óptima de hacerlo? Este tipo de preguntas están siendo presentadas a investigadores de todo el mundo y esta tesis pretende apoyar en ese esfuerzo conjunto.

- 2) En México diversos factores tales como expectativa de vida, población, población mayor de 65 años, y problemas de salud como obesidad, van en aumento requiriendo con esto mayores servicios de salud. Partiendo de esto surge la pregunta si las entidades de salud ¿están preparadas con los recursos necesarios para satisfacer esa demanda? Si anteriormente el sector salud tenía margen para tener desperdicios, hoy en día ya no hay cabida para despilfarros, cada centavo cuenta. Debemos de tomar ventaja de este periodo de juventud de la población y prepararnos para las décadas venideras con acciones de mejora en el sistema de salud, cualquier proyecto e iniciativa que surja enfocada a la salud es de gran valor para la sociedad.

México se encuentra con una gran oportunidad de mejora en los sistemas de salud y si esta es aprovechada, preparará al país para las décadas posteriores con sistemas de salud que provean de servicios con calidad, recursos optimizados y menores costos. De ahí la importancia en enfocar esfuerzos en proyectos de mejora en el sector salud como en el caso de este trabajo de tesis.

1.3 Hipótesis

El esquema genérico de análisis y mejora del flujo de pacientes propuesto será capaz de lograr una mejora significativa en el flujo de pacientes, mejorando de esta forma el servicio.

1.4 Objetivo general

Elaboración de un esquema metodológico de análisis y mejora del flujo de pacientes considerando enfoques y técnicas utilizadas en manufactura que al aplicarse logre reducir de manera significativa los tiempos de espera de los pacientes.

1.5 Objetivos específicos

1. Evaluar las herramientas y enfoques de análisis a incorporar en el esquema.
2. Determinar la lógica y relaciones entre las herramientas y enfoques que definan el esquema de análisis y mejora del flujo de pacientes.
3. Detallar los pasos del esquema de análisis y mejora.
4. Aplicar el esquema de análisis y mejora en un caso de estudio.
5. Retroalimentar el esquema con la experiencia obtenida de la aplicación.

1.6 Metodología

La metodología utilizada para la realización de la tesis consistió de las siguientes fases:

1. Revisión exhaustiva del estado del arte.
2. Selección de enfoques y herramientas a incluirse en el esquema.
3. Conceptualización del esquema de mejora propuesto.
4. Aplicación del esquema de mejora en un proceso real.
5. Obtención de resultados y conclusiones finales.

Capítulo 2

Estado del arte

Al investigar sobre los artículos relacionados con la mejora del flujo de pacientes, se identificaron diferentes líneas de trabajo presentadas en este capítulo. Varias de las líneas presentadas se utilizaron para desarrollar el esquema de mejora y otras se excluyeron de manera parcial o total. Cabe mencionar que las aportaciones de los autores en cada línea de investigación son presentadas en orden cronológico descendente. A continuación se presentan los trabajos más significativos en cada una de las líneas.

Líneas de investigación

1. Modelos integradores de mejora del flujo de pacientes.
2. Cambios en la operación para incrementar el flujo de pacientes.
- 3: Pensamiento esbelto en hospitales.
4. Simulación de Eventos Discretos.
5. Simulación de eventos discretos y diseño de experimentos.
- 6: Métodos para la determinación del número de camas.
- 7: Métodos para la determinación de salas, personal en hospitales.
- 8: Aplicación de teoría de colas en problemas del sector salud.
9. Metodologías para el diseño de hospitales.
- 10: Integración de dinámica de sistemas con simulación de eventos discretos.
- 11: Modelación basada en agentes utilizada en el sector salud.
- 12: Modelos matemáticos para resolver problemas de flujo en hospitales.
- 13: Otros métodos aplicados para mejorar el flujo de pacientes.
14. Identificación de retos y problemas en el sector salud.

2.1 Modelos integradores de mejora del flujo de pacientes

En esta línea de investigación se presentan puntos de vista o propuestas de modelos integradores para mejorar el flujo de pacientes. El modelo integrador de mejora se refiere a la inclusión y selección de diferentes técnicas interrelacionadas que permite a los usuarios seguir una ruta de análisis para la mejora de un sistema dado. El modelo integrador debe de ser genérico, es decir debe ser aplicable a diferentes hospitales.

Naseer, Eldabi y Young en el 2010 [5] presentaron el avance del desarrollo de su herramienta denominada “RIGHT Toolkit selection” la cual recomienda métodos de modelación y simulación a utilizar en base a preguntas sobre un problema a resolver en el sector salud. Las preguntas son 8, estas son:

- 1) ¿A qué área de aplicación pertenece el problema? Opciones: política y estratégica, calidad, riesgo, finanzas, planeación de planta, personal, tecnología, información y materiales.
- 2) ¿Qué etapa pertenece el problema? Opciones: necesidades y aspectos de identificación, plan de desarrollo de un nuevo servicio, pronóstico de demanda, asignación de recursos, implementación, desarrollo de criterios de desempeño, administración del desempeño o evaluación de resultados.
- 3) ¿Cuál es el nivel de entendimiento que se requiere de la modelación? Opciones: política, estratégico (general), gerencial, operacional o detallado.
- 4) ¿Qué tipo de resultado se requiere? Opciones: solo un entendimiento, análisis de tendencia (general), interacciones del sistema, comportamiento del sistema comprehensivo y exacto o muy preciso.
- 5) ¿Cuál es la máxima cantidad de tiempo que se puede asignar para modelación, para solucionar este problema? Opciones: menos de un día, menos de una semana, menos de un mes, menos de un año, más de un año.
- 6) ¿Cuál es la máxima cantidad de dinero disponible para comprar equipo, programas de computo y asesoría o conocimientos para resolver este problema? Opciones: en libras de 0-50, hasta 1,500, hasta 15,000, hasta 50,000, más de 50,000.
- 7) ¿Cuál es la máxima cantidad de conocimiento que tiene o podía acceder, en un tiempo oportuno del sistema o problema? Opciones: nuevo problema, limitado conocimiento, conocimiento moderado, conocimiento experto o conocimiento completo.

8) ¿Cuál es la máxima cantidad de datos cuantitativos que se tienen o podrían accederse de manera oportuna sobre el problema? Opciones: ninguno, estimados, algunos datos sin procesar, estadísticos y análisis buenos o acceso a todo tipo de datos.

Los métodos recomendados son evaluados en base a cuatro criterios presentados en una gráfica de radar los cuales son: tiempo, dinero, datos y conocimiento del sistema disponible. Al recomendar los métodos se presenta una breve descripción del método y en qué casos se recomienda su aplicación. Dentro del banco de métodos de la herramienta se encuentra: SED, DS, simulación híbrida (dos o más técnicas de simulación son combinadas), modelación basada en agentes, simulación en tiempo real, teoría de juegos (“Gaming simulation”, teoría de colas, modelación Markov, redes Petri, enfoque de elección estratégica, metodología de sistemas suaves “Soft system methodology”, desarrollo y análisis de opciones estratégicas, análisis robusto “Robustness analysis”, teoría de drama y análisis de confrontación, análisis de sobrevivencia “Survival analysis”, árboles de decisión, mapas de aspectos “Issue maps”, diagramas de actividad, diagramas de transición de estados, diagramas de información, diagramas de actividad “Swim Lane”, diagramas de comunicación, diagramas de influencia, diagrama de flujo de datos, entre otros. Aunque la herramienta se encuentra en desarrollo la versión actual se encuentra disponible en internet en la dirección <http://www.right-toolkit.org.uk>.

Chand et al. en el 2009 [6] propusieron un enfoque para analizar y mejorar el flujo de pacientes de una clínica. Los pasos clave del enfoque son: 1) selección del proceso, equipo y métricos, 2) mapeo del proceso, validación e identificación de fuentes de variabilidad y posibles factores de mejora, 3) colección de datos y desarrollo y validación del modelo de simulación, 4) diseño de experimentos, modelos estadísticos y determinación de valores de los factores óptimos y 5) estudio de la efectividad de los factores de mejora. El enfoque fue aplicado en una clínica donde su objetivo fue reducir tanto el tiempo de espera de los pacientes como los tiempos de término de actividades de los médicos. Éste último para permitir atender ver más pacientes al reducir la razón de los que no se presentan.

Hall et al. en el 2006 [7] proponen como enfoques principales para mejorar el flujo de pacientes la planeación del proceso y la medición del desempeño. La planeación del proceso se refiere a documentar los pasos para proveer el servicio y rediseñar el proceso con una

eficiencia mejorada. La medición del desempeño se refiere a identificar los objetivos del sistema y los indicadores representativos de su obtención. Algunos ejemplos de indicadores de desempeño son: tiempo de espera (por paso o ubicación), número de pacientes esperando, número de pacientes atendidos, satisfacción del paciente y utilización de recursos y costos. Además comentan que la secuencia de mejora del sistema debe ser a través de 3 pasos en orden jerárquico: 1) alterar el proceso de servicio (por ejemplo a través de planeación, coordinación, cambios al proceso, comunicación o automatización) 2) alterar el proceso de llegadas (por ejemplo a través de citas, precios, información o programas de educación) y 3) alterar el proceso de colas (por ejemplo a través de incorporar un sistema de evaluación previa “triage”, mover la espera en la unidad médica al hogar, rediseñar las áreas de espera o cambios en la priorización). Comentan que los pasos son en forma jerárquica porque la primer prioridad debe ser optimizar el servicio para cumplir con las necesidades del paciente; cuando esto no es factible recomiendan explorar cambios en los patrones de pacientes y si todo falla enfocarse en administrar las colas a una eficiencia máxima. Presentan un caso de estudio con varias herramientas basadas en los dos enfoques principales.

2.2 Cambios en la operación para incrementar el flujo de pacientes

Esta línea se refiere a cambios que no solo involucra modificar el número de recursos sino el método en el que se realizan las operaciones como por ejemplo agregar un área de evaluación previa antes de entrar a consulta o un área de atención de casos rápidos.

Mauull et al. en el 2006 [8] simulaban un departamento de emergencia para evaluar el modo que ellos denominaron como “fast track” (atención rápida). Este modo consiste en que el paciente es evaluado rápidamente y si se tiene que hacer algo en un corto tiempo, se hace, si no, es admitido. Varios hospitales están aplicando este enfoque para reducir los tiempos de espera. Los resultados del estudio indican una reducción significativa en la espera del paciente con 13.2% de la población esperando más de 4 horas antes de la implementación comparada con 1.4% después de la implementación. En este estudio aunque la estrategia “fast track” mejoró significativamente el servicio a los pacientes con condiciones menores, el servicio para pacientes con condiciones críticas no mejoró proporcionalmente. Mauull et al. comentaron que

los departamentos de emergencia necesitan la utilización de métodos analíticos y de modelación más complejos ya que están caracterizados por variaciones altas en la demanda de servicio, alta variedad en la condición de presentación, incremento de altos volúmenes y presentan recursos limitados. El concepto de “fast track”, no es nuevo pero está incrementando su atención en la literatura.

Travers y Lee en el 2006 [9] examinaron la opción, directamente en el sistema real, de asignar a un médico, además de la enfermera en el proceso de “triage”, área donde se toman signos vitales y valoración de la gravedad del paciente, para tratar casos menores. Con este cambio el tiempo de espera de los pacientes fue reducido de 35.5 minutos a 19 minutos.

Henderson et al. en el 2004 [10] mencionan que la clave para mejorar el flujo de pacientes se basa en reducir la variación del proceso que impide el flujo.

Karpiel en el 2004 [11] menciona que una manera de crear “throughput” (incrementar el número de pacientes atendidos) es incorporar un área de “fast track” (atención rápida). También presenta pequeños cambios que mejoran el flujo de pacientes como el enviar reportes por fax.

Capuano et al. en el 2004 [12] basados en una encuesta de un hospital, encontraron que las enfermeras pasan la mitad del tiempo en trabajo de oficina. En su artículo presentan identificación de problemas y acciones tomadas para mejorar el proceso. Una de las acciones interesantes fue que los médicos deben escribir su nombre y número de beeper en caso de que la receta no sea clara.

2.3 Pensamiento esbelto en hospitales

Esta línea se refiere a enfoques y herramienta utilizadas en la implementación del pensamiento esbelto (“Lean thinking”) para la mejora de las operaciones en el sector salud.

Ng et al. en el 2010 [13] comentaron que aún después de haber incrementado el número de enfermeras y estaciones en el área de evaluación (“triage”), haber agregado personal directivo y médico, haber contratado una practicante de enfermería y abierto un área de atención rápida

(“fast track”) en el hospital Hôtel-Dieu Grace en Windsor, Canadá, no obtuvieron un impacto significativo en la reducción del tiempo de espera global. Comentan los autores que hasta que empezaron a implementar los principios del sistema de Producción Toyota en el 2005 obtuvieron cambios significativos en la mejora del flujo de pacientes.

Dickson et al. en el 2009 [14] presentaron la aplicación de la técnica de “Value Stream Map” (VSM – Mapeo del flujo de valor) en un departamento de emergencia a través de un taller “lean” de 5 días.

Dickson et al. en el 2009 [15] utilizaron la medida “throughput” (número de pacientes atendidos por hora) porque al implementar “lean”, mejora la actuación del hospital por lo que el número de pacientes atendidos aumenta sin reducir el tiempo de estancia total.

Chakravorty en el 2009 [16] describieron detalladamente como implementar los reportes A3 en manufactura. El reporte A3 incluye: 1) preparación y entrenamiento, 2) mapeo del proceso y análisis del estado actual, 3) mapeo del proceso y análisis del estado futuro y 4) implementación y apropiación.

Brandao de Souza en el 2009 [17] presentó las tendencias y enfoques de “lean” en el sector salud. Comenta que dentro de los enfoques de mejora utilizados se encuentra “lean”, administración total de la calidad, pensamiento de sistemas y dinámica de sistemas, teoría de restricciones, reingeniería y la simulación de eventos discretos. En su artículo presenta una gráfica mostrando el número de publicaciones en el sector salud desde el 2002. Comenta que en base a su estudio el 57% de las aplicaciones publicadas de “lean” ocurrieron en Estados Unidos, 29% en el Reino unido y 4% en Australia. Considera que “lean” está siendo un enfoque de éxito para la mejora en el sector privado.

Vest y Gamm en el 2009 [18], en su artículo de revisión de la literatura de estrategias de transformación en el sector salud consideran que las más relevantes son “lean”, seis sigma y el “StuderGroup’s Hardwiring Excellence”. El enfoque “StuderGroup’s Hardwiring Excellence” fue creado por el administrador de un hospital y ha ganado notoriedad después de que la empresa consultora y creadora del enfoque ganó el premio Baldrige 2010 en el campo de hospitales.

Langabeer et al. en el 2009 [19] mencionan que la Mejora de Calidad Continua (sus siglas en inglés: CQI) y el TQM (sus siglas en inglés significan: administración total de la calidad) perdieron momento por la falta de un análisis conducido de datos y por el contrario los programas seis sigma y “lean” se enfocan a un análisis conducido de datos y una metodología rigurosa para mejorar la calidad. Comentan que “lean” y seis sigma son las iniciativas líderes de mejora hoy en día pero actualmente los artículos publicados en esa área carecen de la especificación de objetivos, siendo esto una omisión grave. Señalan que si las metas se establecen claramente, las personas estarán motivadas para lograr los resultados. En el artículo los autores presentan los resultados de una encuesta sobre la aplicación de “lean” y seis sigma, los resultados más interesantes fueron: 1) el 74% de los encuestados opinaron que el enfoque de lean y seis sigma se ajusta a la industria del sector salud sin la necesidad de hacer modificaciones mientras que el 19% consideró que requiere cambios estructurales, siendo la más común comunicación con los médicos para involucrarlos en el proceso, 2) sobre el obstáculo organizacional más grande en la penetración de las iniciativas de calidad el 37% opinó que eran los médicos, el 31.6% la administración ejecutiva y el 10.5% las enfermeras. Finalmente los autores proponen como oportunidades de investigación en tres áreas: 1) establecimiento y medición de metas, refiriéndose a investigar porque las organizaciones del sector salud inician programas de mejora de calidad sin especificar metas y porque los resultados financieros no están siendo medidos, 2) enfoque, refiriéndose en como las organizaciones del sector salud seleccionan los proyectos a desarrollar y 3) resistencia, refiriéndose principalmente a las causas.

Wennecke en el 2008 [20] presenta claramente en su artículo la implementación de eventos kaizen en hospitales. Comenta que al mejorar procesos en hospitales, la prioridad de las soluciones debe ser: 1) incrementar la seguridad (paciente y personal), 2) incrementar la calidad del tratamiento, 3) reducir el “lead time” o listas de espera, 4) incrementar la productividad y 5) analizar errores médicos.

Khurma et al. en el 2008 [21] utilizaron herramientas lean como análisis de tiempos de ciclo, diagramas de pescado y lluvia de ideas para mejorar la atención de un departamento de emergencias. Después construyeron un modelo de simulación para presentar de manera gráfica las mejoras y hacer un análisis comparativo.

Jack y Powers en el 2008 [22] presentan el cuestionamiento de cómo pueden ser usadas de manera más efectiva estrategias tales como el pensamiento esbelto, justo a tiempo, seis sigma y otras, para reducir errores médicos y mejorar el cuidado de la salud.

Abdulmalek y Rajgopal en el 2007 [23] analizaron los beneficios de manufactura esbelta y el Mapa de Flujo de Valor (Value Stream Map) a través de la simulación en un caso de estudio. Comentan que en algunas situaciones el mapa de estado futuro no es tan fácil de evaluar, por ejemplo para predecir los niveles de inventario es usualmente imposible utilizar únicamente un mapa de estado futuro porque con un modelo estático no se puede observar como los niveles variarán para diferentes escenarios. Debido a lo anterior comentan que se requiere de una herramienta adicional además del mapa del flujo de valor que pueda cuantificar los beneficios durante las primeras fases de planeación y valoración. Por otro lado recomiendan utilizar simulación para convencer a la administración sobre los beneficios de aplicar “lean”.

Nelson-Peterson y Leppa en el 2007 [24] describen los beneficios de la aplicación del sistema de producción Virginia Mason, adaptado del sistema de producción Toyota en el centro médico Virginia Mason de Seattle, Washington. Describen el taller de mejora de procesos rápidos que ellos utilizan para emprender sus mejoras (en inglés conocido como Rapid process improvement workshop).

Fillingham en el 2007 [25] comenta que el método fundamental para facilitar un cambio de cultura y lograr una transformación radical es el uso de Eventos de Mejora Rápida (RIE - Rapid Improvement Events). En su caso de implementación utilizaron los 5 principios de “lean”. Mencionan la utilización del círculo Ohno.

King et al. en el 2006 [26] presentan la aplicación del pensamiento esbelto para mejorar el flujo de pacientes con el objeto de describir un enfoque para rediseñar los procesos del departamento de emergencias. Optaron por atender los pacientes en el orden que llegaron (a menos que hubiera una amenaza de muerte) en vez de la categoría “triage”. El enfoque redujo los tiempos totales de tratamiento y el número de pacientes totales en el departamento de emergencia. Su enfoque no incluye los métodos mirar y tratar “See and treat” o atención rápida “fast track” como el que presenta el servicio de salud nacional del Reino Unido porque consideran que solo pocos pacientes vienen por una herida menor para atenderlos rápidamente.

Tony Manos en el 2006 [27], en su introducción al mapeo de flujo de valor recomienda tres días para desarrollar el mapa actual y futuro.

Young et al. en el 2004 [28] comentaron que el pensamiento lean, la teoría de restricciones, Seis sigma y la simulación son las herramientas más sobresalientes en la mejora del cuidado del paciente.

Sobek y Jimmerson en el 2004 [29] presentan una adaptación al reporte A3 de Toyota al incorporar esfuerzos en las solución de problemas en la práctica del cuidado de la salud. Presentan un ejemplo de aplicación.

Thompson et al. [30] presentan los resultados de un estudio en el centro médico de la Universidad de Pittsburgh en el 2002, donde aplican el sistema de producción Toyota, el cual muestra que las enfermeras pasan más tiempo cuidando el sistema que cuidando el paciente. En forma específica los resultados son los siguientes: la mayor parte del tiempo (20%) las enfermeras realizan actividades de documentación, 18% en la administración del medicamento y solo una tercera parte en el cuidado del paciente. También hacen referencia a las estadísticas interesantes presentadas por Feinstein en el 2001 [31], algunas de estas son: casi 100,000 americanos mueren cada año por causa de errores médicos, 7% de los pacientes adquirirán una infección en el hospital y 1 de cada 100 pacientes hospitalizados recibirán el medicamento incorrecto.

Hacquebord en 1994 [32] presenta su experiencia en el hospital como paciente y recomienda reducir la variación y utilizar gráficos de control en los diferentes procesos a monitorear.

2.4 Simulación de eventos discretos aplicada a hospitales

En esta línea se presentan las aportaciones más relevantes donde se utiliza la simulación de eventos discretos en la mejora de los procesos de hospitales.

Günel y Pidd en el 2010 [33] hacen una revisión excelente de la literatura de la simulación de eventos discretos en la modelación de la actuación en el sector salud. Los autores comentan que el enfoque de simulación ha sido utilizado por más de 30 años. Resaltan la revisión de

Wilson en 1981 [34] en donde encontró que de 200 artículos de simulación únicamente 16 fueron implementados en el sistema real. Wilson argumenta que las razones son: 1) los clientes quieren una solución rápida y simulación toma tiempo sobre todo en la colección y análisis de datos, 2) la simulación es costosa, 3) debido a que la simulación es requerida rápidamente el modelo se sobre simplifica y esto causa una falta de confianza por los clientes. Para incrementar las oportunidades de éxito de una implementación Wilson recomienda: 1) el sistema siendo estudiado debe de tener una necesidad de tomar una decisión, el proyecto debe ser completado antes de la fecha programada, los datos deben de estar disponibles y el organizador o tomador de decisiones deben de participar en el proyecto. Incluyen el punto de vista de Brailsford en el 2001 [35] al decir que los modelos de Dinámica de Sistemas (DS) no son apropiados para una modelación detallada y se desempeñan pobremente con variación estocástica. Los autores también mencionaron el trabajo de Moreno en 1999 [36] quien desarrolló un modelo de simulación para predecir la actuación futura del hospital con respecto a tiempos de espera y tamaño de fila. Señalan que Harper y Pidd en el 2004 [37] propusieron un ciclo de vida de proyectos de modelación para una implementación exitosa. Finalmente dentro de sus conclusiones Günal y Pidd mencionaron que sería un paso adelante si en los artículos de casos de estudio se incluyeran descripciones generales y conceptuales de los enfoques de manera detallada para que otros los utilicen.

Sharoda et al. en el 2010 [38] hace una revisión sistemática de 1970 a 2006 sobre estudios de simulación en el departamento de emergencias relacionados al acumulamiento de pacientes. Comentan que Takakuwa y Shiozaki en el 2004 [39] encontraron en su estudio que el 59% del tiempo de espera en el departamento de emergencia fue por espera de camas. Por otro lado en los estudios de Komashie y Mousavi en el 2005 [40] indican que el agregar camas extras simplemente cambia las filas de espera de la sala de espera a la cama porque ahora el cuello de botella es esperar por enfermeras y médicos. Finalmente los autores listan las limitaciones para la realización de estudios de simulación siendo la más sobresaliente la dificultad para la obtención de datos empíricos. Comentan el trabajo de Rossetti et al. en 1999 [41], el cual requirió 1350 horas-hombre para obtener los tiempos de 16250 elementos estandarizados de operaciones que realizan los pacientes o personal en 5 hospitales.

Williams et al. en el 2010 [42] presentan a detalle los pasos llevados a cabo en el análisis y desarrollo de la simulación.

Ramwadhoebe et al. en el 2009 [43] comentan que en las situaciones donde se utiliza simulación para comparar estrategias es importante no incrementar arbitrariamente el número de réplicas porque tienden a generarse datos con distribución normal y no se mostrará la variación inherente. Comentan que los tipos de simulación por computadora más comunes utilizados para la toma de decisiones en el sector salud son los arboles de decisión y modelos Markov.

Taylor et al. en el 2009 [44] hacen una revisión de artículos de simulación publicados del 2000 al 2006. Comentan que el primer lenguaje y el primer trabajo publicado de modelación de la simulación fue en 1960 por Tocher y Owen [45]. Taylor et al. comentan que hay una falta de involucramiento del mundo real en la investigación de la modelación de la simulación por lo que lo consideran un problema alarmante.

Brailsford et al. en el 2009 [46] comentan que la gran mayoría de los estudios sobre investigación de operaciones en el sector salud han sido llevados a cabo en Norte América y Europa. También presentan un análisis de la implementación de los trabajos publicados en simulación, la cual resaltan es muy baja. En este análisis dividen los artículos con respecto a su implementación en: 1. Sugerido. Teóricamente propuesto por los autores. 2. Conceptualizado. Discutido con el cliente y 3. Implementado. Actualmente utilizado en la práctica. El número de artículos resultantes en cada área fue: 1. Sugerido – 171 (50%). 2. Conceptualizado – 153 (44.7%) y 3. Implementado 18 (5.3%). Señalan que estos resultados enfatizan los estudios previos de Wilson en 1981[34] y Fone en 2003 [47].

Wanga et al. en el 2009 [48] escogieron en su estudio el software Arena como herramienta de simulación en base al trabajo de James en el 2003 y 2005 [49, 50] quien comparó 48 herramientas de software de simulación en su encuesta bianual y el trabajo de Schriber y Brunner en el 2002 [51].

En el 2009 Santibáñez et al. [52] en su caso de estudio de simulación para reducir los tiempos de espera y mejorar la utilización de los recursos utilizaron intervalos de confianza para la validación del modelo. Este método consiste en obtener intervalos de confianza para los

métricos del modelo de simulación y del sistema real, en caso de que los intervalos se empalman se considera que el modelo es válido. Se corrieron 100 réplicas del modelo con la finalidad de obtener un 95% de intervalo de confianza de menos de 0.3 minutos por tiempo de espera del paciente y tiempo final de clínica. Los autores optaron por seleccionar las citas de enero porque era el mes del último año con más volumen. En el análisis de escenarios, varios factores fueron considerados como por ejemplo el inicio de la clínica (7 minutos tarde vs a tiempo), duración de la consulta (valor actual, incremento del 15%, incremento del 30%), número de estudiantes/residentes (número actual vs 0) y cuartos de examen (dedicados vs agrupados). Se analizaron más de 100 escenarios y se utilizó ANOVA y MANOVA. Los autores comentan que uno de los retos del estudio fue la falta de información en la forma requerida.

Hoad et al. en el 2008 [53] presentaron una revisión de 42 métodos para determinar el periodo de estabilización de la simulación (“Warm-up”).

Barra Monteveshi et al. en el 2008 [54] propusieron un enfoque de la modelación conceptual donde utilizan las técnicas SIPOC (Proveedores, entradas, proceso, salidas, clientes), diagrama de flujo y IDEFO.

Pérez et al. en el 2008 [55] utilizaron SED junto con un optimizador, para reducir los tiempos de espera en un hospital de Medellín Colombia al asignar al personal entre áreas.

Duguay y Chetouane en el 2007 [56] desarrollaron un modelo de simulación considerando los efectos de los recursos de enfermeras, médicos y cuartos de valoración. El modelo lo ejecutan con 10 réplicas de 12 horas de duración y no presentan “warm-up”. La descripción de su modelo es muy clara y detallada. Comentan que el código de “triage” tiene los siguientes tiempos de espera máximos: 1-0 minutos, 2-15 minutos, 3-30 minutos, 4-60 minutos y 5-120 minutos [57]. Estos códigos son estándares de referencia cada vez más utilizados por los hospitales en todo el mundo.

Balci et al. en el 2007 [58] aplicaron la técnica de simulación donde no requirieron tiempo de “warm-up” basándose en la técnica de promedios móviles y calcularon el número de réplicas con la ecuación del cálculo de error. Presentan ejemplos de mejoras prácticas que implementaron como utilizar códigos de barras, grabadoras de voz e impresión de etiquetas.

Swain en el 2007 [59] presenta una comparación de los diferentes software de simulación. Comenta que uno de los productos nuevos es la simulación basada en agentes como el caso del software AnyLogic.

Fletcher y Worthington en el 2007 [60] comentan que un modelo genérico es capaz de modelar alternativas de diferentes proveedores (en este caso hospitales) en el mismo entorno con la misma estructura del modelo básico y solo un cambio en los datos de entrada. Un modelo específico es un servicio local particular y carece del diseño para ser transportable a otro hospital del mismo servicio (aunque pudiera).

Sally C. Brailsford en el 2007 [61] comentó que uno de los retos que considera importantes en la simulación es el desarrollo de modelos genéricos. Es decir, se ha publicado mucho sobre modelos aplicados a un cierto hospital pero no con un enfoque generalizado. Comenta que hay muchas personas trabajando en el tema pero todavía nadie lo ha resuelto. Considera que es posible que sea más un problema, educacional, social y cultural que técnico.

Paul J. Sanchez en el 2007 [62] en su artículo “Fundamentals of Simulation modelling” (Fundamentos de la modelación de simulación) recomienda la construcción de modelos simples generales y después detallarlos.

VanBerkel y Blake en el 2007 [63] desarrollaron un modelo de SED para las listas de espera. La validación del modelo fue a través de tres métodos.

- 1) En el primer método se investigan los datos de manera individual, consistió en calcular intervalos de confianza del 95% para el tiempo de estancia total, tiempo en quirófano y razones de arribo tanto de datos históricos como del modelo. Si los intervalos de confianza se traslapan nos asegura que el modelo se ejecuta como se esperaba.
- 2) En el segundo método se evalúa la actuación global del sistema modelado con el real. Se consideraron tres métricos: uso efectivo del tiempo de quirófanos, utilización de camas y tiempos de espera. Con respecto a los tiempos de espera se graficaron los tiempos de espera del modelo y los históricos y se realizó un análisis de regresión la cual mostró la tendencia del incremento del tiempo de espera, resultando ser la misma para el modelo como el sistema real en el caso de estudio.

- 3) El tercer método fue tomar datos promedios de tiempos de espera de 30 meses históricos y del modelo, se obtuvo la diferencia de los pares y se calculó el intervalo de confianza (IC) de las diferencias. La interpretación es que si el intervalo de confianza incluye al cero, el modelo es válido.

Kopach et al. en el 2007 [64] en su artículo de programación de citas mencionan que hay dos clases de metodologías en la literatura: estudios analíticos y simulación. En los artículos de estudios analíticos utilizan teoría de colas, programación matemática y programación dinámica. Estos estudios se enfocan al problema de programación de citas de manera básica con consideraciones limitadas en factores ambientales como los pacientes que nunca llegan o los que llegan sin cita. Por otro lado los estudios de simulación se enfocan en comparar sistemas de programación de citas detallados en ambientes complejos.

Hall et al. en el 2006 [7] comentan que los modelos del sistema de salud pueden ser evaluados desde cuatro perspectivas diferentes: macro, regional, centro y departamento. El nivel macro incluye el conjunto de actividades que afectan el bienestar de una persona desde su nacimiento hasta su muerte, su enfoque es representar el estado de salud del individuo. El nivel regional presenta las relaciones organizacionales y funcionales entre los procesos del cuidado de la salud. De manera jerárquica incluye proveedores de consulta, proveedores privados, clínicas locales, hospitales y centros médicos regionales. El nivel centro (de salud) se refiere a modelar un grupo de instalaciones geográficamente cercanas entre sí bajo el mando de una sola administración. Como mínimo interactúan dos o más departamento cada uno con una distinta función como laboratorio, consulta externa o departamento de emergencias. El autor señala que el flujo de pacientes es particularmente importante para los centros porque al moverse entre un departamento y otro se requiere coordinación, de otra manera las demoras entre las interfaces pueden ser significativas. Por último el nivel departamento representa una unidad dentro de un centro más grande enfocado a la realización de una sola función o grupo de funciones relacionadas. Por ejemplo el departamento de emergencias, cirugía, radiología o análisis clínico.

En el 2006 Jacobson et al. [65] presentaron una revisión de los trabajos sobre aplicaciones de SED en el sector salud en los últimos 40 años, específicamente de 1967 a 2004.

En el 2006 Taylor y Robinson en el 2006 [66] presentan los resultados de una encuesta sobre el futuro de la simulación en cuatro áreas: tecnología de la simulación, experimentación y análisis de la simulación, aplicaciones de la simulación y práctica de la simulación. Dentro de los puntos más interesantes se encontró: habilidad para modelar la actuación del humano, más estudios sobre el diseño conceptual, software de simulación de dominio específico en el área del sector salud utilizado por personas del área, ligas a otras aplicaciones de software y resultados procesados dentro de formatos más simples de leer en vez de listas largas. Los autores comentan que el campo de la simulación de eventos discretos comenzó en 1957 con la creación del programa de simulación general de Tocher y Owen [45].

Para la colección de datos del modelo de simulación en el caso de estudio de Ruohonen et al. en el 2006 [67], se observó a los pacientes durante dos semanas las 24 horas del día (aparte de información de una investigación previa). Los datos fueron registrados por la recepcionista y las enfermeras que atendían los pacientes. La hoja de datos se movía junto con la documentación médica del paciente a lo largo de las salas. Con su modelo pudieron probar los beneficios significativos de utilizar el método “Equipo-Triage”, en el cual el paciente es visto por una recepcionista, enfermera y médico antes de ser admitido a emergencias.

Seila en el 2006 [68] presenta ejemplos de la utilización de simulación con hojas de cálculo.

White en el 2005 [69] presenta una revisión interesante de aplicaciones de la simulación en el flujo de paciente. Uno de los casos interesantes fue la utilización de la simulación para determinar en cuanto pueden incrementarse los arribos sin incrementar a un nivel especificado los tiempos de espera.

Azadeh et al. en el 2005 [58] utilizaron ANOVA para validar algunos indicadores de desempeño entre el sistema real y el modelo.

Gallivan en el 2005 [71] señaló que la mayoría de los investigadores se enfocan en modelos de simulación desconectándose de modelos matemáticos, los cuales también pueden ser utilizados en la implementación de soluciones en hospitales.

Blake en el 2005 [72] presentó un listado de las aplicaciones del enfoque de la simulación, siendo estas: evaluación de políticas para la admisión a un hospital, planeación de citas de

consulta, planeación de la capacidad, planeación de camas, flujo del paciente y administración de listas de espera. Comentó que modelar el flujo del paciente es considerado un enfoque poderoso para evaluar la respuesta probable de un sistema de salud a los cambios en la organización, administración y políticas.

Costa en el 2003 [73] en su modelo de simulación para calcular el número de camas de cuidado intensivo, a los casos planeados, se les asignaba la misma prioridad que los de emergencia si la cirugía había sido cancelada tres veces. Utilizó el árbol de clasificación y regresión para agrupar pacientes, este árbol va dividiendo el grupo de pacientes en base a la variación de los datos con respecto a una variable, por ejemplo el tiempo de estancia total. Una vez que se forman los grupos, se ajustan a distribuciones de probabilidad.

Harper en el 2002 [74] propone un marco de referencia genérico para modelar los recursos de un hospital. La propuesta incluye la clasificación de pacientes a través de la técnica del árbol de regresión y clasificación, lo cual el autor considera es la diferencia con respecto a otros intentos de producir herramientas de administración y planeación de la capacidad de manera práctica. El autor comenta que la efectividad del marco de referencia se mostró en el desarrollo y uso de una herramienta de capacidad del hospital. Cabe señalar que la herramienta es utilizada directamente por el personal como apoyo para la toma de decisiones e incluso incluye el ajuste de datos a distribuciones de probabilidad. El programa utilizado fue Delphi con una interface de Windows. El programa utiliza la utilidad “Borland Database Engine” la cual permite tener acceso comúnmente a las bases de datos utilizadas en hospitales.

Eldabi et al. en el 2002 [75] propuso un nuevo enfoque para modelar sistemas de salud llamado MAPIU por las siglas en inglés de Modelling Approach that is Participatory Iterative for Understanding (Enfoque de modelación iterativo y participativo para el entendimiento). El objetivo principal de este enfoque es mejorar el entendimiento del sistema de las personas involucradas del sector salud y mejorar la comunicación interpersonal.

Vasilakis y E. El-Darzi en el 2001 [76] analizaron la crisis de cama en invierno en un hospital del Reino Unido con un modelo SED. El modelo se corrió con una sola corrida larga de 20000 días, utilizando el método de media de lotes para obtener los resultados promedios. Concluyeron que la crisis de camas no es tanto por el incremento de enfermos en esa época

sino más bien porque no se hacen las altas de los pacientes debido a que el personal se reduce en las vacaciones decembrinas.

Jun et al. en 1999 [77] presentó una encuesta en el campo de aplicación de simulación de eventos discretos en el cuidado de la salud de 1979 a 1999. Los autores dividen los artículos en dos secciones: flujo de pacientes y asignación de recursos.

Karnon y Brown en 1998 [78] compararon los árboles de decisión, cadenas de Markov y SED en la evaluación económica de tecnologías del cuidado de la salud. Comentan que los árboles de decisión es el método más simple y es apropiado para modelar periodos de tiempo corto, mientras que las cadenas de Markov son recomendables en periodos de modelación largos en tiempo continuo. Por otro lado SED no tiene la limitación de las cadenas de Markov donde los cambios únicamente ocurren en estados, SED es muy flexible pero requiere más tiempo de desarrollo. Las dos primeras técnicas son las más utilizadas a la fecha pero introducen SED como una técnica de modelación alternativa en el contexto de evaluación económica. Comentan que las ventajas principales de SED es que permite modelar sistemas más complejos y dinámicos, permite experimentación y capturar más detalles sobre la incertidumbre del sistema modelado. Los autores presentan como ejemplo ilustrativo la aplicación de las tres técnicas en la evaluación económica de terapias de cáncer de seno.

Davies y Davies en 1995 [79] discutieron la idoneidad de la simulación de eventos discretos para la modelación de sistemas de salud. Ellos listaron las ventajas de la simulación de eventos discretos sobre modelos estocásticos y determinísticos, especialmente en el sector salud.

Lagergreen en 1995 [80] distinguió las áreas de aplicaciones de modelación en el sector salud, siendo éstas:

- a) Epidemiología, promoción de la salud y prevención de enfermedades. Ejemplos: predicción de incidencia, prevalencia y mortalidad de enfermedades específicas y evaluación de estrategias o programas de control de enfermedades.
- b) Diseño de sistemas de salud y del cuidado de salud. Ejemplos: estimar necesidades de recursos futuros, planeación de la capacidad de hospitales y diseño de servicios de emergencia.

- c) Operación de sistemas de salud y del cuidado de salud. Ejemplos: sistemas de cita, listas de espera y tiempos de espera, planeación del personal, predicción de demanda a corto plazo y evaluación de tecnología médica.

Royston en 1995 [81] clasificó las aplicaciones de modelación en la administración del sector salud en:

- a) Pronosticar la demanda de servicios de salud.
- b) Asegurar los recursos requeridos del sector salud para cubrir esa demanda.
- c) Asignar los recursos a los proveedores de salud.
- d) Desarrollar programas y planes de la forma en que los recursos serán utilizados al proveer los servicios de salud.
- e) Desarrollar criterios (estándares, metas) para el desempeño de la provisión de los servicios de salud.
- f) Evaluar los resultados de la provisión de los servicios de salud.
- g) Davies y Davies en 1994 [82] y Stafford en 1978 [83] comparan SED a varias técnicas matemáticas como análisis de cadenas de Markov, análisis de cadenas semi-Markov, análisis de entradas-salidas y análisis de colas. Encontraron que SED se ajusta bien para modelar sistemas de salud debido a la complejidad del sistema mientras que muchas técnicas de optimización, como programación lineal, tienen una limitada capacidad para caracterizar las complejidades de sistemas médicos. Una técnica de optimización puede requerir muchas suposiciones irreales sobre el proceso, resultando en soluciones inválidas e irreales. Por ejemplo modelos de optimización no pueden ser usados para estudiar los detalles de las operaciones diarias de una clínica médica, como programación de citas, rutas y prioridades de servicio, las cuales pueden ser fácilmente capturadas por un modelo SED. Por otro lado los modelos de optimización requieren únicamente una corrida experimental para producir soluciones óptimas o casi óptimas mientras que los modelos de simulación requieren una gran cantidad de esfuerzo en tiempo, costo y colección de datos. Por todas estas razones, investigadores han intentado combinar simulación con técnicas de investigación de operaciones

determinísticas, como programación lineal, para explotar simultáneamente las ventajas de utilizar ambas técnicas.

Law en 1991 [84] señaló que el aspecto más difícil en proyectos de simulación es determinar el nivel apropiado del detalle del modelo.

Mahachek y Knabe en 1984 [85] analizaron a través de la simulación el flujo de pacientes en los departamentos de obstetricia y ginecología, para evaluar el plan de combinar estas dos clínicas. Los resultados prueban que la operación combinada de las clínicas no fue factible con la configuración actual.

2.5 Simulación de Eventos Discretos y Diseño de Experimentos

En esta sección se presentan aportaciones sobresalientes de la utilización de diseño de experimentos en modelos de simulación de eventos discretos.

Shen y Wan en el 2009 [86] proponen utilizar diseños factoriales secuenciales para eliminar factores sin importancia al desarrollar modelos de simulación de eventos discretos. Con esto el modelo de simulación será más compacto y completo en menos tiempo. Comentan que muchas metodologías de exploración han sido desarrolladas para identificar factores importantes con un número económico de observaciones. Las técnicas más comunes son: factorial fraccional, compuesto central y diseños Placket-Burman. Sin embargo estos experimentos fueron diseñados para experimentos físicos donde típicamente se involucran menos de 25 factores y no toman ventaja de la propiedad secuencial de la simulación de experimentos. Los procedimientos desarrollados para experimentos de simulación estocásticas incluyen diseños de un factor a la vez, métodos basado en análisis de dominio de frecuencias, diseños de borde (“edge design”), diseños factoriales fraccionales interaccionados y el procedimiento de exploración Trocine. Desafortunadamente estos métodos de análisis típicamente asumen varianzas iguales a lo largo de configuraciones de factores diferentes – una ocurrencia rara para simulaciones en sistemas complejos, ni tampoco estos diseños para simulaciones estocásticas dan el control de error deseado. Los autores proponen el método de Bifurcación Secuencial Controlada (BSC) para resolver las diferencias anteriores. Este método

es una serie de pasos en los cuales los factores son probados. Si un grupo de factores es considerado sin importancia, entonces cada factor en el grupo será considerado sin importancia. Si el grupo es considerado importante, entonces el grupo se bifurcarán para pruebas adicionales. Cada factor eventualmente será clasificado como importante o sin importancia. El control del error se logra a través de la prueba estadística utilizada en cada paso.

Susan M. Sanchez en el 2007 [87] comenta su trabajo de la aplicación de diseño de experimentos en la simulación. Comenta que antes de llevar a cabo un experimento de simulación, es útil pensar porqué el experimento es necesario. Por ejemplo analistas de simulación y sus clientes podrían buscar i) desarrollar un entendimiento básico de un modelo de simulación particular, ii) encontrar decisiones robustas o políticas, o iii) comparar los meritos de varias decisiones o políticas. La meta influirá la forma en que el estudio sea conducido. Añade que otro problema que puede surgir es cuando el modelador empieza con un escenario base y varía un factor a la vez. Al variar un factor a la vez cuando hay interacción entre ellos, no mostrará que alguno de los factores es importante por eso exhorta a la aplicación de diseño de experimentos en proyectos de simulación.

Jack P.C. Kleijnen en el 2007 [88], al igual que Susan M. Sanchez, resalta la importancia de llevar a cabo el diseño de experimentos y no mover un factor a la vez en su tutorial de la WSC Modelos de regresión y diseño de experimentos: un tutorial para analistas de simulación “Regression models and experimental designs: a tutorial for simulation analysts”. Comenta que el diseño y análisis de experimentos de simulación es necesario para mejorar la eficiencia y efectividad de la simulación.

Kumar y Nottestad en el 2006 [89] utilizaron simulación y diseño de experimentos para diseñar una línea de producción en base a su capacidad. El diseño utilizado fue un factorial 2^k para seleccionar que factores son importantes en el experimento.

Sanchez et al. en el 2006 [90] recomiendan y describen la utilización del método denominado experimentación de dominio de frecuencias, para el caso en que existen muchos factores a analizar en el sistema bajo estudio.

Kleijnen en el 2005 [91] presenta una revisión del diseño de experimentos clásico y moderno. Los diseños clásicos involucran pocos factores (diseños factoriales o fraccionales) mientras que los modernos pueden manejar muchos factores (más de 100) como los modelos Kringing. No discute los diseños óptimos porque los considera demasiado irrealistas porque estos métodos incluyen suposiciones no reales como el ruido blanco. Tampoco consideró los métodos de Taguchi, comenta que considera importante sus conceptos pero no sus métodos estadísticos. También Kleijnen et al. en el 2005 [92] describen los diferentes diseños de experimentos a utilizarse en simulación. Presenta una tabla interesante en donde clasifica los diseños en base al número de factores y la complejidad de la superficie de respuesta.

Swisher y Jacobson en el 2002 [93] utilizaron simulación y diseño de experimentos para evaluar el diseño de una clínica práctica familiar. Los autores presentan un indicador del desempeño multi-atributo referido como medida de efectividad de la clínica. El peso de cada uno de los atributos puede ser modificado para adaptarse a las preferencias de una clínica particular.

Ingalls en el 2001[94] comenta que se deben de correr al menos 30 réplicas para obtener resultados confiables de un modelo de simulación.

2.6 Métodos para la determinación del número de camas

En esta sección se presentan diferentes enfoques utilizados para determinar el número de camas en hospitales.

De Bruin et al. en el 2007 [95] utilizaron teoría de colas para determinar el número de camas para pacientes cardiacos en el área de emergencias. Una de sus conclusiones es que hospitales grandes pueden operar a niveles de ocupación más altos que los pequeños obteniendo el mismo porcentaje de pacientes rechazados. Por lo tanto, una razón de ocupación meta para todos los hospitales es irrealista. La meta de ocupación de 85% es solamente alcanzable por hospitales con más de 50 camas, asumiendo que el porcentaje de rechazo de 5% es aceptable. Si se considera el valor meta de ocupación del 85% para un hospital chico con 6 camas, casi la mitad de los pacientes que arriban serán bloqueados.

Cochran en el 2006 [96] desarrolló una metodología estocástica para la asignación de camas de un hospital con el propósito de balancear la utilización de las camas con los beneficios asociados de reducir la espera, reducir el bloqueo de pacientes, reducir la asignación pobre de camas y reducir comportamientos de sobre flujo en emergencias. Su enfoque consiste en utilizar redes de colas para balancear las colas y eliminar los cuellos de botella. Después, propone utilizar la simulación de eventos discretos para modelar detalles que las redes de colas no soportan. Utilizó Arena como software de modelación. En su modelo, Cochran utilizó el método del promedio móvil, descrito por Banks en el 2000 [97], para determinar el tiempo de “warm-up”. Los resultados del modelo los validó con respecto a un reporte censado. Cochran enuncia que al suavizar la demanda, no solo se suaviza la asignación de camas, sino que también ayuda a una mejor administración de las capacidades de las camas. Cochran también menciona que la simulación de eventos discretos ha sido la técnica de investigación de operaciones más utilizada en el sector salud.

Nguyen et al. en el 2005 (82) proponen un método que lo consideran que es tan simple para usar como el método de ratios pero que a diferencia de los métodos de ratios su método considera la variabilidad de la demanda de hospitalización sobre el tiempo. Su propuesta consiste en construir una puntuación basada en tres parámetros: 1) número de transferencias debida a la falta de espacio, número de días con no posibilidades de tener admisiones no programadas y 3) número de días con al menos un umbral de camas desocupadas. Desarrollaron un software con su método. Presentan que los enfoques para determinar el número de camas son método de ratios, simulaciones estocásticas donde el número de camas está determinada por una probabilidad crítica, modelos de simulación que describen la utilización de recursos, y modelos de flujo de pacientes a lo largo del hospital utilizando modelos de estado múltiple o muti compartimentos. Estos dos últimos consideran que tienen la desventaja de que requieren una gran cantidad de datos y logística, además requieren de la opinión de un experto para obtener el resultado y no es una decisión objetiva o un criterio de decisión reproducible. Comentan que con la finalidad de evitar las complicaciones anteriores las autoridades médicas prefieren los métodos de ratios por su simplicidad.

Mackay y Lee en el 2005 [98] presentan una revisión de las diferentes herramientas para el análisis y pronóstico de camas.

Akkerman y Knip en el 2004 [99] combinaron la utilización de SED con la teoría de cadenas de Markov para determinar el número de camas en las salas de cirugía cardíaca.

Utlei et al. en el 2003 [100] utilizan un modelo matemático para determinar el número de camas para pacientes que no requieren cuidados intensivos.

Green en el 2002 [101] comenta que tradicionalmente el cálculo para determinar el número de camas se ha hecho basado en los niveles de ocupación de camas, siendo el nivel de ocupación más utilizado el de 85%. Estos niveles de ocupación fueron desarrollados en los 70s por McClure [102]. Por otro lado debido a que los pacientes de obstetricia son considerados de emergencia, el Colegio Americano de Obstetricia y Ginecología de Estados Unidos recomendó niveles de ocupación del 75% para las unidades de maternidad [103]. Green recomienda utilizar el indicador de demoras por cama y no niveles de ocupación. Considera que la demora por cama es una medida más apropiada de capacidad. Green en el 2005 [104] comenta el trabajo de Schneider en 1981 [105] quien sugiere que la probabilidad de demora por cama en obstetricia no debe exceder el 1%. Green señala que es sabido que los sistemas de servicio grandes pueden operar en niveles de utilización más altos que los pequeños y obteniendo los mismos niveles de demoras.

Harper y Shahani en el 2002 [106] desarrollaron un modelo de simulación programado con Delphi para determinar el número de camas. El modelo resalta la utilización de razones de ocupación de camas y de rechazos de admisión. Demuestran que el uso de métodos simples determinísticos con hojas de cálculo no provee respuestas apropiadas sobre el número de camas. Comentan que para este problema se ha utilizado teoría de colas, programación entera, pronósticos y simulación.

Mackay en el 2001 [107] describe la aplicación del modelo de flujo de Harrison y Millard denominado también BOMPS y el modelo de camas multi-fases de Sorensen a aspectos de un hospital público en el sur de Australia. Estos modelos son métodos de modelación cuantitativa diseñados para asistir a administradores en la administración de camas de hospitales.

Lapierre en 1999 [108] utilizó series de tiempo para el problema de camas. Comenta que la mayoría de los trabajos sobre la planeación de camas han utilizado un enfoque de simulación. Resalta el trabajo de Kao y Tung en 1981 [109] los cuales utilizaron una combinación de

simulación, teoría de colas y análisis estadístico para determinar requerimientos de camas y el trabajo de Romanin-Jacur y Facchin en 1987 [110], al utilizar varias razones de arribo durante el día y diferentes distribuciones de arribos dentro de grupos de pacientes diferentes.

Bagust et al. en 1999 [111] identificaron las implicaciones de las demandas fluctuosas e impredecibles para las admisiones a emergencias en la administración de la capacidad de camas del hospital. Los resultados del modelo de simulación muestran que un hospital puede tener faltantes regulares si la ocupación de camas promedio se eleva a 90% o más.

Smith-Daniels et al. en 1998 [112] resaltan el trabajo de Young de 1962 [113] donde compara los resultados de un modelo de simulación con los de teoría de colas y obteniendo resultados significativamente diferentes. Lo anterior debido a la suposición en la teoría de colas de que las llegadas tienen la misma probabilidad a lo largo del día por lo que se concluyó que una limitante en el enfoque de teoría de colas es la suposición de que los arribos tienen una distribución Poisson.

El-Darzi et al. en 1998 [114] utilizaron SED para modelar el flujo de pacientes en un hospital geriátrico y con esto asignar el número de camas en cada sala. El modelo pronostica el tiempo de estancia y el número de pacientes promedio en cada sala.

Huang en 1998 [115] utilizó simulación y programación no lineal para asignar el número de camas entre las salas de un hospital.

Altinel y Ulas en 1996 [116] crearon un modelo de simulación utilizando Slam II para la planeación de camas. Utilizaron una razón de arribos promedio, el método de promedios móviles para determinar el warm-up y probaron varios escenarios.

George en 1988 [117] concluye que proveer camas de acuerdo a la demanda promedio puede crear faltantes de camas la mayor parte del año.

Wright en 1987 [118] describe el desarrollo de un modelo de simulación para camas de cirugía. Dentro del proceso incluye una sección para suposiciones y aproximaciones. La simulación se hace por un año. Por otro lado resalta el trabajo de Davies en 1985 [119] quien dividió los modelos de investigación de operaciones de hospitales en 4 grupos principales:

modelos Markov, modelos semi-Markov, simulaciones sincrónicas y simulación de eventos discretos.

Vassilacopoulos en 1985 [120] presenta un modelo de simulación para la asignación de camas. Para su modelo, registro datos durante más de 26 semanas, utilizó una distribución Poisson para los arribos (arribos semanalmente), probó la tendencia lineal de los arribos utilizando una estadística U, utilizó el estadístico de prueba Kolmogorov-Smirnov para dos muestras para probar que el tiempo de estancia total para pacientes de emergencia y de no emergencia es la misma, utilizó Fortran como lenguaje de programación y 3 réplicas fueron utilizadas con 3 años de duración.

2.7 Métodos para la determinación de salas y personal en hospitales

En esta sección se presentan trabajos para la determinación de salas de quirófanos y personal ya sea enfermeras o médicos en hospitales.

González-Torres et al. en el 2002 [103] desarrollaron un modelo para determinar el número mínimo de enfermeras requeridas de tal forma que se puedan llevar a cabo todas las funciones correspondientes. Como resultado final presentaron una eficiente metodología de planeación de la capacidad para las enfermeras de un hospital.

Carter y Lapierre en el 2001 [122], desarrollaron un modelo de simulación para determinar el número de personal y cambio de turnos óptimos.

Beaulieu et al. en el 2000 [123] utilizaron programación entera multi-objetivos en hojas de cálculo para programar médicos en el área de emergencias. Comentan que el número de trabajos en la literatura enfocados a la programación de médicos es menor que el enfocado a enfermeras porque el primero tiene muchas más restricciones.

Lowery y Davis en 1999 [124] desarrollaron un modelo de simulación en Medmodel para determinar el número apropiado de salas de cirugía. Utilizaron el método de prueba y error

para encontrar una respuesta. Para la validación se utilizó el porcentaje de diferencia e intervalos de confianza, aunque el intervalo de confianza no incluyó el valor actual.

2.8 Aplicación de teoría de colas en problemas del sector salud

En esta sección se presentan trabajos y enfoques donde se utilizó teoría de colas en diferentes problemas del sector salud.

Gross and Harris en el 2009 [125] utilizan modelo de colas para estimar demoras.

Jiang y Gianchetti en el 2008 [126] comentan que hay tres metodologías comúnmente utilizadas para analizar los procesos del sector salud, estas son: 1) Simulación, 2) Herramientas de diagramas de flujo y 3) Modelos de colas. Los autores utilizan un modelo de colas de redes para evaluar el impacto de actividades simultáneas en el tiempo de pacientes.

Koizumi et al. en el 2005 [127] utilizaron redes de colas con bloqueo para modelar el flujo de pacientes en una institución de salud mental. Bloqueo se refiere a las situaciones donde los pacientes tienen que regresarse a su locación original porque la locación transferida no tiene recurso disponible.

Green en el 2002 [128] utiliza un modelo M/M/s para determinar el número de camas en una unidad de obstetricia en Boston. Comenta que es un modelo fácil de utilizar y que las suposiciones son aceptables.

Preater en el 2002 [129] hace referencia a más de 150 artículos en aplicaciones de teoría de colas en el cuidado de la salud y medicina.

Gorunescu et al. en el 2002 [110] utilizaron un modelo de colas junto con modelos compartimentales para la asignación de camas en el área de geriatría.

2.9 Metodologías para el diseño de hospitales

En esta sección se presentan diferentes metodologías o enfoques encontrados en la literatura para el diseño de hospitales.

Villa et al. en el 2009 [131] presentaron un marco de referencia de las tendencias emergentes en el rediseño de hospitales conducidos por la logística del flujo de pacientes. Estas nuevas tendencias están centradas en los pacientes y no en los médicos. Las acciones más destacadas que los hospitales modernos han aplicado en sus organizaciones son:

- Agrupamiento de unidades. Las unidades o especialidades deben ser agrupadas entre departamentos de acuerdo a los requerimientos de cuidado y las oportunidades presentadas por las economías de escala.
- Equipos de cuidado multidisciplinarios. Un enfoque centrado en el cuidado de pacientes requiere una curación y cuidados integrados por equipos multidisciplinarios y multi-profesionales.
- Compartición de recursos. Camas, quirófanos, equipo, personal de enfermería y otro tipo de personal asignado a los departamentos son compartidos por todas las especialidades o unidades agrupadas.
- Agrupamiento de pacientes. Salas compartidas son moldeadas de acuerdo a la duración de la estancia de pacientes o las necesidades de pacientes. En el primer caso las salas de multi-especialidades son creadas para pacientes con la misma duración de estancia como cirugía de un día, estancia corta, semana, estancia larga con bajos cuidados, cuidados sub-intensivos, cuidados intensivos y emergencias. En el segundo caso, por ejemplo se agrupan los pacientes que requieren un nivel más alto de asistencia de la enfermera o requiere asistencia de respiratorios, o pacientes con terapias complicadas como oncología, pacientes con diálisis o pacientes que requieren varios estudios de diagnostico.
- Rediseñar el ambiente físico. La agrupación de unidades y pacientes y compartición de recursos requiere rediseñar el ambiente físico para lograr las acciones anteriores.

Ashby et al. en el 2008 [132] utilizaron SED para diseñar un hospital con el objetivo de optimizar el flujo de pacientes. Vos et al. [133] también presentan un enfoque para la

planeación y diseño de hospitales utilizando SED. Gibson y Lend [134] presentan un enfoque para evaluar el diseño de hospitales utilizando simulación.

Vos et al. en el 2007 [135] presenta un enfoque para evaluar el diseño de hospitales desde una perspectiva de administración de operaciones. Su enfoque se basa en SED y consiste en 5 pasos los cuales son:

- 1) Distinguir los segmentos de la distribución del piso.
- 2) Determinar el flujo de las personas y materiales.
- 3) Diseñar experimentos. El diseño experimental consiste en indicar rangos de cambios de intensidad de flujo y dirección (resultado de cambios de logística), y en cambios o incrementos de intensidad del flujo (resultados de cambios de la mezcla de pacientes y nuevas tecnologías).
- 4) Implementar el modelo. Se refiere a evaluar el número de personas y materiales las cuales están presentes en el mismo lugar, al mismo tiempo en diferentes escenarios experimentales.
- 5) Correr el modelo de simulación, experimentar y analizar los resultados.

Los autores comentan que el tiempo de transporte en cada segmento lo determinan basándose en la velocidad caminando y en las dimensiones de cada segmento. La velocidad caminando puede ser estimada en 85 m/min presentada por Abernethy et al. [136]. Su enfoque lo aplican en un caso de estudio.

2.10 Integración de dinámica de Sistemas con simulación de eventos discretos

Chahal y Eldabi en el 2008 [137] proponen el uso híbrido de la simulación de eventos discretos (SED) con Dinámica de Sistemas (DS) de tres maneras posibles en el sector salud: formato jerárquico, formato del ambiente del proceso y el formato integrado. Establecen que SED permite simular los detalles (nivel micro) pero DS permite la simulación de estructuras y estrategias (nivel macro). Proponen que la simulación híbrida permite la toma de decisiones efectiva en el sector salud porque aumenta las capacidades de cada técnica y mitiga las

limitaciones al compartir información. DS está basada en la filosofía que el comportamiento del sistema sobre el tiempo está determinado por su estructura. Esta técnica fue desarrollada por Jay Forrester [138, 139] en su trabajo sobre dinámica industrial en los 1960's. Modelos DS intentan reproducir la estructura causal del problema, identificando componentes y ciclos de retroalimentación que son la causa del comportamiento dinámico observado en el sistema. Los modelos DS, a diferencia de los SED no proveen resultados detallados a nivel individual, sino proveen una impresión de la tendencias dinámicas resultantes de la estructura del sistema esto permite estudiar las interrelaciones entre los componentes del sistema. Los autores comentan que los sistemas del sector salud son considerados sistemas adaptativos complejos. La complejidad de los sistemas de salud se debe tanto a los detalles como su complejidad dinámica. Aunque los modelos SED detallan complejidad, no son muy apropiados para modelar la complejidad dinámica. Estos modelos carecen de una visión global, la cual representa la interacción dinámica entre los componentes del sistema. La mayoría de los estudios SED están limitados a un solo departamento o secciones. Debido a que muchos aspectos y procesos en el sector salud cruzan todos los departamentos, la toma de decisiones para un solo departamento resulta en un balance pobre de los recursos a lo largo del sistema de salud global. Los pocos intentos para hacer modelos SED de sistemas completos han estado propensos a criticismo ya sea por ser demasiado simples para representar el sistema real o demasiado complicados y rígidos para su entendimiento y flexibilidad.

Brailsford en el 2008 [140] también analiza los modelos DS en el sector salud. Menciona que los modelos SED requieren más datos que los DS y por lo tanto los modelos DS se realizan en menor tiempo. La autora comenta que tradicionalmente las comunidades académicas de SED y DS se habían mantenido separadas pero en el 2000, un grupo de simulación de la Sociedad de Investigación de Operaciones "OR Society" del Reino Unido tuvo una junta con el Capítulo del Reino Unido de la Sociedad de DS. Esta junta llevó a la formación del grupo SD+ cuyo objetivo era juntar ambas comunidades. También a partir de esta junta se empezaron a generar artículos que exploran las diferencias entre SED y DS. Brailsford en el 2007 [61] comenta que los retos futuros en simulación son la implementación, modelos genéricos y la integración de técnicas de simulación SED con DS. Añade que la simulación es uno de los enfoques de investigación de operaciones comúnmente utilizado en el sector salud, y es considerado por muchos como la técnica preferida. Las razones principales de lo anterior son 1) sistemas de

salud están caracterizados por incertidumbre y variabilidad, requiriendo un enfoque estocástico, 2) las organizaciones de salud pueden ser extremadamente complejas y por lo tanto requieren un enfoque de modelación capaz de tratar efectivamente con complejidad, 3) el rol que juegan los seres humanos en los sistemas de salud requieren un enfoque el cual permita la interacción y comunicación entre el modelador y el usuario o cliente. Brailford también presenta las ventajas y desventajas de utilizar SED y DS y clasifica los modelos de simulación en 3 niveles: 1) modelos del cuerpo humano, 2) modelos operacionales y 3) modelos estratégicos.

Rohleder et al. en el 2007 [141] en un caso de estudio donde diseñaron centros de colección de muestras utilizando SED a los 18 meses de implementar los cambios el flujo ya estaba saturado por lo que consideran que si hubieran utilizado DS hubieran podido visualizar el incremento en la demanda y de esta manera considerarlo en su modelo.

Brailsford et al. en el 2004 [142] y Taylor y Dangerfield en el 2005 [143] presentaron casos donde aplican DS en el sector salud. Brailsford et al. [142] no recomiendan utilizar modelos SED que involucren más de 100,000 pacientes porque aún con la tecnología actual, requieren mucha memoria y son muy lentos al tratar de ejecutarlos. En esos casos recomiendan utilizar dinámica de sistemas donde considera a los pacientes como un flujo y no como entidades individuales. Señalan que el número de aplicaciones de DS en el sector salud son muy pocas comparadas con la vasta aplicación de SED. En el caso de aplicación resaltan que su enfoque de realizar entrevistas a los propietarios de los procesos y generar un mapa del sistema conceptual puede ser aplicado en otros casos de estudio.

Lane et al. en el 2003 [144] se enfocan en el involucramiento del cliente al crear su modelo de simulación de dinámica de sistemas.

Flessa en 1999 [119] utilizó dinámica de sistemas para modelar la epidemia de malaria y evaluar los programas de control.

2.11 Modelación basada en agentes utilizada en el sector salud

En esta sección se presentan trabajos de investigación del enfoque de modelación basada en agentes aplicado en el sector salud. Este enfoque de modelación permite que los componentes del modelo puedan aprender de su ambiente y cambiar su comportamiento en base a sus experiencias.

Macal y North en el 2007 [146] trabajan en la Modelación y Simulación Basada en Agentes (ABMS, Agent Based Modeling and Simulation). ABMS es un nuevo enfoque para modelar sistemas compuestos de agentes autónomos relacionados. Las aplicaciones abarcan desde la modelación del comportamiento de agentes en la bolsa de valores, cadena de proveedores, mercados de consumidores a predecir la propagación de epidemias, la amenaza de una guerra biológica y los factores responsables de la caída de una civilización antigua. Un agente puede ser considerado como cualquier tipo de componente independiente (software, modelo, individuo, etc). La etiqueta de agente está reservada para componentes que pueden en algún sentido aprender de su ambiente y cambiar su comportamiento en respuesta a sus experiencias. Los autores comentan que según Casti [147], los agentes deben contener reglas de nivel base para el comportamiento así como un set de reglas de nivel avanzado para cambiar las reglas. ABMS tiene fuertes raíces en los campos de sistemas multi agentes y robótica del campo de Inteligencia Artificial. Pero ABMS no solamente se refiere a diseñar y entender agentes artificiales. Su principal raíz es la modelación del comportamiento social humano y organizacional y la toma de decisiones individual. Con esto, viene la necesidad de representar la interacción social, colaboración, comportamiento del grupo y el surgimiento de estructuras sociales de orden avanzado. En base a los autores la necesidad de ABMS se debe a que: 1) los sistemas que se necesitan analizar y modelar son más complejos en términos de sus interdependencias. 2) Otros sistemas siempre han sido demasiado complejos para modelarlos adecuadamente. Se consideraban suposiciones para que los problemas fueran analíticamente y computacionalmente rastreables. Ahora algunas de las suposiciones se empiezan a eliminar para tomar una vista más realista de estos sistemas. 3) Los datos están siendo más organizados dentro de bases de datos a niveles de granularidad más finos. Micro-datos ahora puede soportar micro-simulaciones. 4) La potencia computacional está avanzando rápidamente.

Ahora se pueden computar modelos de micro-simulación a gran escala que no hubieran sido convincentes hace un par de años.

2.12 Modelos matemáticos aplicados para resolver problemas de flujo

Se identifica una línea como modelos matemáticos aplicados para resolver problemas de flujo, no obstante como no era el interés del enfoque de esta investigación se limita esta sección a incluir una referencia de los muchas aplicaciones que se encuentran en la literatura.

Rohleder et al. en el 2005 [148] presentaron un enfoque de optimización matemática de programación de metas para mejorar el flujo del paciente mediante una planeación mejorada de bloques del servicio de cirugía. Para explorar la utilidad del modelo en un ambiente práctico compararon la planeación de bloques derivados del modelo con la práctica de planeación actual del Foothills Medical Centre en Alberta, Calgary. Utilizaron la modelación por computadora para proveer una comparación detallada.

2.13 Otros métodos aplicados

En esta sección se presentan trabajos de investigación que no encajan en ninguna de las secciones anteriores pero que son relevantes con respecto al tema de investigación.

Blank y Valdmanis en el 2010 [149] utilizaron la técnica Análisis Envolvente de Datos (DEA - Data Envelopment Analysis) para determinar los costos de los hospitales. DEA es una técnica de medida de la eficiencia basada en la programación lineal. Se trata de una técnica de programación matemática, surge con el objeto de conseguir una herramienta para medir la eficiencia por lo tanto se trata de una técnica especializada en medir la eficiencia de unidades productivas, o unidades de toma de decisión.

Coffey et al. en el 2005 [150] investigaron el uso de trayectorias críticas para minimizar demoras y utilización de recursos y maximizar la calidad del cuidado de la salud (mejora del

flujo). Ellos documentaron y mostraron como trayectorias críticas, desarrolladas a través del esfuerzo colaborativo de médicos, enfermeras, farmacéuticos y otros, ayudan a reducir la variación en el cuidado de la salud proveído, facilitan las salidas esperadas, reducen las demoras, reducen el tiempo de estancia y reducen los costos.

Cegłowski et al. en el 2005 [151] presentaron una revisión general de las oportunidades de ingeniería industrial en el área de emergencias en hospitales, entre estas oportunidades están: 1) modelos de planeación para determinar el número de personal, 2) simulación para identificar oportunidades para mejorar los procesos y 3) el control de producción en las operaciones del cuidado de la salud. Los autores mencionan que los sistemas de información del flujo de trabajo son ahora incorporados en la mayoría de los departamentos de emergencia para facilitar el flujo de pacientes y ayudar con la administración de registros. Tiempo y locación de datos es acumulado por cada paciente desde su arribo a la evaluación y asignación de cama, hasta el tratamiento y salida. Los autores utilizan métodos de mineado de datos (Data mining) para identificar grupos de pacientes.

Hanna y Sethuraman en el 2005 [152] comentan que las herramientas básicas de de investigación de operaciones son los tópicos de flujo de procesos y administración de capacidad, diseño de procesos y distribución física, selección y administración de la tecnología, administración de la calidad, manufactura esbelta, administración de la cadena de proveedores y estrategia de operaciones. Estos conocimientos ya se han difundido y aplicado en el sector salud pero todavía hay muchas áreas de oportunidad.

Carter en el 2002 [153] describe algunas herramientas aplicadas en hospitales, tres de ellas son las siguientes: 1) Simulación. En el sector salud, menciona que el problema es la dificultad para coleccionar los datos. No se puede andar siguiendo a los pacientes con un cronometro. Por otro lado el ambiente en el sector salud es de multitareas; médicos y enfermeras atienden diferentes pacientes al mismo tiempo y es un reto determinar como modelar sus tiempos. 2) Programación por Metas y Programación Lineal. Programación lineal se ha estado utilizando en diversas aplicaciones como asignación de personal, distribución del presupuesto y administración de mezcla de casos (decidir qué tipo de procedimientos tratar). Mezcla de casos realmente no es una aplicación realista debido a que la mezcla de casos es dictada por la población y el médico solo se preocupa por el cuidado del paciente. 3) Modelos de colas. Se

han utilizado para administrar las listas de espera y la asignación de camas en hospitales. Un aspecto interesante en las listas de espera, particularmente para el cuidado en casa o cuidado a largo plazo, es la naturaleza dinámica del problema: al incrementar las colas, el número de personas que se salen incrementa.

Mauil et al. en el 2002 [8] señalaron que se encuentra una gran cantidad de artículos en el uso de los métodos de simulación en el análisis y diseño de servicios de salud. Estos artículos abarcan desde la modelación matemática compleja a simulación de eventos discretos y sistemas dinámicos, abordando un amplio rango de aspectos, algunos de estos son:

- a) Aspectos de capacidad, especialmente los que se relacionan a capacidad de camas.
- b) Análisis específicos dentro de las unidades de cuidado intensivo.
- c) Distribución de medicinas y la práctica de la farmacia.
- d) Enfoque en análisis de costos.
- e) Simulaciones para determinar sistemas de información basadas en el flujo de trabajo.

El manual del Ingeniero Industrial de Salvendy en 2001 presenta 8 aplicaciones de la ingeniería industrial en el sector salud [154]. Estas son: 1) Mejora de métodos y simplificación del trabajo, 2) Análisis del personal, 3) Planeación (Scheduling), 3) Colas y simulación, 4) Análisis Estadístico, 5) Optimización, 6) Mejora de la calidad y 7) Sistemas de información / Sistemas de soporte para la toma de decisiones (Decision support systems).

Eisenstein y Bethea en 1999 [155] utilizaron gráficos de control para comparar costos al modificar la mezcla de pacientes.

Lapierre et al. en 1999 [156] buscan mejorar el desempeño de los quirófanos al empezar los procedimientos a tiempo. La clave de su trabajo fue el diseño de un indicador que describa el objetivo de interés. En su propuesta de análisis utilizaron el diagrama de pescado para identificar las causas de no empezar a tiempo pero no recomiendan utilizar el Pareto porque las causas son dependientes y algunas veces es mejor enfocarse en una causa que atacar la causa principal.

2.14 Identificación de retos y problemas en el sector salud

En esta sección se presentan los retos al realizar las mejoras y los problemas que se encuentran en el sector salud.

Brailsford en el 2005 [157] hizo notar el problema que en la literatura se encuentran muy pocos casos en donde se lleve a cabo la implementación de proyectos de simulación en el sector salud. Comenta que las dificultades en la implementación de proyectos de simulación en este sector no son nuevas ya que una encuesta en 1981 sobre proyectos de simulación en el sector salud encontró que de 200 artículos, únicamente 16 de ellos reportaron una implementación exitosa. Más recientemente, una revisión sistemática en el 2003 [47] de modelos de simulación en el sector salud se encontró que de 182 artículos publicados entre 1980 y 1999, solo muy pocos de ellos presentaban una implementación. Brailsford señaló que una de las barreras presentadas en la implementación de modelos de simulación de investigación de operaciones es la actitud del personal, el personal no quiere incorporar técnicas ampliamente utilizadas en manufactura porque no quieren sentir que son como máquinas. Otra barrera importante es que los directivos, desconocen las herramientas, ya que ellos no llevan clases de optimización en su carrera. También comenta que la academia y los hospitales tienen diferentes agendas. Mientras que los hospitales quieren tener una solución que funcione y de resultados, la academia quiere publicar una solución bastante compleja para ser aceptada en una revista arbitrada. De los artículos que presentan una implementación, Brailsford mencionó que los factores comunes son: al menos uno de los autores trabaja en la institución, se hizo en un corto tiempo, hubo financiamiento externo, y tenían una descripción detallada de la colección de datos. Brailsford consideró que los retos de investigación son:

- a) Desarrollar modelos verdaderamente genéricos aceptables a todos los usuarios, amigables, con rigor científico y validez.
- b) Identificar “bloques de construcción” o componentes básicos de todos los sistemas de flujos de pacientes, de manera que los usuarios puedan fácilmente modificar los modelos existentes y adaptarlos a su propio hospital.

- c) El tercer reto es para las instancias de salud, ya que tienen que vencer los aspectos culturales y la resistencia al cambio. Además de eso, se requiere que se implementen sistemas de colección de datos prácticos y robustos.

Harper en el 2005 [158] mencionó que el reto del modelador de investigación de operaciones es manejar y capturar adecuadamente los aspectos estocásticos entre los modelos desarrollados. Variabilidad e incertidumbre son características inherentes de la mayoría de los procesos en el cuidado de la salud. Trayectorias de los pacientes y tiempos de espera incluso entre los mismos procesos típicamente varían de paciente a paciente. Harper propuso la formación de grupos de pacientes y explora las técnicas más adecuadas para lograrlo.

Seila en el 2005 [159] presentó 7 puntos que tienen que tomarse en cuenta durante la modelación de un hospital, si estos puntos no son tomados en cuenta realmente llegan a ser un problema. Estos puntos son: 1) los administradores de instituciones de salud no están interesados en la metodología de modelación, solo les interesa obtener soluciones útiles para sus problemas de decisión, 2) los datos son un factor limitante, 3) el modelador debe de entender el sistema de salud, 4) aunque el sistema de salud se enfoca en el paciente, el modelo debe de enfocarse en los procesos de trabajo, 5) el modelo debe de incluir un componente financiero, 6) el modelo debe de ser construido rápidamente. Seila mencionó que para obtener el máximo beneficio del proceso de modelado, el modelo debe estar completamente implementado y utilizado por las personas que toman decisiones.

Hanna y Sethuraman en el 2005 [152] comentaron que los hospitales no parecen desarrollar estratégicamente sus competencias operacionales de una manera que se ajuste a su misión. La asignación de recursos en los hospitales tiende a ocurrir de una forma ad hoc sin pensar una segunda vez en las repercusiones. Los programas de mejora son percibidos como ejercicios de control de costos en vez de relacionarlos a mejorar la calidad del cuidado de la salud. Los proyectos raramente tienen la aceptación de los asociados, de forma particular no tienen fe ni apoyo de los médicos. Los resultados más significativos han sido logrados con esfuerzos liderados por un equipo representando todos los asociados. Se requiere investigación en como las estrategias funcionales interactúan una con otra. Sería valioso empíricamente investigar si resultados de actuación superior en hospitales, vinculan estrategias de operación a estrategias de negocios.

Carter y Blake en el 2005 [160] presentaron los retos de aplicar SED en el sector salud, estos son:

- a) Tiempos de ciclo del proyecto. Los proyectos de SED son muy extensos, comentan que elaborar un modelo piloto les tomó un año y concluir el proyecto cuatro años, para cuando lo terminaron las condiciones eran diferentes y las autoridades ya tenían otros intereses.
- b) Colección de datos. En base a su experiencia comentan que en el sector salud, nunca nadie ha tenido los datos correctos en la forma que lo ocupan. Los problemas que encontraron fueron los siguientes:
 - i. Dificultades en la obtención de los tiempos de ciclo de atención de pacientes de los médicos. Esto se debe a que un doctor puede atender simultáneamente 5 a 10 pacientes y al mismo tiempo proveer educación para estudiantes y residentes. En el caso de enfermeras comenta que si se tienen buenos modelos teóricos y prácticos de la carga de trabajo de enfermeras pero para médicos no existen estándares de su carga de trabajo.
 - ii. Falta de estándares en las operaciones. Cada quien hace la misma operación a su manera.
 - iii. Gran variabilidad en los tiempos de operaciones. Además de no contar con estándares, otra fuente de variación son las condiciones externas como por ejemplo cuando tienen muchos pacientes o son urgencias trabajan mucho más rápido que cuando no tienen prisa en hacerlo. Los autores optaron por limitar sus observaciones a solo cuando tienen mucha gente, que es cuando tienen muchos problemas.
 - iv. Datos faltantes. Comentan que es muy difícil coleccionar datos del flujo de pacientes de manera completa, en uno de sus casos de estudio entre 10 a 15% de los datos no los pudieron obtener.
 - v. Intimidad de los pacientes. Hay datos de operaciones que son difíciles de obtener porque son realizados a puerta cerrada.
 - vi. Operaciones simultáneas. En una sala ocurren varias operaciones simultáneas dificultando la obtención de datos.

- vii. Falta de confianza del personal. Aun cuando se le explica al personal el objetivo del estudio, el personal piensa que el estudio les afectará de alguna forma en su trabajo, como por ejemplo reducir costos, incrementarles el trabajo o reducción en personal. En otros casos no creen que se beneficiarán del estudio.
- c) Cada hospital es diferente. Comentan que en su experiencia es muy difícil construir modelos genéricos porque cada hospital tiene una combinación única de servicios, programas y peculiaridades.
- d) Personal. Muchos cambios que aparentan ser fáciles como el cambiar la programación de cirugías no resultan como tal debido a que el personal tiene ya su forma de trabajar. Debido a lo anterior muchas propuestas no son adoptadas por el personal o son muy difíciles de implementar.

Blake en 1996 [161] mencionó los siguientes puntos como retos y problemas para el sector salud:

- a) A pesar de la variedad de enfoques de investigación, poca investigación está disponible en la consideración de técnicas de modelación cuando la meta es evaluar el impacto en los cambios de la organización, administración y políticas en resultados de entrega del cuidado de la salud a la población.
- b) Se tiene el problema de medición y monitoreo de los tiempos de espera y qué hacer cuando estos son identificados.
- c) Las habilidades de especialistas requeridos para construir y desarrollar modelos en ambientes de simulación hace que los modelos de investigación de operaciones sean costosos, mientras que el tiempo requerido para obtener y analizar los datos suficientes para construir, probar y validar un modelo de simulación es posicionado como el paso limitante en la mayoría de los estudios. Se tiene que trabajar en hacer la modelación más rápida y más económica.
- d) Aun cuando la mayoría de los hospitales tienen procesos del cuidado de la salud similares, hay bastante variación en práctica clínica y administrativa de institución a institución que hace difícil crear un modelo de simulación genérico de un hospital o un sistema del cuidado de la salud. Aunado al punto anterior, Blake comenta que se deben

de hacer esfuerzos para hacer la modelación más rápida, más económica y más generalizable.

- e) Hace falta desarrollar una taxonomía comprensiva valida (por ejemplo la notación de Kendall-Lee para la teoría de colas), esto proveerá un marco de referencia para conceptualizar instancias del cuidado del paciente, acelerarían la modelación de procesos y harían los modelos más generalizados debido a que los resultados aplicarían a una clase de instituciones, en vez de un único hospital o sistema.
- f) Es importante que la comunidad de investigación de operaciones desarrolle un ambiente de modelación adecuado para simular el flujo de pacientes y abordar los aspectos de las listas de esperas. El ambiente no es simplemente re empaquetar los artículos de la simulación de manufactura existente en artículos de hospitales (ej. Máquinas como camas), más bien se refiere a la creación de un conjunto de construcciones de modelación elementales, basados en una taxonomía comprensiva con elementos y estándares de datos definidos, que puedan ser usados para construir modelos de simulación robustos, confiables y reutilizables.
- g) Una vez que el ambiente este establecido, la comunidad de investigación de operaciones puede conducir investigación elemental en los factores que afectan el flujo de pacientes. Esto ayudará a identificar los parámetros de control clave y descubrir correlación entre factores y por lo tanto establecer que factores, en qué circunstancias, son clave para administrar efectivamente y controlar el tiempo de espera.
- h) La comunidad de investigación de operaciones necesita asegurarse que el nuevo marco de referencia de modelación definida este incrustado en un ambiente del usuario que no solo sea fácil de usar, sino que soporte validar la simulación, asistir a los usuarios en la verificación y la validación y tenga incrustadas herramientas que apoyen resultados estadísticos. Blake comentó que si estos pasos son tomados, permitirá la migración de actividades de modelación del dominio de la investigación en actividades de planeación ordinarias.

Capítulo 3

Marco Teórico

En esta sección se presentan los tópicos que son el fundamento para el establecimiento del esquema que se propone. Las sub-secciones que se incluyen son: simulación de eventos discretos, diseño de experimentos, diagramas para la representación de procesos, pensamiento esbelto, Herramientas básicas, programas de mejora a lo largo de la compañía, teoría de colas y fundamentos de pruebas de hipótesis.

3.1 Simulación de eventos discretos

Taylor y Robinson en el 2006 [66] comentan que el campo de la simulación de eventos discretos comenzó en 1957 con la creación del programa de simulación general de Tocher y Owen [45], por lo que podemos considerar que la simulación de eventos discretos tiene más de 50 años siendo aplicada. En lo que se refiere al sector salud Nickel y Smidt en el 2009 [162] comentan que uno de los primeros estudios de simulación en hospitales fue presentado por Fetter y Thompson en 1965 [163]. A partir de entonces el número de trabajos desarrollados sobre la simulación de eventos discretos ha incrementado de manera significativa.

Banks [164] define simulación como la imitación de la operación de un proceso del mundo real o sistema sobre el tiempo para obtener inferencias concernientes a las características de operación del sistema real representado. Simulación describe y analiza el comportamiento del sistema, se hacen las preguntas que pasa si sobre el sistema real y auxilia en el diseño de sistemas reales.

Por otro lado Law y Kelton [165] definen la simulación de eventos discretos como la modelación por computadora de un sistema que evoluciona sobre el tiempo en donde las variables de estado cambian instantáneamente en puntos separados del tiempo. Estos puntos

son la ocurrencia de eventos por lo que un evento se define como una ocurrencia instantánea que puede cambiar el estado del sistema.

Simulación es aplicada en la resolución de problemas donde resulta muy complejo utilizar modelos matemático por la gran cantidad de variables involucradas y sus interrelaciones.

Actualmente la simulación de eventos discretos ha sido utilizada para modelar y resolver problemas en manufactura y manejo de materiales, sistemas de salud, militares, recursos naturales, servicios públicos, tránsito, desempeño de sistemas de computadora, transportación aérea, y sistemas de comunicación [164].

Metodología de SED

En la literatura la metodología para aplicar Simulación de Eventos Discretos (SED) varía levemente entre un autor y otro. Banks [164] comenta que todos los proyectos de simulación incluyen de manera intrínseca los siguientes pasos desarrollados por Pritsker en 1993 [166].

- **Metodología presentada por Pritsker en 1993 [166]:**

1. Formulación del problema.
2. Diseño del modelo conceptual.
3. Colección de datos.
4. Construcción del modelo.
5. Verificación y validación.
6. Análisis.
7. Documentación.
8. Implementación.

Otras metodologías son las presentadas por Banks, Kelton y Law considerados líderes en el campo:

- **Metodología presentada por Banks en 1998 [164]:**

1. Formulación del problema.
2. Establecimiento de objetivos y el plan general del proyecto.
3. Conceptualización del modelo.
4. Colección de datos.

5. Traslación del modelo conceptual a computadora.
6. Verificación.
7. Validación.
8. Diseño experimental.
9. Producción de réplicas y análisis.
10. Documentación y reportes.
11. Implementación.

- **Metodología presentada por Kelton, Sadowsky y Sturrock en 2004 [167]:**

1. Formulación del problema.
2. Metodología de la solución (considerar técnicas de solución alternativas).
3. Especificación del sistema y la simulación.
4. Formulación y construcción del modelo.
5. Verificación y validación.
6. Experimentación y análisis.
7. Presentación y preservación de resultados.
8. Diseminar el modelo.

- **Metodología presentada por Law y Kelton en el 2000 [165].** Esta metodología tiene un enfoque a la validación del modelo.

1. Formular el problema y planear el estudio.
2. Colectar datos y definir un modelo.
3. ¿Es válido el modelo conceptual?
4. Construir un programa de computadora y verificar.
5. Ejecutar las corridas piloto.
6. ¿Es válido el modelo programado?
7. Diseñar experimentos.
8. Ejecutar las corridas de producción.
9. Analizar los datos de salida.
10. Documentar, presentar y utilizar los resultados.

Debido a que la metodología que presenta los pasos esenciales de un proyecto de simulación es la definida por Pritsker, a continuación se describen cada uno de las fases implicadas.

1. Formulación del problema. Definir el problema a ser estudiado incluyendo un planteamiento escrito del objetivo a resolver.
2. Diseño del modelo conceptual. Abstracción del sistema en un modelo descrito por los elementos del sistema, sus características e interacciones, todas en base a la formulación del problema. Robinson en el 2008 [168] describe a detalle el modelo conceptual el cual incluye: 1. Suposiciones - creencias o incertidumbres acerca del mundo real siendo modelado y 2. Simplificaciones, las cuales permiten desarrollar el modelo más rápidamente. Define la modelación conceptual como “Descripción sin software del modelo de simulación, describiendo entradas (factores a ser controlados), salidas (respuestas), contenido (alcance y nivel de detalle), suposiciones y simplificaciones del modelo”. Basado en las discusiones de los modeladores de simulación e investigadores en investigación de operaciones propone que el modelo conceptual cumpla con cuatro requerimientos: 1) validez - el modelo por computadora a desarrollar debe ser lo suficientemente preciso para el propósito especificado, 2) credibilidad - similar a validez pero tomada desde una perspectiva del cliente en vez del modelador, 3) utilidad - el modelo debe ser útil para la toma de decisiones) y 4) factibilidad - el modelo debe ser desarrollado con el tiempo, recursos y datos disponibles. Comenta que en un caso de estudio de una planta Ford optaron por hacer dos modelos diferentes de simulación con objetivos diferentes en vez de hacer uno solo muy complicado. Continuando con su trabajo, Robinson en el 2008 [169] presenta un marco de referencia para el modelo conceptual el cual consiste de 5 pasos: 1) entender la situación del problema, 2) determinar los objetivos del proyecto de modelación y generales, 3) identificar las salidas del modelo (respuestas), 4) identificar las entradas del modelo (factores experimentales) y 5) determinar el contenido del modelo. Suposiciones y simplificaciones son especificadas a lo largo de este proceso. Propone que los objetivos sean especificados en términos de tres componentes 1) logro - es lo que el cliente espera lograr, por ejemplo: reducir costo o mejorar el servicio al cliente, 2) actuación - medición de la actuación donde sea posible, por ejemplo reducir costos en 10% y 3) restricciones con las cuales el cliente debe de trabajar como por ejemplo presupuesto, espacio y opciones de diseño. Según Robinson, el

modelo conceptual es presentado como una lista de entidades, recursos, líneas de espera y sus especificaciones. Algunos ejemplos de representaciones visuales de modelos conceptuales utilizados por diferentes investigadores son: diagrama de flujo de procesos, diagramas de ciclo de actividades, redes Petri, gráfica de eventos, digraph, lenguaje de modelación unificado, modelos de objetos y diagramas de actividad de simulación.

3. Colección de datos. Identificar, especificar y obtener datos para la construcción del modelo.
4. Construcción del modelo. Capturar el modelo conceptualizado utilizando un lenguaje de programación.
5. Verificación y validación. Se refiere a que el modelo se ejecute como se esperaba y que se tenga la exactitud deseada entre el modelo y el sistema. Sargent en el 2007 [170] comentó que un modelo es válido para un conjunto de condiciones experimentales si la exactitud está dentro del rango aceptable, el cual es la cantidad de exactitud requerida para el propósito intencionado del modelo. Sargent también presenta una lista de técnicas de validación, las cuales son:
 - Animación. La animación debe de reflejar una similitud en el comportamiento del sistema, especialmente con respecto al flujo y densidad de las entidades.
 - Comparación con otros modelos. Varios resultados del modelo de simulación siendo validado son comparados a los resultados de otros modelos válidos. Por ejemplo resultados de un modelo de simulación son comparados a resultados conocidos de modelos analíticos.
 - Pruebas degenerativas. Por ejemplo el número promedio en la línea de espera de un servidor único continúa incrementando sobre el tiempo cuando la razón de arribo es más grande que la razón de servicio.
 - Validez de evento. Los eventos de ocurrencias del modelo de simulación son comparados con los del sistema real para determinar si son similares. Por ejemplo, comparar el número de fuegos real con el del modelo de simulación.
 - Pruebas de condición extrema. La estructura y salidas del modelo deben de ser convincentes para cualquier combinación extrema e improbable de niveles de factores en el sistema. Por ejemplo, si los inventarios en proceso son cero, la producción debe usualmente ser cero.

- Validez de rostro (“Face validity”). Preguntar a individuos conocedores del sistema si el modelo y su comportamiento son razonables. Por ejemplo es correcta la lógica en el modelo conceptual y las relaciones de entrada y salidas del modelo razonables.
- Validación de datos históricos. Si datos históricos existen (datos colectados en un sistema específicamente para construir y probar un modelo), parte de los datos son usados para construir el modelo y el resto de los datos es usado para determinar si el modelo se comporta como el sistema lo hace.
- Métodos históricos. Los tres métodos históricos de validación son racionalismo, empirismo y economía positiva. Racionalismo asume que todos saben si las suposiciones de un modelo son verdaderas. Deducciones lógicas son usadas a partir de estas suposiciones para desarrollar el modelo válido. Empirismo requiere que cada suposición y resultado sea empíricamente validado. Economía positiva requiere únicamente que el modelo pueda predecir el futuro y no se preocupa por las suposiciones o estructura del modelo.
- Validez interna. Varias replicas de un modelo estocástico son hechas para determinar la cantidad de variabilidad estocástica en el modelo. Una gran cantidad de variabilidad puede causar que los resultados del modelo sean cuestionables.
- Validación multi-fase. Combina los tres métodos históricos de racionalismo, empirismo y economía positiva en un proceso multi-fase de validación. Este método de validación consiste de 1) desarrollar las suposiciones del modelo en teoría, observaciones y conocimiento general, 2) validar las suposiciones del modelo donde sea posible probarlas empíricamente y 3) comparar las relaciones de entrada-salida del modelo con las del sistema real.
- Gráfica operacional. Valores de varias mediciones de desempeño, por ejemplo el número en fila y porcentaje de servidores ocupados, son mostrados gráficamente al correr el modelo a través del tiempo. El comportamiento dinámico de los indicadores de desempeño son mostrados visualmente al correr el modelo de simulación a lo largo del tiempo para asegurar que se comporte correctamente.
- Variabilidad de parámetros – Análisis de sensibilidad. Esta técnica consiste en cambiar los valores de las entradas y parámetros de un modelo para determinar el efecto sobre el comportamiento del modelo o salida. La misma relación debe ocurrir en el modelo

como en el sistema real. Esta técnica puede ser usada tanto cualitativamente como cuantitativa. Los parámetros que son sensibles causan cambios significativos en el comportamiento del modelo o salida y deben de ser suficientemente precisos antes de utilizar el modelo.

- Validación predictiva. El modelo es usado para predecir (pronosticar) el comportamiento del sistema, y después comparaciones son hechas entre el comportamiento del sistema y el pronóstico del modelo para determinar si son los mismos.
- Rastreo. El comportamiento de diferentes tipos de entidades específicas en el modelo son rastreadas (seguidas) a través del modelo para determinar si la lógica del modelo es correcta y si la exactitud necesaria es obtenida.
- Prueba de Turing. Individuos con conocimiento de las operaciones del sistema siendo modelado son cuestionados si pueden distinguir entre el sistema y las salidas del modelo.

Otros enfoques de validación utilizados son:

- Azadeh et al. en el 2005 [70] utilizaron ANOVA para validar algunos indicadores de desempeño entre el sistema real y el modelo.
 - Santibáñez et al. en el 2009 [52] utilizaron intervalos de confianza para la validación del modelo. Este método consiste en obtener intervalos de confianza para los métricos del modelo de simulación y del sistema real, en caso de que los intervalos se empalman se considera que el modelo es válido.
6. Análisis. Analiza las salidas de la simulación para obtener inferencias y hacer recomendaciones para la resolución de problemas. En esta etapa generalmente son utilizadas pruebas de comparación de medias, diseño de experimentos y/o técnicas de optimización.
 7. Documentación. Se refiere a proveer información de apoyo o de evidencia para un propósito específico.
 8. Implementación. Llevar a cabo las decisiones resultantes de la simulación.

Selección de software de simulación

Existe una gran cantidad de software de simulación por lo que es necesario considerar criterios para una selección más adecuada, Banks y Gibson [171] consideran que los aspectos a incluir en la selección del software de simulación son:

- Entradas. El software debe tener la capacidad de importar archivos CAD, importar archivos de bases de datos, exportar archivos para poder analizar los resultados en otros paquetes como en Excel, la sintaxis debe de ser fácilmente entendida e incluir un controlador de corrida interactiva para ayudar a encontrar y corregir los errores de la programación.
- Procesamiento. Incluye características de velocidad de procesamiento, disponibilidad de distribuciones estadísticas, habilidad para inicializar los estadísticos en cada réplica, réplicas independientes, disponibilidad suficiente de atributos y variables, permitir la programación de detalles de modelos complejos, portabilidad, es decir que el programa pueda correrse en diferentes tipos de computadoras y flexibilidad en tiempo de corrida la cual se refiere a generar automáticamente resultados a partir de lotes en el tiempo de corrida o generar escenarios dentro de un rango especificado de valores para las entradas.
- Salidas. Incluye reportes estandarizados y personalizados, generación de gráficas, bases de datos organizadas, permitir la especificación de expresiones matemáticas en la obtención de resultados y generar nuevas medidas de desempeño,
- Ambiente. Se refiere a que el software sea fácil de usar, de aprender, con buena información en la sección de ayuda, inclusión de animación y presentación del modelo en modo de solo ejecución para efectos de presentaciones.
- Vendedor. Se refiere a la estabilidad del vendedor, ¿cuánto tiempo tiene el software desde su creación?, ¿se han mantenido haciendo actualizaciones?, ¿las actualizaciones son libres de errores?, ¿hay compatibilidad entre versiones anteriores? y si se cuenta con servicio técnico.
- Costo. El costo del software de simulación comprende entre 500 a 50,000 dólares, los más populares se han mantenido alrededor de 15,500 dólares pero no se recomienda seleccionar el software en base a costo es más importante basarse en la productividad.

3.2 Diseño de experimentos

En la etapa de análisis en un estudio de simulación se recomienda utilizar las técnicas de diseño de experimentos para realizar un análisis de simulación eficiente y efectivo [87].

Diseño de experimentos según Gutiérrez Pulido [172] consiste en determinar cuáles pruebas se deben realizar y de qué manera, para obtener datos que, al ser analizados estadísticamente, proporcionen evidencias objetivas que permitan responder las interrogantes planteadas, y de esta manera clarificar los aspectos inciertos de un proceso, resolver un problema o lograr mejoras.

A continuación se introducen los siguientes conceptos que apoyarán la descripción de los diferentes tipos de diseños más comunes [172].

- Niveles. Los diferentes valores que se asignan a cada factor estudiado en un diseño experimental.
- Tratamiento. Se le llama a una combinación de niveles de todos los factores estudiados.
- Factores estudiados. Son las variables que se investigan en el experimento para observar cómo afectan o influyen en la variable de respuesta.
- Error aleatorio. Es la variabilidad observada que no se puede explicar por los factores estudiados; resulta del pequeño efecto de los factores no estudiados y del error experimental.
- Error experimental. Componente del error aleatorio que refleja los errores del experimentador en la planeación y ejecución del experimento.
- Factores controlables. Son variables de procesos y/o características de los materiales y los métodos experimentales que se pueden fijar en un nivel dado. Se distinguen porque para cada uno de ellos existe la manera o el mecanismo para cambiar o manipular su nivel de operación.
- Factores no controlables o de ruido. Son variables que no se pueden controlar durante el experimento o la operación normal del proceso.
- Factor de bloque. Variable adicional al factor o factores de estudio que aunque no es del interés del estudio se piensa que tienen un efecto significativo sobre la respuesta por lo que se consideran en el experimento para no sesgar la comparación.
- Variable de respuesta. A través de esta(s) variable(s) se conoce el efecto o los resultados de cada prueba experimental.
- Efecto de un factor. Es el cambio observado en la variable de respuesta debido a un cambio de nivel en el factor.

- Efecto de interacción. Cuando el efecto de un factor depende del nivel de otro factor.

En la literatura se encuentran diferentes métodos de diseño de experimentos, los más comunes son:

- ANOVA simple. Se utiliza para comparar más de dos tratamientos con un solo factor. La idea general de esta técnica es separar la variación total en las partes con las que contribuye cada fuente de variación en el experimento. En el caso de este diseño se separan la variabilidad debida a los tratamientos y la debida al error. Cuando la primera predomina “claramente” sobre la segunda, es cuando se concluye que los tratamientos tienen efecto, o dicho de otra manera, las medias son diferentes. Cuando los tratamientos no dominan contribuyen igual o menos que el error, por lo que se concluye que las medias son iguales.
- Diseño de bloques completos al azar. Diseño que considera un factor de estudio, un factor bloque y el error aleatorio.
- Diseño en cuadro latino. Diseño que considera un factor de estudio, dos factores bloque y el error aleatorio. El número de niveles debe de ser el mismo para cada factor.
- Diseño en cuadro grecolatino. Diseño que considera un factor de estudio, tres factores bloque y el error aleatorio. El número de niveles debe ser el mismo para cada factor.
- Diseño factorial con dos factores $a \times b$. Diseño que considera el efecto de dos factores de estudio, el efecto de interacción entre sus factores y el error aleatorio. Los factores pueden tener diferente número de niveles para cada factor.
- Diseño factorial con tres factores $a \times b \times c$. Diseño que considera el efecto de tres factores de estudio, el efecto de interacción entre sus factores y el error aleatorio. Los factores pueden tener diferente número de niveles para cada factor.
- Diseño factorial 2^k . Familia de diseños de k factores de estudio con dos niveles. Considera el efecto de cada factor, el efecto de interacción entre los factores y el error aleatorio. Esta familia de diseños es útil cuando el número de factores a estudiar está entre 2 y 5.
- Diseño factorial 3^k . Familia de diseños de k factores de estudio con tres niveles. Considera el efecto de interacción entre los factores, el efecto de interacción entre los factores y el error aleatorio. Se recomienda utilizar este tipo de diseños cuando se cree que la variable

de respuesta no es lineal, ni aproximadamente lineal en el rango de variación de los factores estudiados o simplemente cuando los factores son categóricos o discretos y de manera natural tienen tres niveles cada uno.

- Diseños factoriales fraccionados 2^{k-p} . Familia de diseños de k factores fraccionados con dos niveles. En los diseños factoriales fraccionados se elige adecuadamente una parte o fracción de los tratamientos de un factorial completo, con la intención de estudiar el efecto de los factores utilizando menos corridas experimentales. Esta familia de diseños es útil cuando el número de factores a estudiar es mayor que 5 e interesa descartar de manera económica los que no son importantes, antes de hacer un estudio más detallado con los factores que sí son importantes.

Después de aplicar un diseño de experimentos y determinar diferencias entre los tratamientos se utiliza un método para determinar cuáles son los tratamientos diferentes. Los métodos comúnmente utilizados en el ANOVA son el gráfico de medias y el método LSD los cuales se describen a continuación:

Gráfico de medias. Método el cual consiste en graficar las medias y su intervalo de confianza. El intervalo de confianza está formado por la media del tratamiento $\pm$ la desviación estándar agrupada, representada por S. El cálculo para obtener la S es el siguiente:

$$S = \sqrt{CM_E} \quad \text{Ec. 3.1}$$

Donde:

CM_E : es el cuadrado medio del error obtenido de la tabla ANOVA.

La interpretación de esta gráfica consiste en qué si los intervalos se traslapan se dice que los tratamientos son iguales.

Método LSD. Este método se basa en calcular el valor LSD, la cual es la diferencia mínima significativa, y compararlo con las diferencias entre los pares de tratamientos. Si la diferencia entre un par de tratamientos es mayor al LSD decimos que los tratamientos estadísticamente son significativamente diferentes.

La ecuación para obtener el LSD es:

$$LSD = t_{\alpha/2, N-k} \sqrt{2CM_E/n} \quad \text{Ec. 3.2}$$

Donde:

t: es el valor de la tabla t student.

α : es el nivel de significancia.

N: el número total de observaciones.

k: el número de tratamientos.

CM_E : el cuadrado medio del error.

n: el número de observaciones por tratamiento.

3.3 Diagramas para la representación de procesos

En esta sección se describen los diagramas más utilizados para la representación de procesos, estos son: diagramas de flujo, mapas de flujo de valor y SIPOC.

Diagramas de flujo

Aguilar-Savén [173] define un diagrama de flujo como una representación gráfica formalizada de una secuencia lógica programada, trabajo, procesos de manufactura o estructura general. No hay una fecha específica de su origen y la facilidad de su uso es una de las ventajas principales.

Tapping et al. [174] define un diagrama de flujo como una representación visual de una secuencia de actividades o tareas consistentes de personas, responsabilidades de trabajo y transacciones que ocurren para la entrega de un producto o servicio. Esta herramienta permite que los analistas obtengan un consenso de exactamente qué es lo que pasa en el proceso.

Hay cinco tipos de diagramas de flujo: básico, despliegue, oportunidad, diagrama de espagueti y de proceso.

1. Diagrama de flujo básico (nivel macro). Identifica los pasos principales en un proceso – usualmente no más de 6 pasos.

2. Diagrama de flujo de despliegue. Grafica el proceso en términos de quien está haciendo los pasos y es presentado en la forma de una matriz mostrando los varios participantes y el flujo de los pasos entre esos participantes. Estos diagramas de flujo son útiles si el proceso siendo graficado cruza las fronteras departamentales.
3. Diagramas de flujo de oportunidad. Lista las varias actividades que comprenden el proceso y lista las diferencias entre las actividades de valor agregado y no valor agregado.
4. Diagramas de flujo de espagueti. Utiliza una línea continua para trazar la trayectoria de una parte, documento, persona o servicio siendo proveído a través de todas sus fases. Los diagramas de espagueti exponen distribuciones físicas ineficientes y distancias largas entre los pasos. Estos diagramas deben también mostrar el flujo de información electrónica por ejemplo emails, hojas de cálculo o documentos.
5. Diagramas de flujo de proceso (nivel micro). Examina el proceso a detalle e indica todos los pasos o actividades que incluyen los puntos de decisión, periodos de espera, tareas que frecuentemente deben volverse a ser (retrabajo), y cualquier ciclo de retroalimentación.

A continuación se presentan los símbolos estándar utilizados en los diagramas de flujo:



Óvalos. Utilizados para representar los puntos de inicio y fin del proceso.



Rectángulos. Utilizados para describir una acción tomada o una tarea completada.



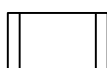
Rombos. Utilizados en puntos de decisión, generalmente contienen las opciones si o no.



Documento. Utilizado para representar un documento producido durante el proceso.



Documentos múltiples páginas. Utilizado para representar un reporte o una salida con múltiples páginas.



Rectángulo modificado. Representa un estándar a seguir, por ejemplo un protocolo, estándar de servicio, procedimiento de operación estándar o regulación gubernamental.

 Flecha. Representa la dirección del flujo del proceso.

 Demora. Representa una demora en el proceso.

 Círculo. Utilizado para mostrar que el flujo continúa en una página diferente o en otro proceso.

Cabe mencionar que algunos analistas en vez de utilizar diagramas de flujo, utilizan mapas de flujo de valor, el cual a continuación se describe.

Mapas de flujo de valor

Técnica basada en el flujo de información y material, desarrollado por Toyota y después adoptado como Mapa de Flujo de Valor por James Womack en el libro “Learning to See”. Es una representación visual del material, trabajo y flujo de información, al igual que tiempos de espera entre procesos para la demanda de un cliente específico. Los mapas de flujo de valor son de dos tipos: estado actual y estado futuro. Los mapas de estado actual proveen una representación visual del flujo de trabajo (o del paciente) actual. El mapa de estado futuro es una de las herramientas lean aplicadas al mapa de estado actual [174].

Esta técnica es utilizada para proveer bases para el desarrollo de planes sobre la implementación de herramientas y técnicas “lean”. Los pasos para realizar un mapa de flujo de valor son [175]:

1. Designar a una persona como el administrador del flujo de valor.
2. Seleccionar una familia de productos.
3. Dibujar un mapa del estado actual.
4. Ver las oportunidades de mejora.
5. Dibujar un mapa del estado futuro.
6. Desarrollar un plan de acción para la implementación.

SIPOC

Mapa de procesos en el cual se indica para cada proceso [176]:

- Proveedores. Quienes son los que proveen las entradas a los procesos.
- Entradas. Qué es lo que se requiere para realizar los procesos.
- Procesos. Como se lleva a cabo el proceso.
- Salidas. Qué es lo que se obtiene del proceso.
- Clientes. Quien recibe las salidas del proceso.

3.4 Pensamiento esbelto

El pensamiento esbelto o “lean thinking” es una filosofía de trabajo basada en el respeto humano y la mejora continua, consiste en la eliminación de desperdicios para incrementar el flujo buscando lograr un justo a tiempo.

Esta filosofía fue desarrollada por Toyota después de la segunda guerra mundial.

Los tres principales objetivos del pensamiento esbelto son: 1) satisfacción del cliente, 2) eliminar o reducir el desperdicio y 3) respeto por el empleado. Dichos objetivos se deben lograr considerando los principios básico de esta filosofía.

“Lean” consiste de 5 principios los cuales son [177]:

- 1) **Definir valor desde la perspectiva del cliente.** Valor es todo lo que el cliente está dispuesto a pagar.
- 2) **Análisis del flujo de valor.** Identificar los pasos necesarios para realizar el producto o llevar a cabo el servicio e identificar el desperdicio.
- 3) **Flujo.** Lograr que las actividades se realicen sin interrupciones, eliminando desperdicios.
- 4) **JIT/Pull.** Al obtener flujo, ofrecer el servicio o producto justo a tiempo.
- 5) **Perfección.** Volver a empezar el ciclo.

Uno de los objetivos de “lean” es la eliminación de los desperdicios. Desperdicio se define como todo aquello que no agrega valor al producto y que por ende el cliente no está dispuesto a pagar.

A continuación se describen los 7 desperdicios junto con ejemplos desde la perspectiva del sector salud [178].

1. **Transportes.** Movimiento excesivo de trabajo que no agrega valor, donde trabajo pueden ser pacientes, muestras, equipos o resultados de laboratorio. Por ejemplo transportar pacientes a una sala de cirugía en otra área diferente, colocar una silla de ruedas en el pasillo y constantemente tener que moverla o mover una muestra a la locación incorrecta. Este desperdicio puede deberse a un pobre diseño de la ubicación de las áreas en el hospital.
2. **Movimientos.** Movimiento excesivo de personas o información que no agrega valor. Algunos ejemplos son buscar pacientes, buscar órdenes de doctores, buscar instrumentos, medicinas, llevar documentación a otro proceso o caminar hacia un equipo que no está localizado centralmente. Este desperdicio también puede ser creado por un diseño pobre pero a nivel sala o estación lo que origina caminar, alcanzar o doblarse más de lo necesario.
3. **Esperas.** Todo tipo de demoras de pacientes o empleados. Ejemplo: demora para ser revisado por un doctor, demora para recibir resultados de laboratorio o demora para la asignación de una cama.
4. **Sobreproducción.** Producir trabajo o proveer un servicio antes de ser necesario o requerido. Por ejemplo que se envíen charolas de comida cuando el paciente ya se ha dado de alta o transferido a otra unidad, dar las pastillas más temprano para que se adecuen al plan de trabajo del personal, sacar copias extras por si se ocupan, introducir información repetitiva en documentos o formas, imprimir o enviar por email el mismo documento.
5. **Inventarios.** Exceso de materiales o suministros. Ejemplos: exceso de medicamentos con respecto al uso normal, manuales o revistas extras u obsoletos.
6. **Defectos.** Procesamientos requeridos para corregir errores. Ejemplos: errores en el registro de datos del paciente o falta de información, errores en el diagnóstico, medicación o procedimiento.
7. **Sobre procesamiento.** Poner más trabajo o esfuerzo a una actividad que el paciente, médico, o proveedor de salud no quiere o solicita es desperdicio. Ejemplos: llenar documentación excesiva, llenar la misma información en formas diferentes,

constantemente revisar documentos, ordenar más exámenes de diagnóstico que los que justifica que el diagnóstico.

En “lean” varias técnicas han sido utilizadas con gran éxito en manufactura y han empezado también a implementarse de igual forma en hospitales. Dentro de las más relevantes se encuentran:

5S

Proceso para asegurar que las áreas de trabajo sean mantenidas sistemáticamente limpias y organizadas y aseguren la seguridad del paciente y el personal. 5S mejora el flujo de los pacientes e información, reduce los costos y elimina los tiempos de búsqueda por cosas, lo cual es un desperdicio [174]. Las etapas para implementar 5S son:

- Clasificar. Consiste en clasificar las cosas que son útiles de las que no. De las que se tengan duda moverlas a un área roja y monitorearlas por un periodo de tiempo de 1 a 3 meses, si no se usan en ese periodo deben de desecharse o reubicarse a otra área.
- Ordenar. Se refiere a acomodar los artículos necesarios de tal forma que sea fácil y eficiente de accederlos. Aquí aplica el dicho un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar.
- Limpiar. Se refiere a limpiar todo y crear un plan de limpieza para mantener todo limpio.
- Estandarizar. Se refiere a crear lineamientos para mantener el área organizada, ordenada, limpia y hacer los estándares visuales y obvios.
- Disciplina. Se refiere a mantener todo lo obtenido en los pasos anteriores a través de la educación permanente del programa, auditorias y disciplina para seguir los estándares.

Kaizen

Termino japonés para el mejoramiento continuo y es el proceso para hacer mejoras incrementalmente, no importa lo pequeñas que sean, y alcanzar las metas de “Lean” de

eliminar todos los desperdicios, que generan un costo sin agregar valor. Kaizen enseña a trabajar efectivamente a los individuos en grupos pequeños, a solucionar problemas, documentando y mejorando los procesos, recolectando y analizando datos, y a manejarse por sí mismos.

Kaizen involucra a todos, doctores, enfermeras, administradores por igual. Al aplicar Kaizen solo se necesitan técnicas sencillas, convencionales, como las siete herramientas de control de calidad, las cuales son: diagramas de Pareto, diagramas de causa y efecto, plantillas de inspección, diagramas de dispersión, diagramas de flujo, histogramas y gráficas de control. Kaizen no requiere grandes inversiones de dinero, ni tecnología sofisticada pero si requiere la participación del personal de todos los niveles [179].

Eventos Kaizen

También conocido como “kaizen blitz”. Es un grupo enfocado de individuos dedicados a aplicar herramientas lean a un área específica dentro de un cierto periodo de tiempo. Tapping et al. [174] proponen tres fases para conducir un evento Kaizen:

- Fase de planeación (2-4 semanas). En esta fase se define el objetivo y alcance del proyecto, se forma un equipo, se definen los roles de los miembros del equipo, se establecen las fechas del desarrollo del proyecto y se colectan datos.
- Evento kaizen (3 a 5 días). En esta fase se ofrece entrenamiento de las técnicas “lean”, se conduce el ejercicio de la elaboración del mapa de flujo de valor, se observa el proceso sino se ha hecho previamente, se hacen cambios a la distribución física, se crean estándares, se prueban las mejoras y se hacen las recomendaciones a la administración para una implementación a lo largo de la compañía. Cada equipo tiene un campeón, quien tiene una posición administrativa y la autoridad para asignar recursos de la empresa.
- Fase de seguimiento (3-4 semanas). Las áreas o procesos donde se aplicaron los eventos kaizen deben de ser auditadas, principalmente para evaluarse y determinar si es conveniente una implementación a lo largo de la compañía. El área específica o

proceso mejorado debe ser auditado después de un evento kaizen para asegurar que las mejoras son mantenidas sobre el tiempo.

Por otro lado Stone [180] comenta que un evento kaizen sigue un proceso metodológico de identificación de desperdicio, implementación de soluciones, medición de resultados y estandarización de prácticas de trabajo. Stone presenta el ciclo de un evento kaizen con las actividades: documentar la realidad, identificar desperdicio, plan de contramedidas, verificar la realidad, hacer cambios, verificar los cambios, medir los resultados, hacer de esto un estándar, celebrar y hacerlo otra vez. Liker y Hoseus [181] describen el evento kaizen como un evento de 5 días empezando con entrenamiento el lunes, análisis y solución de problemas en martes, implementación y experimentación en miércoles y jueves, y presentación de resultados en viernes. Stone comenta que aunque los eventos kaizen típicos son de 5 días de duración, pueden ser de menor tiempo dependiendo de los objetivos generales y disponibilidad de recursos. En organizaciones con recursos limitados, dos días de eventos kaizen son llevados a cabo en vez de eventos de cinco días. Otra opción para ambientes de recursos limitados es realizar 5 días de eventos kaizen pero solo durante la mitad del día [182].

Stone [180] define los equipos kaizen como equipos de trabajo auto-dirigidos organizados para lograr las metas y objetivos establecidos para el evento kaizen generado en respuesta a las estrategias del pensamiento “lean”. Los equipos kaizen están formados entre 4 a 8 personas, al menos una tercera parte es del área objeto de mejora, y dirigida por un líder del equipo y co-líder.

Reporte A3

Reporte utilizado por Toyota que consiste en una hoja de 11x17 pulgadas (hojas A3). En este reporte se presenta el problema, el análisis, la acción correctiva y el plan para llevar a cabo esa acción correctiva. Es un método estándar para resumir problemas, reportar avances y planear acciones. La utilidad de este reporte es que en una sola hoja se registra la situación inicial y las metas que se quieren lograr tanto en números como en distribución física y pasos de implementación, así como las fechas y periodos para alcanzarlos [183]. Varios autores han publicado el uso del reporte A3 como documento de apoyo en la solución de problemas entre

ellos Chakravorty en la industria en el 2009 [16] y Sobek y Jimmerson aplicado en el sector salud en el 2004 [29].

John Shook [184] comenta que el reporte A3 comenzó a utilizarse en la década de 1960's como el formato para la solución de problemas en los círculos de calidad. En Toyota evolucionó para llegar a ser el formato estándar para la solución de problemas, propuestas, planes y revisiones de estatus. Comenta que no es importante el formato, sino el proceso y pensamiento detrás de él.

El formato A3 contiene los siguientes puntos [185]:

Tema: ¿qué se trata hacer?

Antecedentes:

- Antecedentes del problema.
- Contexto requerido para su entendimiento completo.
- Importancia del problema.

Condición actual:

- Diagrama de la situación actual (o proceso).
- Resaltar los problemas (marcarlos).
- ¿Por qué el sistema no es ideal?
- Extensión del problema, ej. Mediciones.

Análisis de causa:

- Listar el problema (s).
- Causa directa (o raíz) más probable. 5 Por qué?

Condición objetivo:

- Diagrama del nuevo proceso.
- Contramedidas anotarlas como nubes.
- Objetivos medibles (cantidad y tiempo).

Plan de implementación:

- ¿Qué? Acciones a tomar.
- ¿Quién? Persona responsable.
- ¿Cuándo? Tiempos, fechas.

- ¿Dónde?
- Costo

Seguimiento:

- Plan: ¿cómo se verificarán los efectos?, ¿cuándo se verificarán?
- Resultados actuales: en tinta roja, fecha en que se revisó, comparación con los predichos.

Kanban de suministros

Es un medio de comunicación vía una señal (ejemplo: tarjeta, etiqueta, folder, email, etc) a un proceso anterior precisando qué es requerido en el tiempo que es requerido. El kanban de suministros asegurará que el dinero asignado a los suministros será el mínimo requerido. Hay seis pasos para crear e implementar un sistema kanban para suministros [178]:

1. Realizar un listado de los suministros incluyendo la cantidad utilizada por periodo de tiempo.
2. Establecer los niveles máximos y mínimos para mantener a la mano y registrarlos en una forma de orden de suministros con el costo del artículo. La cantidad mínima es la cantidad de artículos esperado para ser usado durante el tiempo que toma suministrar nuevamente el artículo más un factor X de seguridad. La cantidad máxima será la cantidad mínima más la cantidad a suministrar.
3. Crear las tarjetas kanban. Debe de haber una tarjeta kanban identificada como kanban de reorden de suministros para cada artículo. Se recomienda que la tarjeta kanban sea fijada a la cantidad mínima de reorden, por ejemplo, anexar la tarjeta kanban a la última caja de guantes en el estante. La información que debe de contener la tarjeta por lo general es: nombre del artículo, cantidad máxima y mínima a la mano, cantidad de reorden, nombre del proveedor e instrucciones de qué hacer con la tarjeta kanban.
4. Ofrecer entrenamiento.
5. Implementar el sistema kanban.
6. Monitorear los niveles de inventario y los ahorros en inventarios. A intervalos de tiempo definido (ejemplo un mes o dos meses) calcular los ahorros en inventarios y ajustar los niveles de inventario en caso de requerirse.

SMED

Sus siglas son de la frase en inglés “Single minute exchange of dies” y en español se conoce como cambio rápido en menos de 10 minutos porque se desea que el setup o preparación se realice en un corto tiempo para reducir las esperas. Es un método de mejora de la productividad de las operaciones de setup o preparación propuesto por Shigeo Shingo. Las fases que comprenden la implementación del SMED son [186]:

1. Estudio de las operaciones de setup o preparación. Esto involucra listar las actividades de setup o preparación y obtener los tiempos de duración.
2. Identificar las tareas internas y externas. Las tareas internas son las que se tienen que realizar con el equipo parado, mientras que las externas pueden realizarse con el equipo funcionando.
3. Convertir la mayor cantidad de tareas internas a externas.
4. Reducir los tiempos de las tareas internas y externas.

Ayudas visuales

Una ayuda visual es una guía visual simple que rápidamente puede informar a trabajadores y clientes a desempeñar sus operaciones de manera más fácil sin la necesidad de preguntar. Las ayudas visuales comúnmente utilizadas son:

- Instrucciones de trabajo. Utilizan formatos estandarizados y presentan una serie de pasos para la realización de un proceso, cuáles son los posibles errores a evitar, cuando un producto no es conforme y qué reglas de seguridad debemos de cumplir. Una buena instrucción de trabajo permitirá que cualquier persona no familiarizada con el proceso pueda, en cuestión de minutos, conocer que está pasando, entender el proceso, y saber que se está siendo correcto y que esta fuera de lugar.
- Señalamientos. Utilizan un signo o imagen para indicar información simple como: áreas restringidas, uso de cubre bocas, extinguidor o ruta de evacuación.
- Etiquetas. Utilizadas principalmente para identificar artículos en estantes o carpetas de información, de tal forma que el usuario identifique rápidamente el producto.
- Colores. La variación de colores se utiliza para identificar las diferentes tuberías como de agua, gas, oxígeno o las diferentes áreas de un hospital.

Andon

Herramienta visual que indica el status de las operaciones en un área. En hospitales puede ser un foco fuera del quirófano, el cual se enciende cuando la sala está ocupada o un tablero manual o electrónico que indique las camas siendo ocupadas.

Listas de verificación

Listado estandarizado de aspectos o artículos a verificar. Esta herramienta ayuda a asegurar que todos los aspectos en la lista sean verificados, promueve la eficiencia en los esfuerzos de inspección y ayuda en los procesos de servicios a realizar todas las tareas requeridas en la entrega del producto o servicio [187]. Esta herramienta reduce en gran medida la omisión de operaciones o la falta de inclusión de artículos.

Lluvia de ideas

Es una actividad donde todos los miembros de un grupo participan libremente para la aportación de ideas. Se recomienda que las sesiones de lluvia de ideas sean un proceso disciplinado a través de los siguientes pasos [188]:

1. Definir el tema o problema sobre el que se aportan ideas.
2. Nombrar a un moderador.
3. Cada participante lista por escrito las ideas sobre el tema (una lista de posibles causas si se analiza un problema).
4. Los participantes se acomodan de preferencia en forma circular y se turnan para leer una idea de su lista cada vez.
5. Al terminar las listas el moderador pregunta por comentarios adicionales.
6. Se agrupan las causas por similitud y se presentan por medio de un diagrama de Ishikawa.
7. Se discute abierta y respetuosamente sobre cuáles son las causas principales. Las causas que reciban mayor atención se pueden resaltar en el diagrama de Ishikawa.
8. Elegir las causas o ideas principales. Esto puede hacerse por datos, consenso o por votación.

9. Encaminarse a definir acciones e implementarlas. En una futura reunión puede volverse a utilizar la lluvia de ideas y el diagrama de Ishikawa para determinar acciones a tomar.

5 porqués

Este método consiste en mantenerse preguntando porqué (usualmente 5 veces) para asegurar que la causa raíz de los efectos son completamente entendidas. El razonamiento es que cada vez que se pregunta un porqué se da una respuesta diferente de tal forma que el primer porqué es el síntoma, el segundo porqué es la excusa, el tercer porqué la culpa, el cuarto porque la causa y el quinto porqué la causa raíz [176].

3.5 Herramientas básicas

Varios problemas son solucionados con herramientas de análisis sencillas, fácil de utilizar y entender, a continuación se describen cada una de ellas [188]:

Pareto

El análisis con esta herramienta está basado en el principio de Pareto, conocido como Ley 80-20 o “Pocos vitales, muchos triviales”, en el cual se reconoce que pocos elementos (20%) generan la mayor parte del efecto (80%), y el resto de los elementos propician muy poco del efecto total.

Los analistas utilizan dos o más niveles de Pareto. En el primer nivel de Pareto (Pareto de problemas) se identifican los problemas principales y en el segundo Pareto (Pareto de causas) se orienta exclusivamente hacia la búsqueda de las causas del problema principal. En este punto es preciso preguntarse si este problema se presenta con la misma intensidad en todos los modelos, materiales, turnos, equipos, trabajadores, etc, ya que si en uno de ellos se encuentran diferencias importantes, se estarán localizando pistas específicas sobre las causas más importantes del problema. Se pueden hacer todos los Paretos de segundo nivel que sean necesarios. Si se realizan Paretos de niveles subsecuentes, todos son de causas y se hacen sobre la causa principal del Pareto anterior, acotando cada vez más la causa.

Los pasos para la construcción de un diagrama de Pareto son los siguientes:

1. Definir el objetivo que se persigue. Es necesario delimitar el problema o área de mejora para visualizar que tipo de diagrama de Pareto puede ser útil para localizar prioridades o entender mejor el problema.
2. Obtener los datos. Identificar el tipo de datos que se van a necesitar y la forma en la que los factores se van a estratificar.
3. Construir una tabla donde se cuantifique la frecuencia de cada defecto o salida, se ordene de mayor a menor, se calcule el porcentaje de defectos y el porcentaje acumulativo. Aquí se decide si el criterio con el que se van a jerarquizar las diferentes categorías será directamente la frecuencia o será necesario multiplicarla por su costo o intensidad correspondiente.
4. Se realiza la gráfica y se analiza.
5. Si existe una categoría que predomina, hacer un análisis de Pareto para localizar los factores que más influyen en el mismo.

Diagrama de causa y efecto (o diagrama de Ishikawa)

Método gráfico que relaciona un problema o efecto con los factores o causas que posiblemente lo generan. Existen tres tipos de diagramas de Ishikawa los cuales dependen de cómo se organizan las causas en la gráfica, estos son:

1. Método de las 6M. Es el más común y consiste en agrupar las causas en 6 ramas potenciales: métodos de trabajo, mano de obra, materiales, máquinas, medición y medio ambiente.
2. Método tipo flujo del proceso. La línea principal del diagrama de Ishikawa sigue la secuencia normal del proceso de producción o de administración. Los factores que pueden afectar la característica de interés se agregan en el orden que les corresponde, según el proceso.
3. Método de estratificación o enumeración de causas. En vez de agrupar las causas con respecto a las 6M se agrupan en base a causas principales y en cada grupo (espina) se especifican las causas particulares.

Los pasos para la construcción de un diagrama de Ishikawa son:

1. Especificar el problema. Se recomienda que esté previamente delimitado después de utilizar un Pareto o estratificación.
2. Seleccionar el tipo de Diagrama de Ishikawa a utilizar.
3. Buscar las causas.
4. Decidir cuáles son las causas más importantes. Se puede hacer una votación por los participantes dando 5, 3 y 1 puntos a la 1ª, 2da y 3ª opción.
5. Decidir sobre cuáles causas se va a actuar. Se toma en consideración el punto anterior y la factibilidad de corregir las causas.
6. Preparar un plan de acción para corregir las causas seleccionadas.

Después de identificar la causa principal en el diagrama de Ishikawa, el analista puede detallar la causa, realizando un diagrama de Ishikawa de segundo nivel. En un diagrama de segundo nivel la causa principal se convierte en el efecto y nuevamente se identifican las causas.

Histograma

Representación gráfica, en forma de barras, de la distribución de un conjunto de datos o de una variable, donde los datos se clasifican por su magnitud en cierto número de grupos o clases, y cada clase es representada por una barra, cuya longitud es proporcional a la frecuencia de los valores representados. Permite visualizar la tendencia central, la dispersión y la forma de la distribución. Por lo general en el eje X se muestra la magnitud de los datos y en el eje Y la frecuencia.

Comúnmente para construir el histograma se hace en base a una tabla de frecuencias. El número de datos utilizados para construir el histograma debe de ser al menos de 100. El número de clases se recomienda que sea de 5 a 15. Un método para determinar el número de clases es sacar la raíz cuadrada al número total de datos. Otro criterio es el de Sturges el cual calcula el número de clases como $1+3.3*\log_{10}$

Matriz de causa y efecto

Esta herramienta es utilizada para reducir el número de causas utilizando el conocimiento del equipo. No tiene la finalidad de priorizar las causas sino más bien de remover algunas de las causas triviales con baja prioridad.

3.6 Programas de mejora a lo largo de la compañía

En la literatura se encuentran tres programas de mejora generalmente implementados en las empresas, estos programas son “Lean”, “Seis sigma” y “Teoría de restricciones”.

En términos de aplicación de los programas de mejora, “lean”, explicado ampliamente en el punto anterior, es el más utilizado en el sector salud, le sigue seis sigma y finalmente teoría de restricciones con muy pocas aplicaciones. A continuación se describen los programas de mejora de seis sigmas y teoría de restricciones.

Seis sigma

Estrategia de negocios basada en el enfoque hacia el cliente, en un manejo eficiente de los datos y metodologías, que permite eliminar la variabilidad en los procesos y alcanzar un nivel de defectos menor o igual a 3.4 defectos por millón. Adicionalmente, otros efectos obtenidos son: reducción de los tiempos de ciclo, reducción de los costos, alta satisfacción de los clientes y efectos dramáticos en el desempeño financiero de la organización. El término, seis sigma, se origina de la medición estadística que permite como máximo 3.4 defectos por millón de oportunidades. En otras palabras, virtualmente no son permitidos los defectos en el producto o servicio bajo este principio.

El enfoque para la solución de problemas seis sigma, conocida como DMAIC, consiste de 5 pasos los cuales se describen a continuación:

- D – Definir. Se refiere a definir las metas del proyecto y las entregas del cliente (interno y externo). Las actividades específicas son: definir los clientes y los requerimientos, definir problemas, metas y beneficios, identificar responsables del proyecto, propietario del proceso y el equipo, definir los recursos, evaluar el apoyo

organizacional clave, desarrollar un plan del proyecto y desarrollar un mapa de procesos de alto nivel.

- M – Medir. Se refiere a medir el proceso para determinar la actuación actual; cuantificar el problema. Las actividades específicas son: definir defecto, oportunidad, unidades y métricos, detallar mapas de procesos de áreas apropiadas, validar el sistema de medición, coleccionar datos, comenzar desarrollando una relación $y=f(x)$ y determinar la capacidad del proceso y su sigma.
- A – Analizar. Se refiere a analizar y determinar la causa raíz de los defectos. Las actividades específicas son: definir los objetivos de actuación, identificar los pasos del proceso que agregan valor y que no agregan valor, identificar las fuentes de variación, determinar la causa (s) raíz y determinar los pocos vitales x's, relación $y=f(x)$.
- I – Mejorar. Se refiere a mejorar los procesos al eliminar defectos. Las actividades específicas pueden ser: llevar a cabo diseño de experimentos, desarrollar soluciones potenciales, definir tolerancias de operación del sistema potencial, evaluar los modos de falla de las soluciones potenciales y corregir/re-evaluar la solución potencial
- C – Controlar. Se refiere a controlar en el futuro la actuación del proceso. Las actividades específicas pueden ser: definir y validar el monitoreo y control del sistema, desarrollar estándares y procedimientos, implementar el control estadístico de procesos, determinar la capacidad del proceso, desarrollar plan de transferencia, verificar los beneficios, ahorros/prevencción de costos, crecimiento de las utilidades, cerrar el proyecto, finalizar la documentación y comunicar el proyecto.

Las empresas con el enfoque de mejora de seis sigma, forman equipos de trabajo en proyectos seis sigma con los siguientes roles y responsabilidades:

- Patrocinador. Ejecutivo de alto nivel que patrocina la iniciativa global de seis sigma.
- Líder. Ejecutivo de alto nivel quien es responsable de implementar seis sigma dentro del negocio.

- Campeón. Ejecutivo de nivel medio que patrocina un proyecto específico de seis sigma, asegurando que los recursos son disponibles y los aspectos inter-departamentales son resueltos.
- “Black belt” o cinta negra. Profesional de tiempo completo quien actúa como líder del equipo en un proyecto seis sigma. Típicamente tiene de 4 a 5 semanas de entrenamiento en salón de clases sobre métodos, herramientas estadísticas y algunas veces habilidades de equipo.
- “Master black belt” o maestro de cinta negra. “Black belt” altamente experimentado y exitoso quien ha administrado varios proyectos y es un experto en métodos y herramientas seis sigma. Responsable de entrenar y asesorar “Black belts” y de ayudar al líder y a los campeones de mantener la iniciativa de seis sigma.
- “Green belt” o cinta verde. Profesional de tiempo parcial que participa en el equipo del proyecto de un “Black belt” o lidera proyectos más pequeños. Típicamente tiene dos semanas de entrenamiento en salón de clases en métodos y herramientas de estadística básica.
- Miembro del equipo. Profesional que tiene un conocimiento general de seis sigma (a través de un entrenamiento no formal) y que brinda una experiencia o conocimiento relevante a un proyecto particular.
- Propietario del proceso. Profesional responsable del proceso que es objeto de estudio del proyecto seis sigma.

Teoría de restricciones

Es una filosofía administrativa desarrollada por Goldratt, quien dice que las restricciones determinan el desarrollo de un sistema y que cualquier sistema tiene pocas restricciones. Define a la restricción como cualquier cosa que limita el desarrollo de un sistema para el logro de su meta, por lo tanto, se debe encontrar esa restricción o eslabón y hacer los cambios necesarios para eliminarlo.

La teoría de restricciones está basada en cinco pasos:

1. Identificar las restricciones del sistema.
2. Decidir cómo explotar esas restricciones.
3. Subordinar todas las operaciones a las restricciones.
4. Elevar las restricciones del sistema.
5. Mejorar de manera continua el sistema (regresar al paso 1).

Esta teoría está basada en encontrar la meta de los negocios, la cual es siempre hacer dinero y tener utilidades. Por lo tanto, todas las actividades deben de ser enfocadas a esa meta. Esta teoría utiliza tres indicadores que son:

- “Throughput”. La velocidad a la que el sistema genera dinero a través de las ventas.
- Inventario. Todo el dinero que el sistema ha invertido en comprar cosas que pretende vender.
- Gasto de operación. Todo el dinero que el sistema gasta en transformar el inventario en “throughput”.

Se debe de aumentar el “throughput” y disminuir los inventarios y gastos de operación. La teoría de restricciones define también al cuello de botella como recurso cuya capacidad es igual o menor a la demanda que hay de él [183].

3.7 Teoría de colas

Teoría de colas fue desarrollada por A.K. Erlang en 1904 para ayudar a determinar los requerimientos de capacidad del sistema de teléfonos Danés. Desde entonces se ha aplicado a un gran rango de industrias de servicio incluyendo bancos, aerolíneas, y centros de atención telefónica, policía, bomberos, y en varias áreas del sector salud. Modelos de colas pueden ser muy útiles en identificar niveles apropiados de personal, equipo y camas, así como tomar decisiones sobre la asignación de recursos y el diseño de nuevos servicios. A diferencia de las metodologías de simulación, modelos de colas requieren muy pocos datos y consiste en

simples ecuaciones para predecir varias mediciones de desempeño como el tiempo de espera promedio o la probabilidad de esperar más de un tiempo dado antes de ser atendido [189].

3.8 Fundamentos de pruebas de hipótesis

En el desarrollo de la tesis se incluyen varias pruebas de hipótesis por lo que en esta sección se describen conceptos básicos:

Hipótesis estadística. Es una afirmación sobre los valores de los parámetros de una población o proceso que puede probarse a partir de la información contenida en una muestra.

Errores estadísticos. Al realizar pruebas de hipótesis estadísticas existen dos tipos de errores, estos son:

- Error tipo I. Cuando se rechaza una hipótesis que debió haber sido aceptada. Representado con el símbolo α .
- Error tipo II. Cuando se acepta una hipótesis que debió haber sido rechazada. Representado con el símbolo β .

En las pruebas de hipótesis estadísticas al utilizar $\alpha=.05$ significa que por cada 100 veces independientes que se aplica el procedimiento y se rechaza H_0 , se espera que en un promedio de 95 veces, tal decisión sea la correcta. Por lo general, en las pruebas de hipótesis se especifica el valor de α y se diseña la prueba de tal forma que el valor de β sea pequeño. Esto es, la probabilidad del error tipo I se controla directamente, mientras que la probabilidad del error tipo II se controla de manera indirecta con el tamaño de la muestra, ya que a más datos β será menor. En otras palabras, con una muestra grande es mayor la potencia de la prueba, es decir, se incrementa la probabilidad de rechazar H_0 si esta es falsa [172].

Valor-p. Si la prueba de hipótesis se hace utilizando un paquete de cómputo estadístico, este generará como resultado el valor-p, que es la significancia observada. Por ejemplo si la significancia observada o valor-p es igual a .0001, entonces solo hay una probabilidad a favor de H_0 de 0.0001, que es menor del que se está dispuesto a admitir, típicamente $\alpha=.05$. En

otras palabras, un valor $=.0001$ nos señala que el valor observado del estadístico de prueba prácticamente no tenía ninguna posibilidad de ocurrir si la hipótesis nula fuera verdadera, lo que lleva a concluir de manera contundente que la H_0 debe rechazarse [172].

Capítulo 4

Esquema de análisis y mejora del flujo de pacientes propuesto

En base a la revisión de la literatura, la línea principal de investigación seguida en este trabajo de tesis fue “Modelos integradores de mejora del flujo de pacientes”, no obstante otras líneas de investigación identificadas fueron utilizadas como apoyo en la elaboración del esquema tales como “Pensamiento esbelto “Lean” en hospitales”, “Simulación de eventos discretos y diseño de experimentos”, “Aplicación de teoría de colas en problemas del sector salud” entre otras.

Como puede observarse en la revisión de la literatura de la línea “Modelos integradores de mejora del flujo de pacientes” presentada en el estado del arte, hay muy pocos análisis sobre esta línea y los trabajos encontrados tienen puntos débiles. En los siguientes párrafos se hace un análisis de los trabajos publicados sobre el tema.

Hall et al. en el 2006 [7] propusieron como enfoques principales para mejorar el flujo de pacientes la planeación del proceso y la medición del desempeño. Además recomiendan tres pasos jerárquicos para mejorar los sistemas estos son: 1) alterar el proceso de servicio, 2) alterar el proceso de llegadas y 3) alterar el proceso de colas. Definitivamente considerar la planeación del proceso, el cual desde su enfoque consiste en mapear el proceso y rediseñarlo para hacerlo más eficiente, así como la medición del desempeño son pasos clave en cualquier enfoque de mejora del flujo de pacientes. No obstante, los pasos jerárquicos que proponen aunque acertados no especifican la metodología a seguir para llegar a las soluciones de mejora, esto incluye los métodos a utilizar y la toma de decisiones.

Chand et al. en el 2009 [6] presentaron una propuesta para la mejora del flujo de pacientes pero su enfoque está orientado a utilizar simulación cuando se pueden utilizar otras herramientas de análisis como teoría de colas, programación entera, programación lineal entre

otras. Por otro lado no considera el enfoque “Lean”, el cual ha mostrado gran éxito en la mejora de hospitales con la participación del personal en todos los niveles.

Naseer, Eldabi y Young en el 2010 [5] presentaron un avance de su herramienta “RIGHT Toolkit selection” la cual recomienda métodos de modelación y simulación a utilizar en base a características del problema a resolver en el área del sector salud. No obstante, aún que los métodos considerados son muchos más que los de Chand et al. [6], Naseer et al. solo consideran métodos de modelación y simulación excluyendo otros métodos de investigación de operaciones y de igual forma no consideran el enfoque de mejora “Lean”. Por otro lado sólo recomiendan la herramienta pero no indican una ruta a seguir en el desarrollo del proyecto.

En base a las limitaciones de los enfoques encontrados en la literatura y de las experiencias obtenidas al aplicarse en un caso de estudio se propone un esquema de análisis y mejora del flujo de pacientes, presentado en la figura 4.1, descrito en este capítulo junto con la respectiva justificación de cada una de sus etapas.

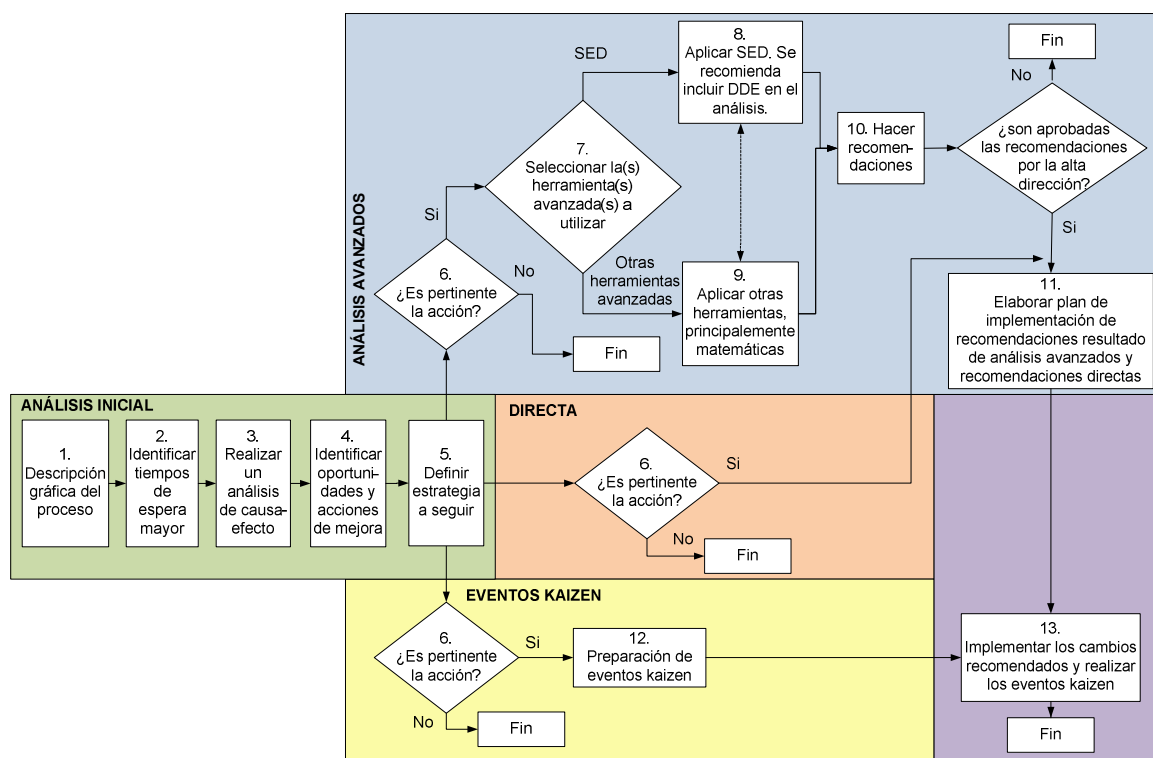


Figura 4.1 Esquema propuesto de mejora y análisis del flujo de pacientes.

El esquema presentado en la figura 4.1, se divide prácticamente en cuatro secciones descritas a continuación.

Análisis inicial

Esta primera sección consiste principalmente de un análisis inicial cuyos objetivos son:

- 1) Conocer el proceso.
- 2) Identificar los procesos con mayores tiempos de espera.
- 3) Identificar las causas de esperas.
- 4) Identificar oportunidades de mejora.
- 5) Identificar posibles acciones de mejora.
- 6) Determinar el tipo de estrategia a seguir ya sea de utilizar análisis avanzados, eventos kaizen o implementación directa de las mejoras.

Esta sección no requiere de herramientas complejas, tampoco se recomiendan porque dificultarían la participación del personal al requerir capacitación en herramientas de análisis avanzadas. Por el contrario las herramientas de análisis a utilizar en esta etapa son muy fáciles de aplicar y entender por el personal sin necesidad de tener conocimientos previos. Las herramientas utilizadas en esta sección son diagramas de flujo, Paretos, diagramas de causa y efecto y lluvia de ideas.

La justificación de la inclusión de la sección de análisis inicial se basa en dos razones principales:

1. Primeramente se debe analizar el sistema sin complejidades. Varios problemas del flujo de pacientes pueden ser resueltos sin necesidad de realizar análisis avanzados o la utilización de herramientas complejas. Por el contrario en esta sección la herramienta principal es la observación del sistema. En la literatura se encuentran proyectos para mejorar el flujo de pacientes que directamente se enfocan a utilizar soluciones complejas

sin haber evaluado primeramente alternativas de solución más simple. Una razón de lo anterior se responde basándose en el comentario hecho por Brailsford en su artículo “Overcoming the barriers to implementation of operations research simulation models in healthcare” [157] donde argumenta que aunque los hospitales quieren tener una solución que funcione y de resultados, los profesores o investigadores quieren publicar una solución bastante compleja para ser aceptada en una revista arbitrada.

2. Desde un inicio los propietarios de los procesos deben de estar involucrados. El proyecto debe de incluir la participación del personal multidisciplinario (médicos, enfermeras, administrativos, personal de intendencia, entre otros) porque los propietarios de los procesos son los que mejor conocen el sistema bajo estudio. Por otro lado la participación del personal a lo largo del proyecto asegura la implementación de las recomendaciones resultantes al considerar como propios los resultados y no una imposición de un grupo de analistas externos. Tomemos como referencia la encuesta de Wilson en 1981 [34] sobre proyectos de simulación en el sector salud quien encontró que de 200 artículos, únicamente 16 de ellos reportaron una implementación exitosa y en otra encuesta similar en el 2003 por Fone et al. [47] se encontró que de 182 artículos publicados entre 1980 y 1999, solo muy pocos de ellos presentaban una implementación. Más recientemente la encuesta similar de Brailsford en el 2009 [46], donde de 342 artículos solo 18, equivalente al 5.3%, fueron implementados de manera exitosa. Brailsford en 2005 [157] argumentó que uno de los factores de éxito de los artículos que presentan una implementación es que al menos uno de los autores trabaja en la institución. De manera similar Wilson en 1981 [34] recomendó para una implementación exitosa la participación del tomador de decisiones en el proyecto. Hanna y Sethuraman en 2005 [152] comentaron que los resultados más significativos en proyectos del sector salud han sido logrados con esfuerzos liderados por un equipo representando todos los empleados relacionados con la problemática. Lo anterior resalta la importancia de involucrar al personal de todos los niveles en los proyectos para lograr una implementación exitosa.

Resumiendo, la fortaleza de esta sección en el esquema es la observación y participación de equipos multidisciplinarios.

Al terminar esta sección se tendrá una perspectiva del proceso, causa de las esperas, oportunidades de mejora (problemas), posibles acciones de mejora (soluciones) y se determina si la mejora propuesta requiere utilizar herramientas de análisis avanzadas para su logro o es más conveniente resolverse a través de un evento kaizen o la solución es tan simple que se obtuvo durante el análisis inicial. Se recomienda utilizar herramientas de análisis avanzadas cuando las acciones de mejora requieren de una inversión significativa, implican un riesgo, hay cierta incertidumbre sobre los resultados, se requiere la evaluación previa antes de su implementación, o se requiere experimentación y optimización para encontrar la mejor solución. Cuando las posibles acciones de mejora no tienen alguna (s) de las características anteriores, sino por el contrario son acciones de mejora simples y fáciles de implementar, pero que requieren del trabajo en equipo y participación del personal, se recomienda realizar eventos kaizen. Por último la alternativa “directa” la cual no se requiere de mayor análisis o trabajo en equipo para presentarse e implementarse.

Análisis avanzados

SED

En análisis avanzadas, para el problema de mejorar el flujo de pacientes, SED es la herramienta de elección para este tipo de problemas por lo que se considera de manera particular. A continuación se exponen las razones:

- a) **Permite modelar sistemas complejos como lo son hospitales.** Un hospital es complejo debido a su:
- Aleatoriedad. Los eventos son aleatorios, por ejemplo: llegadas de pacientes, tiempos de estancia y tipo de procedimientos.
 - Variabilidad. Por ejemplo la razón de llegadas cambia con respecto al tiempo y los tiempos en salas o quirófanos varían dependiendo del procedimiento.
 - Gran cantidad de factores. El analizar el flujo de pacientes involucra varios factores como lo son enfermeras, médicos, personal de limpieza, camas, quirófanos y equipo de análisis.

- Varios procesos. Los pacientes desde su llegada pasan por varios departamentos y en cada uno de ellos se realizan diversos procesos.
- Recursos flotantes. Por ejemplo algunos médicos especialistas no se quedan de manera fija en un área sino que su tiempo se divide en consultas, emergencias, pacientes hospitalizados, quirófanos y administración.

Tomemos de referencia los estudios de Davies y Davies en 1994 [82] y Stafford en 1978 [83] donde comparan SED a varias técnicas matemáticas como análisis de cadenas de Markov, análisis de cadenas semi-Markov, análisis de entradas-salidas y análisis de colas. Encontraron que SED se ajusta bien para modelar sistemas de salud debido a la complejidad del sistema mientras que muchas técnicas de optimización, como programación lineal, tienen una limitada capacidad para caracterizar las complejidades de sistemas médicos. Una técnica de optimización puede requerir muchas suposiciones irreales sobre el proceso, resultando en soluciones inválidas e irreales. Por su parte Karnon y Brown en 1998 [78] compararon los árboles de decisión, cadenas de Markov y SED. Comentan que las ventajas principales de SED es que permite modelar sistemas más complejos y dinámicos, permite experimentación y capturar más detalles sobre la incertidumbre del sistema modelado.

- b) **Permite incorporar detalles del sistema.** A diferencia de modelos matemáticos o modelos de dinámica de sistemas, los modelos de simulación permiten detallar el sistema, por ejemplo se pueden desglosar el proceso de una consulta o revisión médica. Los dos puntos anteriores se relaciona con el comentario de Brailsford en 2001 [35] quien comenta que los modelos de Dinámica de Sistemas no son apropiados para una modelación detallada y se desempeñan pobremente con variación estocástica. Por otro lado Davies y Davies en 1994 [82] argumentan que modelos de optimización no pueden ser usados para estudiar los detalles de las operaciones diarias de una clínica médica, como programación de citas, rutas y prioridades de servicio, las cuales pueden ser fácilmente capturadas por un modelo de SED.
- c) **Permite experimentar sin interferir en el sistema real.** Los sistemas en hospitales son delicados porque 1) no permiten observaciones de personas ajenas al proceso debido a la privacidad de los pacientes y porque 2) no permiten hacer experimentaciones que pudieran

interferir con la salud de los pacientes. Con el modelo de simulación, el sistema puede ser observado para su análisis y se pueden realizar experimentos sin interferir en la salud de los pacientes. Con lo anterior a través de la simulación nos aseguramos que las mejoras propuestas tengan un impacto positivo antes de realizar los cambios en el sistema real.

En conjunto con la Simulación de Eventos Discretos se propone utilizar diseño de experimentos para identificar estadísticamente el escenario o niveles de operación que se recomiendan. La simulación de eventos discretos permite obtener un modelo digital del sistema real con el cual pueden probarse varios escenarios. No obstante el recomendar un escenario puede ser una decisión amplia de alternativas por lo que se propone utilizar el diseño de experimentos dentro del esquema para determinar la significancia estadística de los diferentes escenarios, es decir la diferencia entre escenarios. Especialmente se recomienda utilizarse en la determinación de alternativas del número de recursos porque el sistema siempre tendrá un beneficio al incrementar recursos pero llega un momento en el que no es significativo sobre la respuesta, en este caso el flujo de pacientes.

Otras herramientas avanzadas

SED no es la única herramienta de análisis de mejora estratégica por lo que se considera la utilización de otras herramientas avanzadas, en su mayoría matemáticas, de manera individual o en conjunto con SED. Si solo se utilizan técnicas matemáticas, a diferencia de SED, se tiene la ventaja de obtener resultados en un tiempo menor (SED requiere por lo general un mínimo 3 meses), con una menor cantidad de datos y en muchos de los casos una inversión menor. SED requiere de un tiempo considerable para su logro, principalmente esto es debido a que se requiere una cantidad significativa de datos y a que la mayoría de las instituciones no cuentan con la información de manera electrónica o es inexistente, por lo que tiene que ser colectada directamente requiriendo una gran cantidad de tiempo. Tomemos de referencia a Davies y Davies en 1994 [82] quienes comentan que modelos de optimización requieren únicamente una corrida experimental para producir soluciones óptimas o casi óptimas mientras que los modelos de simulación requieren una gran cantidad de esfuerzo en tiempo, costo y colección

de datos. Por otro lado también se pueden utilizar técnicas matemáticas para complementar el análisis de SED como lo son técnicas de optimización las cuales incluso ya están incorporadas en los paquetes de simulación. Algunos ejemplos de herramientas matemáticas incluye: teoría de colas, métodos de ecuaciones diferenciales, análisis de cadenas de Markov, análisis de cadenas semi-Markov, análisis de entradas-salidas, programación lineal, programación entera, árboles de decisión, entre otros.

Algunos ejemplos de acciones de mejora que pueden requerir análisis avanzados son las siguientes.

1. Rediseño de distribución de espacios.
2. Balanceo de recursos como camas, equipo y de personal.
3. Incorporación de recursos como quirófanos, equipo, personal.
4. Incorporación de un proceso, tales como:
 - Clasificar “Triage”. Proceso de evaluación inicial por una enfermera. En esta etapa pueden tomarse signos vitales y valoración de la gravedad del paciente. Además de lo anterior la enfermera puede clasificar el paciente según su gravedad.
 - Ruta rápida “fast track”. Método de atención de pacientes donde un médico evalúa y atiende los casos que pueden resolverse en un tiempo corto.
 - Mirar y tratar “see and treat”. Lo mismo que “fast track” pero esta terminología es utilizada en el Reino Unido.
5. Políticas de atención de pacientes.

Después de realizar los análisis utilizando las herramientas avanzadas, se presentan las recomendaciones a la dirección quien finalmente es quien las aprueba o no. Mientras mejor estén fundamentadas las recomendaciones habrá mejor convencimiento del cliente de adaptar las propuestas para su implementación. Si las recomendaciones son aprobadas se procede a elaborar un plan para la implementación de dichas recomendaciones.

Eventos “kaizen”

Como ya se mencionó si la mejora propuesta no requiere de herramientas avanzadas para su análisis, pero se requiere participación del personal y trabajo en equipo para su implementación se recomienda llevar a cabo eventos “kaizen” de la filosofía “lean”.

Se deben de llevar a cabo los eventos “kaizen” después de implementar las recomendaciones resultantes de análisis avanzados para que no se pierda el trabajo invertido, por ejemplo un evento kaizen puede ser organizar un área pero una de las mejoras después de utilizar herramientas avanzadas es hacer una redistribución total del área por lo que los esfuerzos del evento “kaizen” se perderían si se realizan antes de la redistribución. No obstante, esto no es una regla rígida y en caso que los eventos “kaizen” pueden realizarse antes de las propuestas resultantes de análisis avanzados, definitivamente no hay ningún obstáculo para realizarse.

Se incluye la incorporación del pensamiento “lean” en el esquema a través de la realización de eventos kaizen debido a lo siguiente:

- **Mejoras sencillas y de bajo costo.** Hay una gran cantidad de mejoras las cuales pueden realizarse sin necesidad de llevar a cabo análisis complejos, esto es porque son mejoras las cuales no requieren generalmente una gran inversión y se realizan en un corto tiempo.
- **Eliminar la resistencia al cambio.** Se requiere incluir en el esquema la participación directa y constante del personal en la mejora del sistema. Si el personal se involucra en las soluciones, es más probable que este le de seguimiento, es decir se disminuye la resistencia a los cambios implementados.
- **El personal conoce mejor el sistema.** No hay nadie mejor que el personal directo del proceso para identificar los problemas e incluso sus soluciones.
- **Mantener el interés del personal.** A diferencia de la simulación, la cual requiere una gran cantidad de datos y tiempo considerable para su desarrollo, al realizar eventos kaizen se pueden obtener mejoras inmediatas por el personal.
- **Constancia en el sistema de mejoras.** Cuando el estudio termine, se podrá continuar con la realización de eventos “kaizen” para mantener el sistema de mejoras. La

realización de eventos “kaizen”, a diferencia de la simulación u otras herramientas avanzadas, no requiere de especialistas por lo que se puede establecerse como una de las actividades más dentro del centro de trabajo pues puede desarrollarse adecuadamente por el personal de salud con muy poca capacitación sobre el tema.

“Lean” es uno de los métodos de mejora más utilizadas en el sector salud, tomemos como respaldo las revisiones por Young del 2004 [28] y Brandao de Souza del 2009 [17]. También en la literatura se encuentran aplicaciones de otros métodos de mejora como seis sigma, teoría de restricciones, reingeniería y “StuderGroup’s Hardwiring Excellence”; no obstante se optó por eventos “kaizen” de la filosofía “lean” debido a su simplicidad, porque involucra al personal de todos los niveles y más que un método es una filosofía de trabajo la cual fomenta el respeto, trabajo en equipo y el pensamiento de mejora continua.

Algunos ejemplos de mejoras que pueden realizarse con eventos “kaizen” son las siguientes:

1. Implementación de 5S para mejorar la organización del lugar de trabajo.
2. Aplicación de SMED para la preparación de quirófanos y camas.
3. Implementación de “kanban” para el control de inventarios de suministros médicos.
4. Almacenes en puntos de uso. Se refiere a tener el material en los lugares donde se ocupa el material y reducir los transportes. Los puntos de uso pueden ser camas, consultorio, quirófano, etc.
5. Estandarización de operaciones utilizando ayudas visuales y listas de verificación.
6. Andons que muestren el estado de pacientes, trabajadores o procesos.
7. Revisión y actualización de formatos.
8. Eliminación de procesos innecesarios.

Directa

Como parte de la retroalimentación de la experiencia del caso de estudio, presentado en el siguiente capítulo, se identificaron problemas detectados principalmente por el personal cuya solución es muy directa u obvia, por lo que no requiere de estudios adicionales, además no requiere una gran inversión, ni tampoco de la participación de un equipo multidisciplinario del

personal para apoyar en su implementación, el único requerimiento es que la dirección de la institución apoye las recomendaciones para realizarse. Un ejemplo de esto es la reparación de las llaves de agua.

Para la realización del proyecto de mejora se requiere la participación de un equipo multidisciplinario conformado por directivos, personal directo del proceso afectado, un líder del proyecto, un asesor ya sea externo o interno y analistas de apoyo. A continuación se describen cada uno de estos participantes y su importancia.

- **Directivos.** Se refiere a personal con el cargo de director, subdirector, jefe de área o supervisor. Mientras mayor sea el rango de los directivos participantes, mayor es el impacto en el desarrollo del proyecto. Es importante que se involucre personal directivo porque al final son los que toman las decisiones, además, facilitan la asignación de recursos monetarios para el desarrollo del proyecto, facilitan las gestiones interdepartamentales, motivan al personal con su sola participación y la revisión de las recomendaciones finales se simplifica en gran medida debido a que han seguido el proyecto a lo largo de sus etapas.
- **Personal directo.** El personal directo se refiere a los trabajadores que operan el proceso día a día, estos varían dependiendo de la problemática pero comúnmente se incluyen enfermeras, doctores, técnicos clínicos, personal de limpieza o de mantenimiento. El personal directo es clave porque son los que mejor conocen los procesos y son los responsables del mantenimiento de los cambios.
- **Líder del proyecto.** Se debe de designar a un líder de proyecto entre el personal de la institución quien dará seguimiento a la realización del proyecto y coordinará los recursos humanos y disponibles para la obtención del objetivo.
- **Asesor.** El asesor es la persona con conocimientos teóricos y prácticos de las técnicas incluidas en el esquema de mejora. Esta persona se encarga de que las técnicas sean aplicadas adecuadamente, desarrollar el análisis avanzado y auxiliar en la realización de eventos kaizen. El asesor puede ser un empleado de la institución o externo.
- **Analistas.** Los analistas apoyan en las actividades de colección de información, documentación del proyecto, análisis de la información y aportación de ideas. Los

analistas pueden ser personal de la misma institución, estudiantes de servicio social de una institución educativa, o personal del asesor externo.

A continuación se describe detalladamente el esquema propuesto.

Descripción detallada del análisis inicial

La primera sección del esquema es un análisis del sistema el cual inicia con la observación directa del sistema, procede con un análisis de identificación de cuellos de botella, sus causas y concluye con una lista de oportunidades y acciones de mejora propuestas. Esta sección parte considerando que el objetivo es incrementar el flujo de los pacientes, es decir reducir tiempos de espera. Las herramientas utilizadas son simples pero poderosas tales como diagramas de flujo, gráficos de Pareto y diagramas de causa y efecto. En la sección del análisis inicial se recomienda que participe todo el equipo interdisciplinario.

El procedimiento de análisis recomendado se presenta a continuación:

Paso 1. Descripción del proceso de manera gráfica

Se refiere a describir gráficamente los diferentes procesos por los que pasan los pacientes. Hay diferentes técnicas para describir los procesos gráficamente, entre estas se encuentran diagramas de flujo básico, diagramas de flujo de despliegue, mapas de flujo de valor, SIPOC, y IDEFO [54 y 168]. Se recomienda utilizar un diagrama de flujo básico porque es más simple de elaborar y es más organizada la presentación de procesos con decisiones múltiples las cuales por lo general se incluyen en el flujo de pacientes. Esta herramienta permitirá conocer el proceso y las diferentes decisiones que se toman. Al hacer el diagrama de flujo se recomienda coleccionar tiempos de los procesos para poder hacer el análisis inicial con la dimensión de tiempo. La colección de tiempos en esta etapa no debe de ser exhaustiva aunque si se tiene acceso a más datos mucho mejor. Lo importante de esta etapa es identificar oportunidades de mejora.

Paso 2. Identificar los tiempos de espera mayor

La identificación de tiempos de espera mayor puede hacerse a través de una tabla de datos, histograma o un diagrama de Pareto. No obstante se recomienda utilizar un diagrama de Pareto porque muestra gráficamente los datos, los ordena de mayor a menor (a diferencia del histograma) y además permite agrupar elementos en base al impacto en porcentaje porque también presenta el porcentaje acumulativo.

Paso 3. Realizar un análisis de causa-efecto

Hacer un análisis causa raíz de los mayores tiempos de espera. Algunas de las técnicas utilizadas son el diagrama de Ishikawa o de pescado, los 5 por qué, los Paretos de dos niveles o más y la matriz de causa y efecto. La herramienta recomendada en esta fase es el diagrama de Ishikawa porque presenta de manera gráfica y clara el efecto y las posibles causas, por otro lado al igual que la gráfica de Pareto el análisis puede hacerse en más de un nivel con lo que se combinaría con la técnica poderosa de los 5 por qué. Para la realización del diagrama se recomienda hacer una lluvia de ideas de tal forma que todos los participantes tengan igual oportunidad de participar.

Paso 4. Identificar oportunidades y posibles acciones de mejora

Las oportunidades de mejora son problemas en el sistema que impiden el flujo de los pacientes. La identificación de oportunidades de mejora se realiza con referencia a las causas de los tiempos de espera mayor pero no se limita, así que también se pueden incluir otros aspectos generales que el equipo de trabajo detecte. Se recomienda hacer el ejercicio utilizando la técnica de lluvia de ideas en donde todo el equipo opina sobre las posibles oportunidades de mejora. De igual forma después se realiza otra lluvia de ideas para identificar posibles acciones de mejora para las oportunidades de mejora detectadas. Se manejan como posibles acciones de mejora porque se requerirán más análisis antes de que se definan las

acciones de mejoras específicas y definitivas pero al plantearlas permitirá identificar la complejidad de las soluciones y poder determinar la estrategia a seguir.

Paso 5. Clasificar las oportunidades y acciones de mejora

En esta etapa se clasifican las oportunidades y acciones de mejoras en la estrategia a seguir ya sea en análisis avanzados, eventos kaizen o simplemente recomendaciones directas que no requieren mayor preámbulo. Si las oportunidades y acciones de mejora requieren de una alta inversión para su implementación o la complejidad para resolver el problema al nivel de detalle que se desea es alta se recomienda utilizar herramientas avanzadas para análisis posteriores de tal forma que se defina la mejor propuesta de solución al problema o al menos justificar la alta inversión. En caso de que el problema no es complejo para determinar su solución en el nivel de detalle que se desea, ni tampoco requiere una gran inversión entonces la oportunidad y acción de mejora se puede clasificar como directa o eventos kaizen. Si la acción de mejora para su implementación requiere la participación de un equipo multidisciplinario entonces se recomienda utilizar eventos kaizen de lo contrario solo quedará como una recomendación directa. A continuación se presenta el diagrama de flujo para la clasificación de las oportunidades y acciones de mejora.

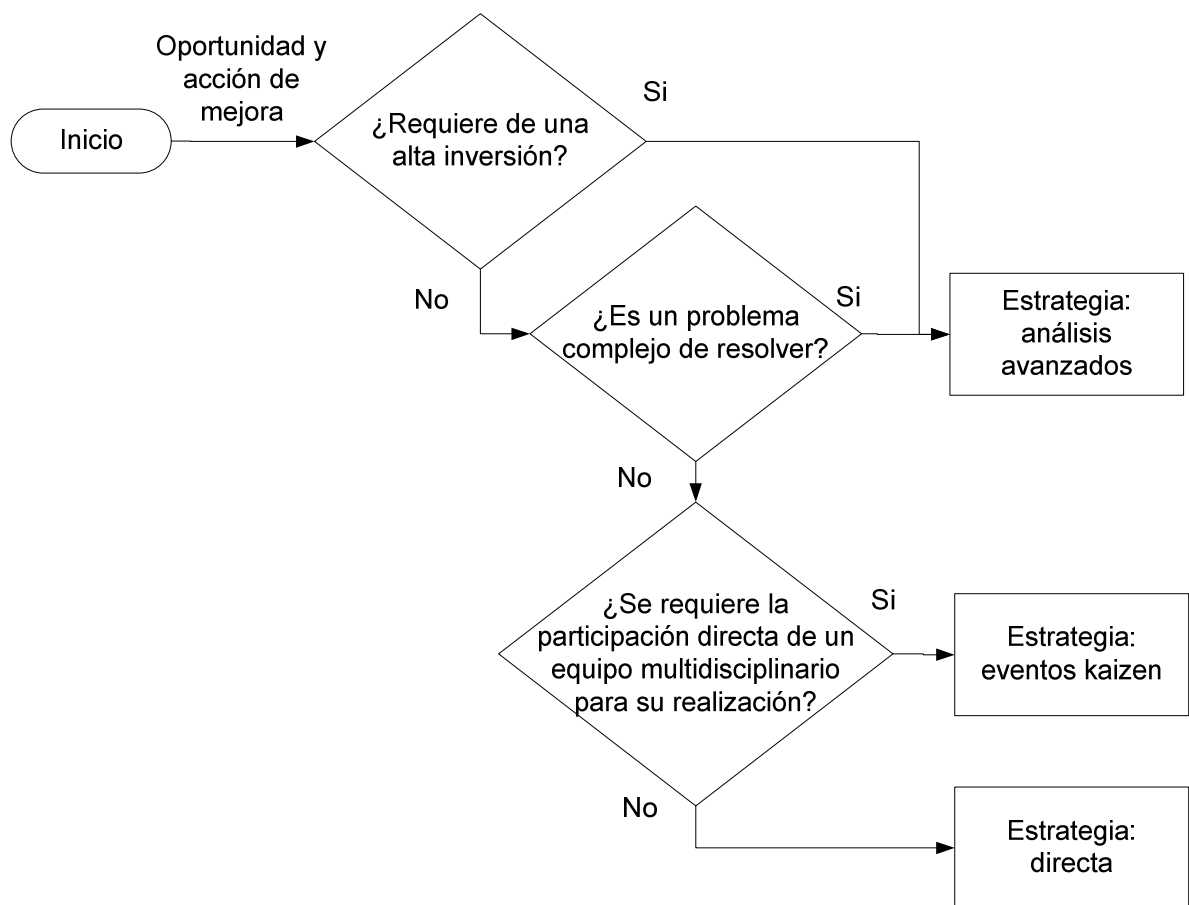


Figura 4.2 Diagrama de flujo para clasificar las oportunidades y acciones de mejora en base a su estrategia.

Para mejorar el entendimiento de las decisiones a tomar al momento de hacer la clasificación a continuación se describen los tres puntos de decisión.

- **Inversión.** Cuando se invertirá una gran cantidad de recursos monetarios en los cambios es mejor realizar estudios precisos utilizando herramientas avanzadas antes de emprenderlos para asegurar que la inversión no sea en vano, por otro lado cualquier inversión alta necesitará ser justificada de manera apropiada con los análisis respectivos. Cada institución tiene definido que es una alta inversión pero podemos tomar de referencia acciones de mejora que requieran más de 10,000 pesos para su desarrollo e implementación.

- **Complejidad.** Si el problema es muy complejo de analizar requerirá de herramientas avanzadas para su análisis y solución. En el caso contrario si es simple, no ocupará de herramientas complejas y podrá ser resuelto a través de un evento “kaizen” o de manera directa.
- **Equipo multidisciplinario.** Si la acción de mejora requiere la participación directa de un equipo multidisciplinario para su realización, debido a que es vital el involucramiento del personal para conocer su percepción y lograr una implementación exitosa entonces la estrategia recomendada a seguir son los eventos kaizen. Si no es necesaria el involucramiento del personal de manera directa entonces la estrategia es simplemente hacer la recomendación directamente.

Esta etapa se recomienda que participe al menos uno de los directivos con respecto al punto de inversión, por el asesor con respecto a la complejidad y por el líder con respecto al impacto.

Paso 6. Determinar si las acciones de mejora propuesta son pertinentes

Tanto para las acciones de mejora clasificadas con la estrategia de análisis avanzados o de eventos kaizen, es necesario que la alta dirección las revise y autorice antes de darles seguimiento. Finalmente la alta dirección es la que autorizará la asignación de recursos y tiempos para cualquier acción. Además de lo anterior la alta dirección considera las políticas institucionales, sindicato de trabajadores, alcance e impacto en la institución.

Para los casos en los que la estrategia se cataloga como directa, simplemente se presentan las recomendaciones a la dirección de la institución de manera directa para evaluar su pertinencia. Estas recomendaciones no requieren una gran inversión, su implementación no afecta al personal o los pacientes, incluso pueden llegar a ser muy obvias y solicitadas por todos. Algunos ejemplos de acciones directas son reparar una llave de agua goteando, instalar un sistema de voceo en información, reparar una loseta del piso suelta o colocar letreros describiendo áreas. Aunque estas recomendaciones son simples es importante considerarlas

porque surgen principalmente de las inquietudes del mismo personal y para ellos pueden ser estresantes en su trabajo diario.

En cualquiera de las estrategias anteriores, si la dirección no las aprueba, termina la ruta para esa acción de mejora.

Análisis avanzados

Esta sección es dirigida por el asesor pero de igual forma participan en las diferentes etapas los demás integrantes del equipo multidisciplinario.

Paso 7. Seleccionar la(s) herramienta(s) avanzada(s) a utilizar

La responsabilidad de seleccionar las herramientas avanzadas a utilizar recae en la persona que funge como asesor pues es quien conoce las diferencias entre las herramientas y su aplicación, los directivos pues la elección de las herramientas también influye un factor de costos y tiempo autorizado por éstos y el líder de proyecto pues es quien representa la percepción del sistema sobre las herramientas a utilizar. Como ya se mencionó, para el análisis de flujo de pacientes en la literatura se recomienda como herramienta de elección SED, no obstante, aunque SED tiene sus ventajas también tiene desventajas las cuales a continuación se presentan:

Ventajas

1. Permite caracterizar complejidades de los sistemas de salud los cuales es difícil modelar de manera matemática. Davies y Davies en 1994 [82] y Stafford en 1978 [83].
2. Debido al punto anterior los modelos de simulación son más precisos que los modelos matemáticos. Davies y Davies en 1994 [82] y Stafford en 1978 [83].
3. Permite experimentar con el modelo del sistema evaluando diferentes factores a la vez sin interferir con el sistema real.

Desventajas

1. Se requiere una gran cantidad de datos para construir un modelo y en el caso de hospitales esto puede complicarse por la privacidad de los pacientes. Tomemos como referencia el estudio de Rossetti et al. en 1999 [41], el cual requirió 1350 horas-hombre para obtener los tiempos de 16250 elementos estandarizados de operaciones que realizan los pacientes o personal en 5 hospitales.
2. A comparación del uso de herramientas matemáticas, aplicar SED requiere de un tiempo considerable. Davies y Davies en 1994 [82] y Stafford en 1978 [83].
3. Debido principalmente al tiempo invertido, SED requiere una mayor inversión que el utilizar técnicas matemáticas. Davies y Davies en 1994 [82] y Stafford en 1978 [83].

Debido a las desventajas anteriores el asesor, directivos y líder de proyecto deben evaluar otras técnicas disponibles para analizar el problema como teoría de colas, programación lineal, programación entera, cadenas de Markov, método de transporte, método de asignación, métodos de optimización, entre otros. Las técnicas matemáticas tienen la ventaja de realizarse en un menor tiempo, requerir menos datos y una menor inversión en comparación con SED pero sacrifican precisión por la falta de inclusión de detalles considerados en modelos de SED.

Paso 8. Aplicar simulación de eventos discretos, recomendando incluir diseño de experimentos

Si se opta por SED como técnica avanzada de análisis, en esta sección se desarrollan los pasos a seguir. Aunque el asesor sea responsable de la programación del modelo, el personal, líder de proyecto y directivos participan en el desarrollo del modelo conceptual, validan que cada una de las etapas del modelo se apegue al sistema real y participan de manera interactiva en la experimentación y análisis. La metodología utilizada para utilizar SED, está basada en los 8 pasos presentados por Pritsker en 1993 [166], aunque la esencia es la misma se detallan los pasos y se resalta la importancia de la participación del cliente en el proceso. A continuación se describen los pasos para realizar la Simulación de eventos discretos.

Paso 8.1 Formulación del problema

Aunque se sabe que el objetivo general es mejorar el flujo de pacientes al aplicar SED debemos de definir cuál es el problema específico por la que necesitamos construir el modelo. El problema se deriva de una propuesta de mejora previamente planteada la cual requiere de análisis avanzados. Dependiendo del caso de estudio el objetivo puede variar, por ejemplo puede utilizarse la simulación para rediseñar el área del hospital de tal forma que se reduzcan los tiempos de transporte, distribuir al personal en los diferentes horarios de trabajo para balancear la carga de trabajo, determinar políticas de programación en quirófanos para reducir tiempos de estancia de los pacientes y optimizar el recurso, entre otros. La formulación del problema requerirá cumplir con los siguientes 3 puntos.

- **Describir el problema.** Se refiere a describir una problemática actual u oportunidad de mejora del sistema. La problemática u oportunidad de mejora fue identificada en el punto 4 y el asesor en conjunto con los directivos y líder de proyecto eligieron SED como la técnica de análisis avanzada más apropiada para ese problema u oportunidad de mejora en base a las características de complejidad de análisis o inversión.
- **Definir el objetivo.** El objetivo debe responder a la solución del problema u oportunidad de mejora establecida. En el objetivo se establece lo que se pretende lograr con SED y se recomienda que contenga un elemento numérico sobre algún o varios métricos de salida. Cabe hacer mención que el objetivo lo definen, los directivos, líder de proyecto y asesor. Algunos ejemplos de objetivos son: “Determinar políticas de atención a pacientes de tal forma que se reduzca el tiempo promedio de espera para ser atendidos en el departamento de emergencias al menos en un 30%” o “Asignar personal médico a los diferentes horarios para balancear su utilización con una diferencia máxima del 10%”.
- **Definir alcance y restricciones.** Delimitar claramente las fronteras del estudio de simulación. Esto se refiere a indicar las áreas que abarcará como almacén, registro, quirófanos e indicar los aspectos o procesos relacionados que se incluirán en el análisis por ejemplo: programación de quirófanos, surtido de medicinas o fallas de equipos. Las restricciones son aspectos que por alguna razón no se podrán tratar o límites en los recursos. Algunos ejemplos de restricciones son: no incluir cuestiones de costos en el análisis, no considerar como solución incrementar al personal o un monto máximo de

100,000 pesos para el desarrollo del proyecto. Tanto el alcance como las restricciones son definidas de igual forma por los directivos, líder de proyecto y asesor.

Paso 8.2 Formación de un equipo de trabajo específico para SED con personal de diferentes niveles

Este punto no se encuentra especificado en la literatura actual pero debido a la importancia de participación del personal involucrado se especifica como una de las fases en la metodología. Aunque se tiene un equipo de trabajo base formado desde el análisis inicial en este punto es importante revisar en base al objetivo y alcance qué personal es necesario que participe en el equipo de trabajo para SED. Es decir no necesariamente son los mismos integrantes del análisis inicial. No obstante se recomienda mantener constante al líder de proyecto porque es quien tiene la visión y a los directivos involucrados para mantener su respaldo. Aun con los posibles cambios en personal directo y analistas se sigue manteniendo la misma estructura del equipo del análisis inicial la cual comprende directivos, personal directo, líder de proyecto, asesor y analistas.

Paso 8.3 Diseño del modelo conceptual

Esta fase consiste en describir con texto y diagramas el funcionamiento del sistema a modelar. Un modelo conceptual describe los elementos del sistema, sus características, procesos e interacciones, y políticas en base a la formulación del problema. El modelo conceptual es construido por el equipo de trabajo, donde los analistas recaban la información, el personal directo apoya en el registro y proporción de la información y todo el equipo valida el modelo conceptual. El modelo conceptual debe de contener los siguientes elementos:

- **Descripción del sistema de manera gráfica.** Se recomienda representar el sistema de manera gráfica porque facilita el análisis y entendimiento grupal del sistema. Hay diferentes formas en que puede representarse el sistema de manera visual, algunos ejemplos son: diagrama de flujo de procesos, diagramas de ciclo de actividades, redes Petri, gráfica de eventos, digraph, lenguaje de modelación unificado, modelos de objetos y diagramas de actividad de simulación [168]. De manera particular se recomienda utilizar un diagrama de flujo de proceso porque es la herramienta más común y conocida por el

personal aun de ser de diferentes disciplinas, por otro lado si se utiliza el software de programación Arena, éste está basado en un diagrama de flujo por lo que se minimizarán los cambios de transición entre el modelo conceptual y la programación al representar el proceso con un diagrama de flujo. Cabe mencionar que el diagrama debe de realizarse en base al objetivo previamente definido.

- **Listado de suposiciones y simplificaciones.** Las suposiciones son incertidumbres del sistema real y las simplificaciones son sustituciones de aspectos del sistema real que son considerados de poco efecto en la respuesta pero que requieren de mucho trabajo de modelación o simplemente porque no están dentro del alcance de estudio y se simplifica su presentación. Al final de cuentas un modelo es una representación simplificada de un sistema real, así pues, algunas características irrelevantes serán pasadas por alto o bien podrán incorporarse aquellas que incrementen el nivel de detalle en etapas posteriores.
- **Diagrama de la distribución física del sistema.** Se recomienda realizar este diagrama porque permite visualizar el flujo de las entidades a lo largo de las instalaciones bajo estudio. Por otro lado este diagrama servirá para la elaboración de la animación en caso de realizarse.
- **Especificar los métricos de salida.** Se entiende por métricos de salida a las variables dependientes cuyo valor individual o en conjunto proporcionan la información necesaria para evaluar el funcionamiento del sistema. Los métricos se determinan en base al objetivo del estudio de simulación. Algunos ejemplos de métricos de salida son: tiempo promedio de espera, número promedio de personas en sala de espera, utilización de un recurso, tiempo promedio de estancia total, costo de operación mensual, número de pacientes atendidos por día y número de pacientes que se van sin ser atendidos.
- **Listar los datos de entrada.** Consiste en identificar los datos que serán necesarios coleccionar para describir el sistema. Principalmente estos datos son:
 - a) **Entidades.** Son los objetos en la simulación que son creados, procesados y después desechados. Algunos ejemplos de entidades son productos, clientes, órdenes y documentos. En este punto se debe de especificar la(s) entidad(es) que se considerarán en el sistema bajo estudio.

- b) **Llegadas.** Se refiere al tiempo que transcurre entre llegadas sucesivas. El tiempo entre llegadas puede obtenerse de observación directa o de datos históricos de la demanda de los servicios en un periodo completo de tiempo (puede ser un año).
- b) **Procesos.** Esto abarca tiempo de duración de los procesos, prioridades de procesos, tipo y porcentaje de ocurrencia de los procedimientos. Resulta valioso especificar las prioridades de los procesos cuando un recurso es compartido y se ocupa al mismo tiempo, el modelo programado debe de conocer qué proceso tiene la preferencia en la toma del recurso.
- d) **Recursos.** Los recursos son los medios necesarios para efectuar los procesos por ejemplo camas, equipo, personal, quirófanos o instrumentos. Se refiere a determinar el número de recursos disponibles, y el número de recursos utilizados en cada proceso actualmente. Para el caso de personal indicar las categorías y turnos de trabajo.
- e) **Atributos.** Se refiere a las características de las entidades. Por ejemplo si la entidad es paciente, los atributos podrían ser: sexo, edad, tipo de enfermedad, casos especiales o si requiere especialista o no. Se colectaran solo los atributos que sean requeridos para el objetivo del análisis y estos cambian dependiendo del objetivo del estudio. El resultado de la colección de este dato se presenta como porcentaje.
- f) **Distancias y tiempos de traslado de los pacientes de un proceso a otro.**
- g) **Datos de costos.** Por ejemplo salario mensual del personal, costos de operación diaria, costo de equipos o costo de mantenimientos externos.

Para efectos de validación además se requerirá obtener variables del sistema que describan su desempeño como:

- h) **Tiempo promedio de esperas a lo largo del sistema.**
- i) **Tiempo promedio de estancia total.** Se refiere al tiempo desde que arriba la entidad hasta que sale del sistema.
- j) **Utilización de los recursos.** La utilización de un recurso es el tiempo utilizado entre el tiempo total representado como porcentaje.
- **Revisar el modelo conceptual por el equipo de trabajo.** Al terminar el modelo conceptual se tendrá una reunión con todos los miembros del equipo de trabajo para su aprobación.

Paso 8.4 Colección y tratamiento de datos

En esta sección procedemos a obtener los datos de entrada para después determinar la forma en que se modelarán. A continuación se describen las etapas [167].

Paso 8.4.1 Calcular el tamaño de muestra

Primeramente se determina el número de observaciones a tomar (tamaño de muestra) para los datos de entrada, para esto seguimos los siguientes pasos:

- a) Definir el porcentaje de error permitido (% Ep) con el que se desea trabajar. Un valor deseable sería un error menor al 10% pero esa decisión está también en función de la disponibilidad de los datos y los recursos de personal, tiempo y dinero disponible para coleccionarlos. Sin embargo tomar siempre en cuenta que mientras menor sea el error se tendrá mayor precisión del modelo.
- b) Obtener datos para una muestra inicial (n_i). El tamaño de muestra inicial recomendado es de 30 pero puede ser menor si el proceso tiene poca variación. En el caso de las llegadas se recomienda que se obtenga el dato del tiempo entre llegadas de un bloque de tiempo suficientemente grande para representar la variación de las llegadas, la cual puede ser en días, semanas, meses o incluso años.
- c) Calcular el error de la muestra (E), utilizado también para calcular el intervalo de confianza, con la siguiente ecuación [190]:

$$E = t_{n-1, 1-\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n_i}} \quad \text{Ec. 4.1}$$

Donde

E: error de la muestra,

S: desviación estándar de la muestra,

t: valor de tablas t-student,

n_i : tamaño de muestra inicial,

α : nivel de significancia.

- d) Calcular el porcentaje de Error (% E) de la muestra utilizando la siguiente ecuación:

$$\% E = \frac{E}{\bar{X}} * 100 \quad \text{Ec. 4.2}$$

Donde:

$\bar{X}$: Media de la muestra

- e) En los casos en los que el porcentaje de error (% E) excede el porcentaje de error permitido (% Ep), se calcula el error permitido (Ep) con respecto a la media. Note que es la misma ecuación anterior pero despejando E y cambiando el símbolo de E por el de Ep (error permitido) para diferenciarlo del error calculado inicialmente.

$$Ep = \frac{(\% Ep)(\bar{X})}{100} \quad \text{Ec. 4.3}$$

Se utiliza la siguiente ecuación para calcular el tamaño de muestra requerido (n_r).

$$n_r \cong \left(Z_{1-\alpha/2} \frac{s}{Ep} \right)^2 \quad \text{Ec. 4.4}$$

La ecuación 4.4 es igual que la ecuación 4.1 sólo se sustituye el valor de la distribución t student por el valor Z de la distribución normal debido a que el tamaño de la muestra será más de 30. Otra observación en la ecuación es que se utiliza la S obtenida de la muestra inicial considerando que es la misma que el de una muestra más grande (136).

Paso 8.4.2 Colección de información

Conociendo el tamaño de muestra requerido se procede con la colección de datos. La colección de la información puede hacerse a través de registros históricos, a través de una hoja de colección de datos viajera por entidad o de observación directa. En el caso de que se utilice una hoja de colección de datos viajera, los empleados directos son los encargados de llenar los datos. Una hoja viajera es el método ideal para la colección de datos. Para los datos que se tengan que obtener de registros históricos u observación directa, los analistas son los encargados de apoyar estas actividades con el objeto de que el personal directo no descuide sus actividades diarias. En la obtención de observación de manera directa Banks [97] recomienda 1) coleccionar los datos con exactitud, es decir utilizar dos o tres decimales si es necesario, 2) registrar los tiempos de los eventos y ya después con calma calcular las

diferencias para determinar los tiempos entre eventos, 3) si se tiene la sospecha de que el sistema real depende del tiempo del día o del día de la semana, coleccionar muestras de diferentes periodos de tiempo. Puede ser el caso que el sistema solo se esté analizando en un bloque de tiempo como horas pico, para esos casos debe registrarse también el estado del sistema al inicio de ser observado como por ejemplo número de entidades en el sistema y número de recursos funcionando.

Paso 8.4.3 Preparación de datos para el análisis

La preparación de los datos consiste en pasar los datos a una hoja de cálculo como por ejemplo Excel, revisar que no haya errores en los registros fácilmente identificables como errores en fechas, datos inusuales o incompletos y preparar la información para ser utilizada ya sea para determinar la forma en que se modelarán los datos o en la etapa de validación. Por ejemplo algunas actividades de la preparación de datos son: obtener los tiempos entre eventos (la colección de datos de tiempos se realiza registrando el tiempo del evento), presentar los datos en un formato de archivo leído por el software que realiza el análisis de ajuste de datos a distribuciones de probabilidad, presentar los datos a manera de resumen con su media e intervalo de confianza para ser usados posteriormente en la validación.

Paso 8.4.4 Modelación de los datos de entrada

La finalidad de la simulación es la representación de un modelo que emule al real, para que esto suceda es necesario extraer el comportamiento del sistema real para luego imitarlo. Para conocer el comportamiento de las llegadas y cada proceso dentro del sistema de interés es necesario conocer la distribución de probabilidad, esto puede lograrse mediante pruebas de bondad de ajuste y en el caso que sea una distribución muy específica crear una distribución empírica. La modelación de los datos se refiere a la representación de los datos en los procesos de simulación. Los datos pueden modelarse de la siguiente manera:

- a) **Ajustando los datos a una distribución de probabilidad teórica.** La primera opción es que los datos de la muestra se ajusten a una distribución de probabilidad teórica. El ajuste de datos se puede determinar a través de una prueba Chi-cuadrada (X^2) o Kolmogorov-Smirnov (K-S). Existe software el cual facilita la determinación de la ecuación ajustada así

como la realización de las pruebas estadísticas de ajuste como por ejemplo BestFit y ExpertFit. En el software de simulación Arena la herramienta utilizada se llama “Analizador de entradas” (“Input Analyzer”). El analizador de entradas presenta el indicador SE por sus siglas en ingles de Square Error – Error al cuadrado. El SE muestra el error de ajuste de los datos para cada una de las distribuciones, por lo que la distribución con menor SE, teóricamente es la más apropiada. El SE se calcula como la sumatoria de las diferencias de frecuencia observada y teórica elevada al cuadrado (ver Ecuación 6.5). La frecuencia teórica se calcula utilizando la distribución de probabilidad ajustada y la observada a través de los datos de la muestra.

$$SE = \sum_{i=1}^k (Fo_i - Ft_i)^2 \quad (\text{Ec. 4.5})$$

Donde:

SE = Error al cuadrado

Fo = Frecuencia observada

Ft = Frecuencia teórica

K = Número de clases

De igual manera el analizador de entradas presenta los resultados de las pruebas de bondad de ajuste Chi-cuadrada y Kolmogorov-Smirnov. Mientras que la prueba Chi cuadrada es para distribuciones discretas y continuas, la prueba K-S es solo para distribuciones continuas. Las pruebas de bondad de ajuste miden la discrepancia entre una distribución observada y otra teórica (ajustada), indicando en qué medida las diferencias entre ambas, de haberlas, se deben al azar o realmente es significativa (ver figura 4.3) [165].

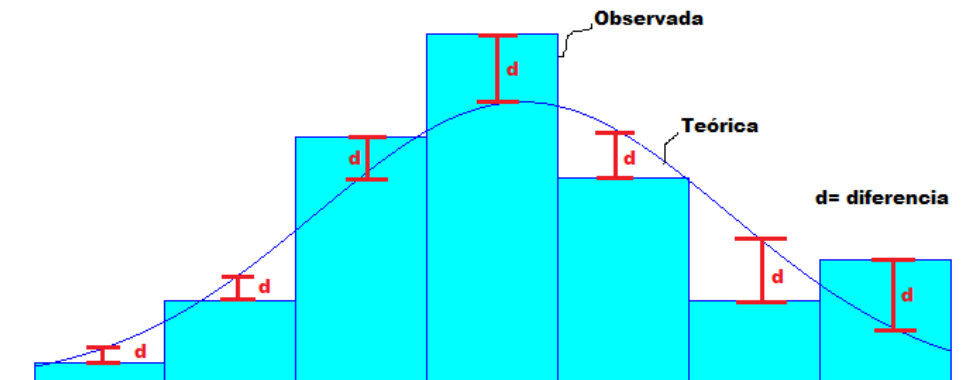


Figura 4.3 Diferencia entre la distribución observada y teórica.

Las hipótesis para ambas pruebas son:

H_0 = No existe diferencia significativa entre la distribución de la frecuencia observada y la distribución ajustada (teórica).

H_a = Si existe diferencia significativa entre la distribución de la frecuencia observada y la distribución ajustada (teórica).

Otra manera más simple de plantear las hipótesis sería:

H_0 : Los datos se ajustan a una distribución especificar.

H_a : Los datos no se ajustan a una distribución especificar.

El estadístico para la prueba χ^2 está dado por:

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^k (Fo_i - Fe_i)^2}{Fe_i} \quad (\text{Ec. 4.6})$$

Donde:

F_o = Frecuencia observada

F_e = Frecuencia esperada

K = Número de clases

Por otro lado la prueba de bondad de ajuste K-S se basa en comparar la distribución acumulada de las frecuencias teóricas (F_t) con la distribución acumulada de las frecuencias observadas (F_o), se encuentra el punto de divergencia máxima y se determina qué probabilidad existe de que una diferencia de esa magnitud se deba al azar. El estadístico de la prueba K-S esta dado por [165]:

$$D = \text{Max} [F_{t_i} - F_{o_i}] \quad \text{de } i=1 \text{ a } k \quad (\text{Ec. 4.7})$$

Donde:

D = Estadístico de la prueba K-S

F_t = Frecuencia acumulada teórica

F_o = Frecuencia acumulada observada

K = Número de clases

Tanto para la prueba X^2 como la K-S, el analizador de entradas presenta el resultado de la prueba en términos del Valor-p. El valor-p es la significancia observada y representa el área bajo la curva a la derecha del estadístico de la prueba calculado. Si el valor-p resulta ser mayor que α (nivel de significancia) la H_o se acepta, de lo contrario la H_o se rechaza.

b) Utilizando una distribución empírica. Si los datos no se ajustan a una distribución de probabilidad, entonces se utiliza la distribución empírica de los datos muestreados. Una distribución empírica presenta los datos como probabilidad de la ocurrencia de un valor o rango de valores [191].

En los casos en los que no se tengan datos disponibles, por ejemplo procesos que ocurren con poca frecuencia, se utiliza como último recurso un valor aproximado representándolo con una distribución triangular o uniforme [167].

Nota: al ajustar los datos a una distribución de probabilidad se asume que los datos son Independientes e Idénticamente Distribuidos (IID). Decimos que los datos son independientes si no están correlacionados, es decir los datos se presentan de manera aleatoria. Por ejemplo los datos serían dependientes si el tiempo de proceso de una operación incrementará de manera

significativa al avanzar el turno debido al cansancio físico. Para probar la independencia de los datos se utiliza el diagrama de dispersión o un gráfico de autocorrelación. Para la prueba de dispersión, en el eje X se grafica la observación X_i y en el Y la observación X_{i+1} donde i es el número secuencial de las observaciones. En esta prueba los datos son catalogados como independientes si se presentan de manera dispersa y no muestran un patrón definido [164].

En el caso de datos idénticamente distribuidos, se refiere a que los datos puedan ser representados por una misma distribución de probabilidad. De manera particular en el caso de los arribos se dice que las llegadas son idénticamente distribuidas, si la razón de llegadas se mantiene constante a lo largo del tiempo, también etiquetadas como llegadas estacionarias. Por el contrario cuando la razón de llegadas cambia con respecto al tiempo, decimos que las llegadas son “no estacionarias”. Para probar que los datos estén idénticamente distribuidos para las llegadas se utiliza la gráfica de proporción de llegadas. Esta prueba consiste en graficar el tiempo en el eje X y la proporción de llegadas en Y. La proporción de llegada se calcula para cada dato dividiendo el número de llegada consecutivo entre el total de llegadas analizadas. Si los puntos graficados se acercan a una línea recta, concluimos que los datos son idénticamente distribuidos [191]. Utilizando el software Arena, las llegadas no estacionarias se representan utilizando el módulo “Schedule” (plan). Por otro lado para evaluar que los datos de tiempos de procesos están idénticamente distribuidos se grafican los tiempos observados en el orden de ocurrencia. Si no se observa ningún patrón como valores en aumento o decremento, decimos que los datos están idénticamente distribuidos [164].

Paso 8.5 Construcción del modelo

Se refiere a obtener en lenguaje de alto nivel, lenguaje de simulación o simuladores el modelo del sistema y termina al ejecutar el modelo de simulación. Se deben de obtener los siguientes tres puntos descritos a continuación.

- **Programación de la lógica del modelo.** Se refiere a pasar el modelo conceptual del sistema a código de programación mediante lenguaje de alto nivel, lenguaje de simulación, o simuladores. Actualmente existen simuladores que permiten un alto nivel de detalle por lo que no se hace necesario el uso de un lenguaje de alto nivel o lenguaje de simulación.

Debido a la gran cantidad de opciones de simuladores en el mercado, algunos autores han establecido criterios para auxiliar en el proceso de selección de software como es el caso de Banks y Gibson [171], los cuales consideran que se deben de tomar en cuenta aspectos de entradas, procesamiento, salidas, ambiente, vendedor y costo.

- **Diseño de la animación del modelo.** La animación consiste por lo general en la representación de la distribución física junto con los recursos y el movimiento de las entidades. Además también se pueden incluir gráficas y valores de variables en tiempo de ejecución de la simulación. Aunque se pueden obtener resultados de la simulación sin tener una animación, la animación es de gran valor porque es la percepción principal del estudio para el cliente y es una técnica que puede utilizarse en la etapa de verificación del modelo.
- **Especificar parámetros de las réplicas.** Antes de correr la simulación se deben de especificar los siguientes parámetros:
 - a) Duración de la réplica. En este punto debemos de identificar los sistemas terminantes de los de estado estable. En los sistemas terminantes se visualiza claramente el inicio y fin del comportamiento del sistema por ejemplo un banco que abre a las 8:00 a.m. y cierra a las 3:00 p.m. Por el contrario en los sistemas de estado estable, no hay un fin en el comportamiento del sistema como es el caso de un hospital el cual funciona las 24 horas del día. Para sistemas terminantes, la duración de la réplica es por lo general la duración del turno. En sistemas de estado estable no hay un criterio específico solo se recomienda que la duración sea lo suficientemente larga para representar el comportamiento real del sistema [167].
 - b) Número de réplicas. Para calcular el número de réplicas se utiliza el mismo procedimiento utilizado en el paso 8.4.1 para calcular el tamaño de muestra de los datos de entrada. Se especifica un porcentaje de error permitido ($\% E_p$) en base a la exactitud deseada y se ejecutan entre 10 y 30 réplicas, si el porcentaje de error ($\% E$) es mayor al permitido ($\% E_p$) se calcula el tamaño de muestra requerida (número de corridas) de lo contrario es suficiente trabajar con el número de réplicas inicial. En sistemas de estado estable cuando el tiempo de estabilización del modelo (warm up) es muy largo, digamos varios años, se recomienda utilizar una sola réplica larga [167].

c) Tiempo de estabilización del modelo (“warm-up”). Para los sistemas de estado estable se debe de determinar el tiempo en el que los parámetros del modelo de simulación se estabilizan aproximándose a los niveles del sistema actual. A partir de ese punto el software de simulación colecta los datos del modelo para incluirlos en el reporte. Para determinar el tiempo de estabilización se utiliza una gráfica desarrollada por Welch [167]. La técnica consiste en graficar el valor de un parámetro a lo largo del tiempo que represente la estabilidad del proceso como número de pacientes en el sistema, porcentaje de ocupación de camas o número de personas esperando. Se grafican varias réplicas, entre 10 y 30, y el tiempo de estabilización se determina visualmente. La interpretación es que cuando el valor del parámetro se mantiene dentro de un rango repetitivo se termina el tiempo de estabilización.

Paso 8.6 Verificación

Consiste en asegurar que la trayectoria seguida por las entidades y las operaciones coincida con lo especificado en el mapa conceptual. Algunas de las herramientas útiles frecuentemente utilizadas en esta etapa son:

- a) Reuniones con el equipo de trabajo para la revisión del modelo. A lo largo del proyecto el equipo de trabajo debe reunirse para asegurar que el modelo se adapta al sistema real. El personal de la institución son quienes mejor conocen el proceso y puede detectar suposiciones erróneas formuladas por el programador.
- b) Animación. La animación debe ser acertada con la realidad, por ejemplo si una sala de espera se satura a ciertas horas, se debe de reflejar en la animación.
- c) Utilización de herramientas de verificación del software. Simuladores y lenguajes de simulación tienen verificadores de errores tales como controladores de corridas “Run Controllers” o depuradores “Debugger” los cuales auxilian en la detección de errores de programación al explorar la ejecución de las operaciones en base al código fuente. Para el caso del software de simulación Arena, el controlador de corrida permite entre otras cosas, ejecutar el modelo enfocándose en una entidad, proceso específico o variable a través de comandos específicos en lenguaje SIMAN.

- d) Revisión de reportes de simulación. Los datos de salida deben de ser razonables con los datos reales. Los valores disparados son resultados no deseables para el programador, ya que deberá revisarse a fondo la raíz del problema.

Paso 8.7 Validación

De manera ideal consiste en asegurar que los datos de salida del modelo coincidan con los del sistema real. Hay diferentes técnicas utilizadas para la validación de modelos de simulación por ejemplo enfoque del intervalo de confianza basado en datos independientes, enfoques de series de tiempo y porcentaje de diferencia. La técnica de porcentaje de diferencia se facilita su utilización por su simplicidad y la facilidad de obtener los datos para su comparación. Esta técnica consiste en comparar la diferencia entre la media real y la media simulada con respecto a la media real de un métrico representativo del sistema, si el porcentaje de diferencia es menor al especificado por el cliente decimos que el modelo es válido. A continuación se describe el procedimiento a detalle.

1. Seleccionar métricos representativos del comportamiento del sistema, por ejemplo tiempo promedio de espera o tiempo de estancia total en el sistema y tener a la mano la media real ($\bar{X}_R$). Además definir un porcentaje de error permitido (% Ep) el cual dependerá de la precisión que el cliente desee. Un valor recomendado sería menor al 10 % y aceptable hasta un 15%.
2. Ejecutar el modelo con el número de réplicas previamente determinado.
3. Del resultado de la simulación obtener la media de los métricos ($\bar{X}_S$) seleccionados.
4. Calcular el porcentaje de diferencia utilizando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ diferencia} = \frac{|\bar{X}_R - \bar{X}_S|}{\bar{X}_R} \times 100 \quad \text{Ec. 4.8}$$

Donde:

$\bar{X}_R$: media real del métrico seleccionado

$\bar{X}_S$: media de la simulación del métrico seleccionado

5. Obtener conclusiones de tal forma que si el porcentaje de diferencia es menor al porcentaje de error permitido por el cliente (% Ep) decimos que el modelo es válido.

Paso 8.8 Análisis y experimentación

Una vez validado el modelo, se inicia con esta etapa donde el modelo puede ser utilizado de diferentes formas como por ejemplo:

- Evaluar el impacto de mejoras propuestas (escenarios) como la expansión de un edificio o la unión de dos departamentos e incluso utilizando pronósticos de la situación en el futuro.
- Evaluar diferentes políticas. Por ejemplo para la atención de pacientes en emergencias, una política es “el primero que llegue es el primero que se atiende”, otra política puede ser “atender primero a los pacientes más crítico”. De igual forma se pueden evaluar políticas para la admisión de pacientes, programación de cirugías y utilización de recursos comunes.
- Determinar niveles óptimos de factores como recursos de camas, quirófanos, equipo especializado y personal.

Al finalizar esta etapa se recomienda un escenario el cual puede consistir en ciertos niveles de factores o políticas. Una de las técnicas de apoyo más recomendadas en la literatura a utilizar durante la etapa de análisis y experimentación es el diseño de experimentos ya que de manera eficiente y estructurada se exploran diferentes escenarios, permite identificar diferencias significativas entre ellos y se identifican los factores con mayores efectos en la medida de desempeño de interés [87]. Por lo anterior, a continuación se describen los pasos a seguir para la aplicación de diseño de experimentos.

Pasos a seguir para aplicar diseño de experimentos

Para la realización de un diseño de experimentos en un estudio de simulación de eventos discretos se recomienda seguir los siguientes pasos [172]:

- **Plantear el problema y definir el objetivo del experimento.** Estos puntos están relacionados con la etapa “Formulación del problema” del procedimiento para la utilización de la simulación de eventos discretos. No obstante como pueden realizarse diferentes experimentos sobre el mismo modelo de simulación es importante definir de manera individual el objetivo específico en cada experimento.

- **Determinar los factores de estudio, los niveles de cada factor y la variable(s) de respuesta.** Los factores de estudio son las variables de interés, los niveles son el número de valores a probar en cada factor y la variable de respuesta es el métrico de salida a observar. De igual forma aquí se define si se utilizará un factor bloque. Un factor bloque uniformiza el efecto de variables que afectan la respuesta pero que no interesa estudiar [172].
- **Definir método de medición de la variable de respuesta.** Se refiere a especificar el instrumento y forma de medición. Para los casos en los que se utiliza simulación, los datos se obtienen del modelo de simulación creando los diferentes escenarios.
- **Elegir el tipo de diseño a utilizar y el número de réplicas.** Dependiendo del número de factores, niveles, respuesta y bloques se selecciona el tipo de diseño de experimentos, algunos ejemplos de diseños son: ANOVA simple, bloques aleatorizados, factorial $a \times b$ y factorial 2^k . También aquí definimos el número de réplicas a utilizar. En diseño de experimentos generalmente se utilizan 2 para los diseños factoriales y de 5 a 10 para ANOVA simple y diseño en bloques [172].
- **Obtener los resultados de la variable de respuesta (observaciones) a través del modelo de simulación.** Para esto se modifican en el modelo de simulación los niveles de los factores para formar el escenario, se ejecuta la simulación y se obtiene el valor de la variable de respuesta. Cuando se tengan todos los valores se llena una tabla con los datos observados.
- **Plantear las hipótesis a probar.** En términos generales la hipótesis nula establece que no hay un efecto en la respuesta al variar el factor (o los factores) de estudio, mientras que la alternativa establece que si hay un efecto en la respuesta al variar el factor (o los factores) de estudio.
- **Realizar el ANOVA y obtener conclusiones.** Se recomienda utilizar software de análisis estadístico como MINITAB para la obtención del análisis de varianza (ANOVA). En términos generales las conclusiones a obtener son si hay un efecto o no de los factores de estudio en la variable de respuesta. Cuando el valor F_o (estadístico de prueba) es mayor al F crítico o el valor-p es menor al α la H_o se rechaza. El valor-p es el área a la derecha del estadístico de prueba [172].

- **Si hay un efecto de los factores en la respuesta, determinar si la diferencia entre escenarios es significativa.** Utilizar las técnicas del gráfico de medias, prueba LSD o Duncan para determinar las diferencias significativas entre factores. El gráfico de medias presenta intervalos para cada tratamiento formados por el promedio del tratamiento $\pm S$ el cual es la desviación estándar agrupada calcula por $\sqrt{CM_E}$ donde CM_E es el cuadrado medio del error. Si los intervalos se traslapan se concluye que los tratamientos estadísticamente son iguales [172].
- **Recomendar un escenario.** Un escenario sería la combinación de niveles de los factores de estudio. Se propone recomendar el nivel en el que la diferencia deja de ser significativa en la reducción del tiempo de espera.

Paso 9. Aplicar otras herramientas avanzadas, principalmente matemáticas

En caso de que SED no sea la herramienta de elección, se pueden utilizar otras técnicas, principalmente matemáticas para el análisis y solución de problemas que aunque sacrifican precisión debido a la complejidad y variabilidad de los sistemas en hospitales tienen la ventaja de obtener resultados en menor tiempo y con menos esfuerzos en la colección de datos en comparación con SED. Algunos ejemplos de técnicas matemáticas son teoría de colas, métodos de ecuaciones diferenciales, análisis de cadenas de Markov, análisis de cadenas semi-Markov, análisis de entradas-salidas, programación lineal, programación entera, árboles de decisión, entre otros. Se dice que principalmente matemáticas porque se deja abierto a incluir otras técnicas avanzadas que no se consideran matemáticas como Dinámica de Sistemas. Por otro lado también se puede optar por usar de manera conjunta SED con otra herramienta matemática como complemento como es el caso de Cochran quien utilizó SED con teoría de colas [96]. A continuación se describe a detalle la técnica de teoría de colas, la cual se tomo como ejemplo de aplicación de técnica matemática en el caso de estudio.

Teoría de colas

Son modelos matemáticos que describen el comportamiento de sistemas que involucran servidores con sus respectivos tiempos de espera. A continuación se presentan los pasos recomendados en la aplicación de esta herramienta:

- **Descripción del sistema desde la perspectiva de la teoría de colas.** En la teoría de colas se utilizan términos especializados para describir el sistema bajo estudio. A continuación se describen brevemente [125].
 - a) Estaciones. Las estaciones se refieren a los puntos de servicio.
 - b) Número de servidores (S_i). Es el número de servidores paralelos que pueden dar servicio de manera simultánea. El número de servidores se representa con la letra s y el subíndice es el número de la estación.
 - c) Razón de arribos (λ_i). Se refiere al número promedio de pacientes que llegan por hora (pac/hr).
 - d) Razón de servicio (μ_i). Se refiere al número promedio de pacientes atendidos en una hora (pac/hr) con un servidor.
 - e) Razón de servicio total (RST_i). Se refiere al número promedio de pacientes atendidos en una hora (pac/hr) con el total de servidores de la estación. Se determina por la ecuación 4.9 [125].

$$RST_i = S_i \mu_i \quad \text{Ec. 4.9}$$

- **Análisis del sistema desde la perspectiva de la teoría de colas.** El análisis se lleva a cabo a través de [125]:
 - i. Gráfica de razón de arribos (λ) vs razón de servicio total (RST). Esta gráfica permite identificar los cuellos de botella, los cuales son los puntos en los que la razón de arribos se encuentra cerca de la razón de servicio total.
 - ii. Gráfica del factor de utilización (ρ). Este indicador compara la razón de servicio total con respecto a la razón de arribos. Cuando el valor se acerca a 1, se tiene una alta utilización del servicio generando largos tiempos de espera. El factor de utilización se calcula con la siguiente ecuación [125].

$$\rho_i = \frac{\lambda_i}{S_i \mu_i} \quad \text{Ec. 4.10}$$

- **Selección del modelo de colas.** Hay una gran variedad de modelos de colas en la literatura, estos varían dependiendo del patrón de llegada de los clientes, el patrón de servicio de los servidores, el número de servidores, disciplina de la cola como “FIFO” (First In First Out – El primero que entra es el primero que sale) o “LIFO” (Last In First Out – El último que entra es el primero que sale), capacidad del sistema y etapas del servicio [125]. Los modelos de colas se describen principalmente por el formato X/Y/Z, donde la primera letra del modelo (X) describe la razón de llegadas de los clientes, la segunda letra (Y) la razón de servicio y la tercera letra (Z) el número de servidores simultáneos. El modelo de colas más simple es el M/M/1 en donde la primera y segunda M se refieren a que tanto la razón de llegada como la razón de servicio siguen una distribución exponencial. La M es porque son procesos Markov, los modelos Markov son aquellos en los cuales su comportamiento futuro depende únicamente del presente y no del pasado [125]. El número 1 se refiere a que hay un solo servidor (recurso).
- **Aplicación del modelo de colas.** La aplicación consiste en utilizar las ecuaciones del modelo de colas. Dependiendo del modelo seleccionado las ecuaciones cambian. Como resultado de la aplicación, pueden obtenerse los siguientes indicadores [125]:
 - o L_q : número promedio de personas en cola.
 - o L : número promedio de personas en el sistema.
 - o W_q : tiempo promedio de espera en cola.
 - o W : tiempo promedio en el sistema.
 - o p_0 : Probabilidad de que en el sistema haya 0 personas.
 - o p_n : Probabilidad de que en el sistema haya n personas.
 - o $W_q(t)$: Probabilidad de espera de un tiempo t o menor.

En la aplicación se modifican variables de las ecuaciones como el número de servidores para evaluar el efecto en los indicadores.

- **Obtención de resultados del modelo de colas y discusión.** Se analiza el efecto de los cambios de las variables como por ejemplo el número de servidores en los indicadores y se hacen las recomendaciones pertinentes.

Paso 10. Presentación de recomendaciones y aprobación

Independientemente de la técnica de análisis avanzada utilizada, al finalizar se debe de presentar un reporte a la alta dirección y personal relacionado en la toma de decisiones con los resultados de los análisis y recomendaciones. Debido a que son decisiones estratégicas por su impacto e inversión, en caso de recomendar cambios, éstos deben de ser aprobadas antes de su implementación.

Paso 11. Elaborar plan de implementación de recomendaciones resultado de análisis avanzados y recomendaciones directas

En caso de que las recomendaciones, resultado de los análisis avanzados y recomendaciones directas sean aprobadas, se procede a la elaboración del plan de implementación de los cambios recomendados. El plan de implementación contiene las actividades desglosadas a realizar, la fecha programada de inicio a fin, el presupuesto y los recursos específicos para completarla como equipo o materiales, además quien es el responsable y los participantes.

Eventos kaizen

Como ya se mencionó, para los casos en los que no se requieren de análisis avanzados pero si se requiere la participación directa de un equipo multidisciplinario, la estrategia recomendada a seguir es la realización de eventos kaizen. Los eventos kaizen, es una estrategia de solución de problemas que se caracteriza por realizarse en un corto tiempo, utilizar herramientas de análisis básicas y la participación del personal de todos los niveles involucrados. Los eventos kaizen se recomiendan realizarse después de implementar los cambios recomendados en el análisis avanzado, esto con la finalidad de asegurar que las mejoras obtenidas al implementar los eventos kaizen no se pierdan al implementar modificaciones más radicales de análisis avanzados. Cabe mencionar que para problemas detectados por el equipo que no requieran, análisis, consenso y apoyo de un equipo de trabajo, definitivamente simplemente se llevarán a cabo directamente a partir de las acciones identificadas previamente.

En los eventos kaizen participa el personal de todos los niveles relacionadas con la problemática planteada. No obstante el líder del proyecto es quien planea los eventos y organiza al personal para su logro.

Paso 12. Preparación de eventos kaizen

La preparación de eventos kaizen es responsabilidad del líder del proyecto, apoyado por un asesor interno o externo, sobre todo si es la primera vez que se realiza. La preparación consiste en:

1. **Identificar los eventos que se realizarán, planteando la problemática y objetivo claramente.** En base al resultado del análisis inicial sobre las oportunidades de mejora o problemas se listan los eventos a realizar con su respectivo objetivo a lograr. Esta actividad es realizada por el mismo equipo definido en el análisis inicial y dirigidos por el líder de proyecto.
2. **Asignar líderes de eventos.** Para cada evento debe de designar un líder. El líder del evento es responsable de dirigir a los miembros de cada evento para alcanzar los objetivos del evento. De manera ideal la asignación de los líderes debe hacerse en consenso por los miembros del equipo inicial.
3. **Definir los miembros de cada evento.** El líder del proyecto junto con los líderes de eventos definen al personal de todos los niveles relacionado con la problemática y objetivo del evento.
4. **Diseñar capacitación.** Determinar la duración de la capacitación y los puntos que incluirá la capacitación para cada evento, a grandes rasgos la capacitación incluirá sensibilización de la filosofía del pensamiento esbelto, herramientas del pensamiento esbelto y las etapas que comprenden un evento kaizen.
5. **Elaborar un plan de eventos kaizen.** El plan se elabora por el líder del proyecto, junto con los líderes de eventos y es aprobado por la alta dirección. Tomar en cuenta que las fechas programadas deben de ser posteriores al plan de implementación de recomendaciones resultado de análisis avanzados. La duración de un evento kaizen por lo general es de 5 días, aunque hay eventos que pueden hacerse en menor tiempo [181],

además los eventos pueden llevarse a cabo de manera simultánea. Se recomienda que cada evento kaizen incluya las siguientes etapas propuestas por Liker y Hoseus [181], capacitación (día 1), análisis y solución de problemas (día 2), implementación y experimentación (3 y 4), y presentación de resultados (5).

Con lo anterior el plan debe especificar para cada evento:

- Número de evento
- Descripción del problema
- Posible acción de mejora
- Líder del evento.
- Miembros del evento
- Fecha en la que inicia y termina el evento.
- Presupuesto
- Recursos específicos

Paso 13. Implementación

La implementación se realiza en dos etapas en la etapa 1 se implementan los cambios recomendados y aprobados por la dirección de las recomendaciones resultantes del análisis avanzado y recomendaciones directas, en la etapa 2 se realizan los eventos kaizen planeados y aprobados también por la dirección. Para la realización de los eventos kaizen se recomienda seguir la estructura de los cinco días de Liker y Hoseus [181] y utilizar el formato A3 para documentar el evento ya que es un formato que en una sola hoja contiene el proceso del evento kaizen.

Capítulo 5

Aplicación de esquema de análisis y mejora del flujo de pacientes en caso de estudio

En este capítulo se presenta la aplicabilidad del esquema propuesto en un caso de estudio. El caso de estudio se desarrolla en el área de obstetricia y ginecología en emergencias de un hospital público del municipio de Mexicali, B.C. Por cuestiones de privacidad de la institución se omitirá su nombre.

Se utilizará la misma nomenclatura y títulos de los pasos presentados en el capítulo anterior solo que para hacer diferencia con este capítulo de aplicación se agregó entre paréntesis CE al final de cada título para indicar que es la descripción del paso aplicado al caso de estudio.

Análisis inicial

En esta etapa inicial se conoció el sistema bajo estudio y con herramientas simples y la participación del equipo de trabajo se identificaron los problemas (oportunidades de mejora) que impiden el flujo de pacientes y se listaron posibles acciones de mejoras. Antes de empezar con el primer punto se especifica el objetivo, el alcance y el equipo de trabajo.

Especificar objetivo. Reducir los tiempos de espera de los pacientes.

Definir alcance. El alcance del estudio es el área de obstetricia y ginecología del área de emergencias. En esta sección se atienden principalmente los procedimientos de partos normales o por cesárea pero también se realizan otros procedimientos ginecológicos.

Equipo de trabajo que participará en el estudio. El equipo está formado por personal directivo, enfermeras, 4 médicos, un líder de proyecto, ocho estudiantes de servicio social como analistas de apoyo y un asesor.

Paso 1. Descripción del proceso de manera gráfica (CE)

El diagrama de flujo del caso de estudio fue elaborado por los analistas de apoyo y revisado por el personal. La descripción del proceso de manera gráfica facilitó la descripción de los procesos y el consenso de la secuencia de pasos, además en pasos posteriores facilitó la programación del modelo de simulación. Por otro lado cuando se prepararon los diagramas de flujo estos fueron presentados al personal y se identificaron malinterpretaciones en el proceso las cuales fueron corregidas por lo que también el diagrama de flujo permitió identificar errores en la descripción de los procesos fácilmente. La figura 5.1 presenta el diagrama de flujo para el caso de estudio con los tiempos muestreados. La descripción del sistema se divide en 5 áreas físicas, siendo estas: recepción, revisión, observación, salas de expulsión y quirófano, y recuperación. La descripción general del proceso se presenta a continuación:

- **Recepción.** Primeramente las pacientes llegan a información, pasan al mostrador si están afiliadas al servicio, y si no pasan a caja, de allí a la sala de espera especial para las pacientes de obstetricia-ginecología. La puerta de acceso a la sala está resguardada por un guardia. En la sala especial esperan hasta que el médico de revisión esté disponible y las pase al área de revisión.
- **Revisión.** El área de revisión cuenta con dos camas y está a cargo de un médico. El médico lleva a cabo la revisión de la paciente y determina si requiere hospitalización o no. Si no requiere hospitalización termina la consulta y la paciente se retira. En caso de que requiera hospitalización, la paciente pasa a la sala de observación.
- **Observación.** La sala de observación cuenta con 7 camas y es donde se prepara a la paciente para su estancia y donde permanece para ser monitoreada hasta que se lleve a cabo el procedimiento correspondiente. En caso de que no haya cama disponible, la preparación de la paciente se efectúa en el área de revisión. En teoría, para las pacientes embarazadas, se considera el ingreso a la sala de observación cuando su estancia esperada es menor a 12 horas, pero en la práctica este dato es mayor. Cuando la paciente está lista para que se realice el procedimiento, se transporta a una de las salas de expulsión o quirófano.
- **Salas de expulsión y quirófano.** Hay tres salas de expulsión y dos de quirófanos, los quirófanos son utilizados para los procedimientos quirúrgicos como cesáreas y las salas

de expulsión son utilizados para procedimientos como partos normales y otros procedimientos que no involucran una cirugía mayor. Los procedimientos que se llevan a cabo son: salpingoclasias, biopsia cérvix, electrofulguración, electrocirugía, crioterapia, biopsia endometrio, biopsia mama, parto normal, cesárea, legrado, laparotomía exploratoria y colpoperineoplastia. Aunque sucede esporádicamente, en los casos de parto cuando no hay ninguna sala disponible, el procedimiento se lleva a cabo en la sala de observación. Una vez efectuado el procedimiento correspondiente, el paciente es trasladado a la sala de recuperación.

- **Recuperación.** La sala de recuperación cuenta con 13 camas y es donde el paciente permanece por un par de horas para monitorear su estado. Luego de que el paciente se establece, este abandona el área de emergencias y se traslada al área de hospitalización general donde terminará su recuperación para posteriormente abandonar el hospital.

El diagrama de flujo en el caso de estudio fue elaborado por la observación directa de los analistas y los cuestionamientos que hacían al personal. Primeramente describieron a través de los símbolos respectivos la secuencia de pasos y decisiones por las que pasaba el paciente y posteriormente obtuvieron tiempos de los procesos. Al terminar el diagrama de flujo, este fue presentado a los directivos y personal para su revisión, en ese momento se hicieron algunas correcciones menores pero finalmente estuvieron de acuerdo en la representación del proceso para continuar con el estudio. Sobre los datos de tiempos fue de gran valor para ellos porque aunque tenían una idea, no se tenía un estudio tan detallado. De igual forma también validaron que los tiempos fueran los aproximados en base a su experiencia.

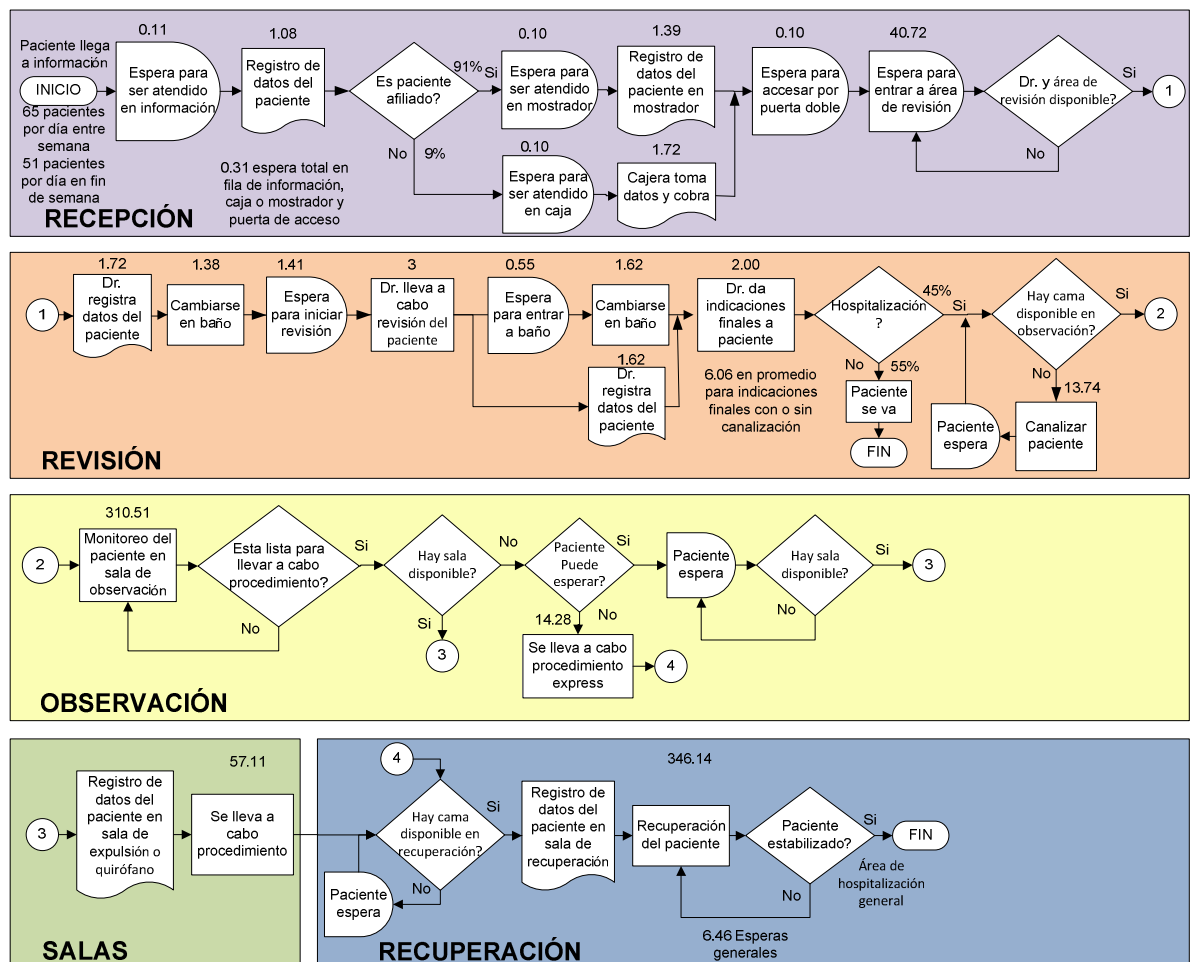


Figura 5.1 Diagrama de flujo del proceso caso de estudio.
Nota: los números son los tiempos de los procesos en minutos.

Paso 2. Identificar los tiempos de espera mayor (CE)

Debe aclararse que aunque el flujo puede incrementarse disminuyendo el tiempo de transporte, incrementando los recursos, disminuyendo los tiempos de procesamiento de algunas de las estaciones de trabajo, es importante conocer cuál de estas estaciones representa el mayor impacto en el tiempo total de atención y así en consecuencia las alternativas de solución girarán alrededor de esta. El Pareto se construyó con los tiempos de espera de los pacientes. La figura 5.2 presenta los tiempos de espera de mayor a menor. Se identifica claramente que el tiempo de espera mayor es “Entrar a revisión” el cual representa el 94.7% del tiempo de espera total. Debido al resultado anterior, los análisis posteriores se enfocarán en el tiempo de espera para entrar a revisión.

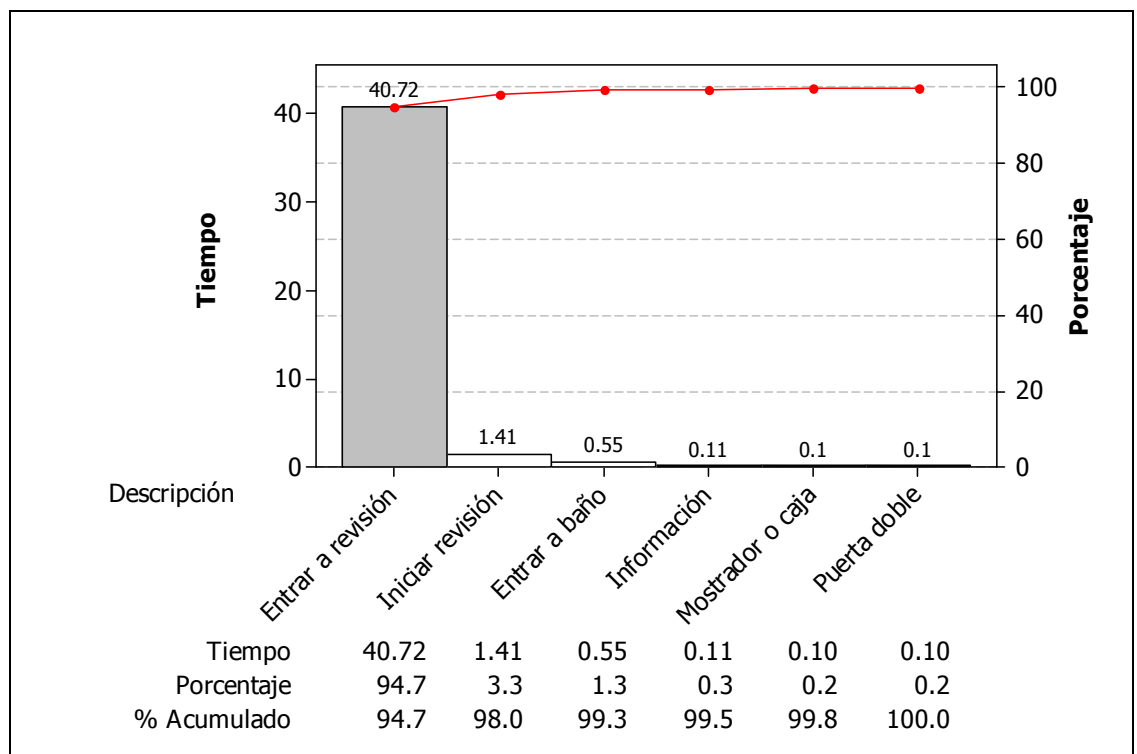


Figura 5.2 Pareto de los tiempos de espera para ser atendido en el área de obstetricia y ginecología del departamento de emergencias del caso de estudio.

Paso 3. Realizar un análisis de causa-efecto (CE)

Después de identificar donde se generan los mayores tiempos de espera, se procedió a identificar cuáles eran las causas. Para esto se utilizó un diagrama de causa y efecto o diagrama de Ishikawa del tipo de las 6M para el tiempo de espera mayor que resultó ser “Entrar a revisión”. El procedimiento utilizado para realizarlo no fue el más recomendado porque las causas se obtuvieron por medio de entrevistas por separado que los analistas de apoyo hicieron al personal, además de las observaciones de los mismos analistas. La manera de proceder anterior se debió a la complicación para que el personal dejara sus actividades y se reuniera para hacer el ejercicio en forma conjunta, tomar como referencia que es un área de emergencias muy saturada. Aún con las dificultades anteriores se pudo obtener información valiosa, no obstante se recomienda para otros estudios gestionar con la administración un espacio tal vez de horas extras consideradas como capacitación o tiempos donde los turnos se traslapan y aprovechar el personal adicional para poder realizar el ejercicio de forma conjunta. Después de que se hicieron las entrevistas sobre las causas, estas se agruparon en base a las

6M, las cuales son: método, mano de obra o personal, maquinaria o equipo, material, medio ambiente y medición [188]. Una vez terminado el diagrama este se paso para su revisión a los integrantes del equipo. Las causas identificadas se describen a continuación:

1. **Personal: médico también atiende pacientes en observación.** Solo hay un médico para atender a las pacientes en revisión y monitorear a las pacientes admitidas en el área de observación.
2. **Personal: el personal de limpieza no tiene tiempo de preparar las camas en observación.** Solo hay una persona encargada de la limpieza del área de obstetricia y ginecología en emergencias por lo que algunas actividades prefieren hacerlas las enfermeras para no atenerse al intendente.
3. **Personal: toma tiempo informar el status del paciente.** En cada turno una persona del modulo de información recorre las diferentes salas para recabar información sobre que pacientes se encuentran en cada sala y su status hasta el momento. Esa información es proporcionada a los familiares del paciente cuando es solicitada. Ese recorrido consume tiempo tanto para la persona de información como para las enfermeras, que son las que principalmente tienen que dar la información.
4. **Equipo: no hay suficientes camas en observación.** Cuando las siete camas disponibles del área de observación son ocupadas y el paciente necesita ser admitido, se realiza la canalización en la cama de revisión, demorando con esto la revisión de las pacientes.
5. **Material: espera por sabanas o batas.** Cuando la paciente entra al baño a cambiarse, en ocasiones no hay sabana o bata disponible por lo que tiene que solicitar a la enfermera y esperar.
6. **Método: toma tiempo registrar los datos.** Cada una de las etapas de atención del paciente requieren la toma de datos, la cual toma tiempo y reduce el tiempo de atención.
7. **Método: la paciente no trae el último ultrasonido.** Comenta el médico que surgen demoras cuando la paciente no trae su último ultrasonido.
8. **Método: el paciente no sabe cuando entrar.** La sala de revisión se encuentra separada de la sala de espera especial y el médico y la enfermera raramente revisan si algún paciente se encuentra esperando por lo que el paciente debe saber que debe de

tocar la puerta del área de revisión para ser atendida y notificar que está afuera esperando.

9. **Método: no hay una evaluación previa.** No hay una enfermera que evalúe previamente la condición de las pacientes de tal forma que pueda atender casos menores en el momento y así reducir tiempos de espera para algunas de las pacientes.

Cada una de estas causas ocasiona demoras que explican los tiempos de espera de las pacientes para ser revisadas. De manera consensada por el equipo se determinó que las causas con mayor impacto en los tiempos de espera son que el médico también atiende pacientes en el área de observación y que no hay suficientes camas en observación.

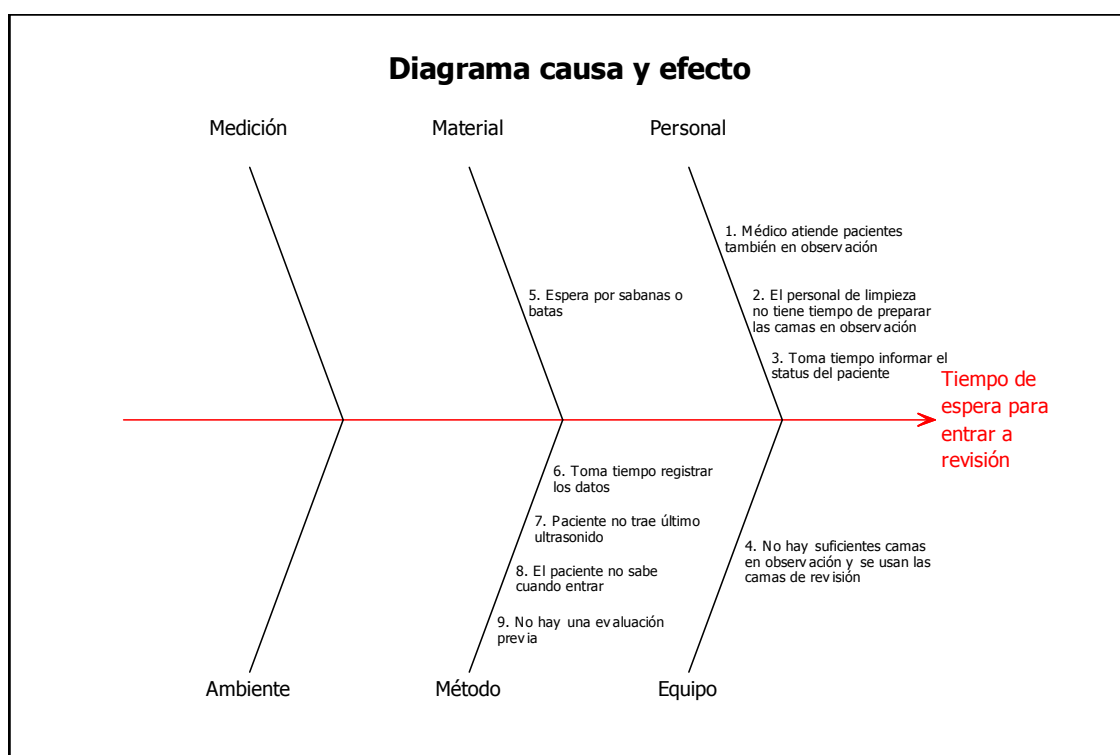


Figura 5.3 Diagrama de causa y efecto del tiempo de espera mayor.

Paso 4. Identificar oportunidades y posibles acciones de mejora (CE)

Las causas identificadas en el punto anterior sobre el tiempo de espera mayor son obstáculos que previenen el flujo de pacientes sin interrupciones. Estas causas se traducen en problemas u oportunidades de mejora del flujo de pacientes. En este caso, para cada una de las causas identificadas, que ahora les llamamos oportunidades de mejora se hizo un análisis y se propuso una serie de posibles acciones de mejora. La tabla 5.1 presenta el desglose para cada oportunidad de mejora identificada en el diagrama de causa y efecto.

Tabla 5.1 Análisis y posibles acciones de mejora para cada oportunidad de mejora derivada del diagrama de causa y efecto.

OPORTUNIDADES DE MEJORA	ANÁLISIS	POSIBLES ACCIONES DE MEJORA
1. Médico atiende pacientes también en observación.	La incorporación de personal adicional es un proceso muy restringido y debe de ser respaldado meticulosamente a la administración. No obstante se pueden mejorar las operaciones de apoyo.	1.1 Mejorar las operaciones de apoyo para facilitar el trabajo del médico. Entre estas actividades se recomienda la implementación de 5s para mejorar la organización del área. 1.2 Se requiere de estudios adicionales para evaluar si se requiere personal adicional o solo balancear las cargas de trabajo.
2. El personal de limpieza no tiene tiempo de preparar las camas en observación.	Las salas de expulsión y quirófanos es donde el personal de limpieza designa más de su tiempo por lo que se puede trabajar en reducir los tiempos de limpieza de estas salas para tener tiempo disponible en apoyar en las actividades de revisión.	2.1 Aplicar la metodología SMED para reducir los tiempos de limpieza y preparación de salas de expulsión y quirófanos.
3. Toma tiempo informar el status del paciente	El dar información de manera personalizada toma un tiempo mucho mayor que si se tuviera la información compartida de manera electrónica. De esa manera cuando haya un cambio de ubicación o status del paciente la enfermera lo registraría y en cualquier momento podría ser revisado por otros departamentos.	3.1 Habilitar las computadoras con internet y utilizar una aplicación como GoogleDocs para compartir documentos. 3.2 Conectar las computadoras en red y desarrollar un software que funcione como una base de datos donde se registre la ubicación y status de los pacientes. La ventaja es que se puede incluir el historial completo del paciente y

		administrar la disponibilidad de la información por departamento.
4. No hay suficientes camas en observación y se usan las de revisión.	El anexar camas adicionales requiere hacer modificaciones a la distribución infringiendo en costos que deben de ser aprobados por la dirección por lo que este punto requiere de estudios adicionales.	4.1 Empezar proyecto para asignar y balancear camas entre estaciones. Esto incluye revisar la distribución para el acomodo de camas.
5. Espera por sabanas o batas.	No existe inventario permanente de batas o sabanas a disposición del paciente, por lo que éste tiene que esperar.	5.1 Implementar un sistema kanban donde se identifique un punto de reorden y de esta manera se reabastezca antes de quedar con cero inventario.
6. Toma tiempo registrar los datos.	La captura de los datos de los pacientes es manual por lo que si se automatizará con códigos de barra y equipo de cómputo facilitaría el registro de los datos. No obstante este proyecto requiere de una inversión considerable. Lo que sí puede hacerse a corto plazo es una revisión de los formatos utilizados.	6.1 Revisar los formatos actualmente utilizados para eliminar información repetitiva o innecesaria. 6.2 Realizar proyecto para evaluar de manera económica y funcional la factibilidad de automatizar las operaciones de captura de datos.
7. Paciente no trae último ultrasonido.	Este punto nos indica que en ocasiones se atienden a pacientes de consulta externa en vez de emergencia porque en una emergencia no necesariamente deben de traer un ultrasonido.	7.1 El personal médico debe de definir claramente los servicios que ofrece la unidad. Además sería conveniente emprender un estudio en el área de consulta para analizar la raíz del problema.
8. El paciente no sabe cuando entrar.	Debido a que el área de espera está separada del área de revisión la comunicación es muy deficiente.	8.1 Instalar un semáforo que señale la disponibilidad del área de revisión. 8.2 Evaluar modificaciones de la distribución del área para acercar al paciente al área de atención. 8.3 Incorporar a un estudiante de enfermería en la sala de espera especial para que auxilie en el ingreso.
9. No hay una evaluación previa.	En algunos casos pudiera auxiliar realizar una preparación o evaluación previa por una enfermera antes	9.1 Evaluar la incorporación de una enfermera para la preparación y/o evaluación del paciente.

	de realizar la revisión por parte del médico. Esto incluye toma de algunos datos, evaluación de gravedad, preparación del paciente o toma de signos vitales.	
--	--	--

Además de las oportunidades de mejora generadas del tiempo de espera mayor y sus causas, también el personal identificó oportunidades de mejoras generales, así como posibles acciones de mejora, que aunque tal vez en algunas de ellas no tenga un impacto directo en los tiempos de espera si complican el desempeño de las actividades diarias. La tabla 5.2 presenta las oportunidades de mejora y posibles acciones de mejora identificadas por el personal. Cabe señalar que tanto las oportunidades como posibles acciones de mejora también se obtuvieron por medio de entrevistas que los analistas de apoyo hicieron al personal de los diferentes turnos. De igual manera no es el método más recomendado pero se logró el objetivo de obtener la opinión de los empleados. Lo ideal sería reunir al equipo de trabajo en una sesión donde se pudiera revisar de manera conjunta las oportunidades y posibles acciones de mejora. Esta etapa en el esquema es importante porque ayuda a identificar los problemas e identificar posibles acciones de mejora por todo el equipo de trabajo, esto permitirá dar una primera visión del trabajo requerido para mejorar el proceso. Cabe señalar que se le llaman posibles acciones porque no es la acción definitiva, es decir probablemente requiera de análisis avanzados o que al ser revisada detalladamente por un equipo de mejora “kaizen” cambie o sea más específica la acción.

Tabla 5.2 Oportunidades y acciones de mejora generales.

Oportunidad de mejora	Posible acción de mejora
10. El séptico actualmente se encuentra en el área de recuperación y como muchos residuos no pueden pasar por el área de recuperación, éstos se dejan en los pasillos obstruyendo el paso de las camillas y cerca de las salas de expulsión y quirófanos.	10.1 Revisar la distribución del área y reubicar el séptico.
11. Las pacientes tienen un traslado excesivo al área de mostrador y es necesario remover la pared ligera del área de recuperación para optimizar espacio.	11.1 Revisar la distribución del área y reubicar el mostrador cerca del área de información y remover la pared ligera del área de recuperación.
12. Las camillas y sillas de ruedas que vienen de la calle entran sucias al pasillo de área blanca.	12.1 Preparar un área de “transfer” para que no pasen las camillas sucias al área blanca (limpia).
13. El personal de información tiene problemas en hacerse escuchar al llamar a pacientes y familiares en la sala de espera general.	13.1 Instalar un sistema de voceo.
14. Computadoras descompuestas, cajones descompuestos, llaves goteando y pedazos de loseta sueltos.	14.1 Implementar y hacer funcionar un sistema de mantenimiento preventivo y correctivo.
15. Las personas esperan para que el guardia abra la puerta de acceso a la sala de espera especial.	15.1 Instalar un sistema de apertura automático de la puerta de acceso operado a través de un timbre por el módulo de información.
16. Los pacientes no ubican fácilmente el área de información.	16.1 Instalar un letrero en el área de información que sea visible por los usuarios.

Paso 5. Clasificar las oportunidades y acciones de mejora (CE)

De la lista de oportunidades de mejoras del punto anterior se determinó si requería de análisis avanzados o simplemente realizarse a través de equipos kaizen o directamente implementarse sin mayores preámbulos. Los criterios utilizados para tomar la decisión fueron inversión y complejidad. En caso de que cualquiera de estos dos criterios se calificara como alto se recomendó utilizar análisis avanzados, por otro lado cuando se calificaba como bajo en ambos casos y no requería de trabajo en equipo para implementar la solución se recomendó “directa”, finalmente se recomendó utilizar eventos kaizen cuando la inversión y complejidad de la solución era baja y requería trabajo en equipo para su implementación.

Tabla 5.3 Clasificación de las oportunidades y acciones de mejora.

OPORTUNIDADES DE MEJORA	POSIBLES ACCIONES DE MEJORA	CRITERIOS			CLASIFICACIÓN
		Alta inversión	Complejidad	Equipo multidisciplinario	
1. Médico atiende pacientes también en observación.	1.1 Mejorar las operaciones de apoyo para facilitar el trabajo del médico. Entre estas actividades se recomienda la implementación de 5s para mejorar la organización del área.	Si	No	Si	Kaizen
	1.2 Se requiere de estudios adicionales para evaluar si se requiere personal adicional o solo balancear las cargas de trabajo.	Si	Si	-	Análisis avanzados
2 El personal de limpieza no tiene tiempo de preparar las camas en observación.	2.1 Aplicar la metodología SMED para reducir los tiempos de limpieza y preparación de salas de expulsión y quirófanos.	No	No	Si	Kaizen
3 Toma tiempo informar el status del paciente	3.1 Habilitar las computadoras con internet y utilizar una aplicación como GoogleDocs para compartir documentos.	No	No	Si	Kaizen
	3.2 Conectar las computadoras en red y desarrollar un software que funcione como una base de datos donde se registre la ubicación y status de los pacientes. La ventaja es que se puede incluir el	Si	No	-	Análisis avanzados

	historial completo del paciente y administrar la disponibilidad de la información por departamento.				
4 No hay suficientes camas en observación y se usan las de revisión.	4.1 Emprender proyecto para asignar y balancear camas entre estaciones. Esto incluye revisar la distribución para el acomodo de camas.	Si	Si	-	Análisis avanzados
5 Espera por sabanas o batas.	5.1 Implementar un sistema kanban donde se identifique un punto de reorden y de esta manera se reabastezca antes de quedar con cero inventario.	No	No	Si	Kaizen
6 Toma tiempo registrar los datos.	6.1 Revisar los formatos actualmente utilizados para eliminar información repetitiva o innecesaria. 6.2 Realizar proyecto para evaluar de manera económica y funcional la factibilidad de automatizar las operaciones de captura de datos.	No Si	No Si	Si -	Kaizen Análisis avanzados
7 Paciente no trae último ultrasonido.	7.1 El personal médico debe de definir claramente los servicios que ofrece la unidad. Además sería conveniente emprender un estudio en el área de consulta para analizar la raíz del problema.	No	No	Si	Kaizen

8 El paciente no sabe cuando entrar.	8.1 Instalar un semáforo que señale la disponibilidad del área de revisión.	No	No	Si	Kaizen
	8.2 Evaluar modificaciones de la distribución del área para acercar al paciente al área de atención.	Si	Si	-	Análisis avanzados
	8.3 Evaluar la incorporación de un estudiante de enfermería en la sala de espera especial para que auxilie en el ingreso.	No	Si	-	Análisis avanzados
9 No hay una evaluación previa.	9.1 Evaluar la incorporación de una enfermera para la preparación y/o evaluación del paciente.	Si	Si	-	Análisis avanzados
10 El séptico actualmente se encuentra en el área de recuperación y como muchos residuos no pueden pasar por el área de recuperación, éstos se dejan en los pasillos obstruyendo el paso de las camillas y cerca de las salas de expulsión y quirófanos.	10.1 Revisar la distribución del área y reubicar el séptico.	Si	Si	-	Análisis avanzados
11 Las pacientes tienen un traslado excesivo al área de mostrador y es necesario	11.1 Revisar la distribución del área y reubicar el mostrador cerca del área de información y remover la pared	No	No	Si	Kaizen

remover la pared ligera del área de recuperación para optimizar espacio.	ligera del área de recuperación.				
12 Las camillas y sillas de ruedas que vienen de la calle entran sucias al pasillo de área blanca.	12.1 Preparar un área de “transfer” para que no pasen las camillas sucias al área blanca (limpia).	No	No	Si	Kaizen
13 El personal de información tiene problemas en hacerse escuchar al llamar a pacientes y familiares en la sala de espera general.	13.1 Instalar un sistema de voice.	No	No	No	Directa
14 Computadoras descompuestas, cajones descompuestos, llaves goteando y pedazos de loseta sueltos.	14.1 Implementar y hacer funcionar un sistema de mantenimiento preventivo y correctivo.	No	No	Si	Kaizen
15 Las personas esperan para que el guardia abra la puerta de acceso a la sala de espera especial.	15.1 Instalar un sistema de apertura automático de la puerta de acceso operado a través de un timbre por el módulo de información.	No	No	No	Directa
16 Los pacientes no ubican fácilmente el área de información.	16.1 Instalar un letrero en el área de información que sea visible por los usuarios.	No	No	No	Directa

Paso 6. Determinar si las acciones de mejora propuesta son pertinentes (CE)

Después de clasificar las oportunidades y acciones de mejora, las acciones con estrategia de análisis avanzados o de eventos kaizen fueron revisadas por la dirección para evaluar su pertinencia desde el punto de vista de los intereses de la institución. Para el caso de estudio, por el momento la dirección no estaba interesada en realizar cambios involucrando al personal para no interrumpir las actividades diarias ni tampoco por posibles conflictos sindicales por lo que las mejoras kaizen no fueron consideradas pertinentes para llevarse a cabo en ese momento. De las acciones con la estrategia de análisis avanzados, tampoco se consideraron pertinentes las relacionadas con la carga de trabajo del personal, las cuales son 1.2, 8.3 y 9.1, nuevamente para no tener conflictos con el personal y por la privacidad de la información requerida para el estudio. Sobre la acción 3.2 sobre el desarrollo de un software que funcione como base de datos, el departamento de informática comentó que actualmente estaba trabajando en ese proyecto por lo que tampoco se consideró pertinente duplicar esfuerzos. Sobre la acción 6.2 referente a tecnologías automatizadas para la captura de datos como códigos de barras, por el momento no fue del interés de la institución ya que requiere una inversión y tenían otras prioridades en gastos. En base a lo anterior lo único que la dirección consideró pertinente continuar fueron las acciones 4.1, 8.2 y 10.1, los cuales son básicamente revisar la asignación de camas entre las salas y revisión de la distribución física. La tabla 5.4 presenta estas acciones.

Tabla 5.4 Acciones de mejora pertinentes.

OPORTUNIDADES DE MEJORA	POSIBLES ACCIONES DE MEJORA	CLASIFICACIÓN
4. No hay suficientes camas en observación y se usan las de revisión.	4.1 Empezar proyecto para asignar y balancear camas entre estaciones. Esto incluye revisar la distribución para el alojamiento de camas.	Análisis avanzados
8. El paciente no sabe cuándo entrar.	8.2 Evaluar modificaciones de la distribución del área para acercar al paciente al área de atención.	Análisis avanzados
10. El séptico actualmente se encuentra en el área de recuperación y como muchos residuos no pueden pasar por el área de recuperación, éstos se dejan en los pasillos obstruyendo el paso de las camillas y cerca de las salas de expulsión y quirófanos.	10.1 Revisar la distribución del área y reubicar el séptico.	Análisis avanzados

Cabe mencionar que para el caso de las acciones de mejora directa también se presentaron a la dirección y aunque eran muy sencillas y se consideraron muy buenas propuestas no se concretizaron para llevarse a cabo.

Paso 7. Seleccionar la(s) herramienta(s) avanzada(s) a utilizar (CE)

Para el caso de estudio el asesor recomendó utilizar SED para la problemática principal sobre la asignación y balanceo de camas entre salas debido a que toma en cuenta la variación de la razón del tiempo entre llegadas, considera varias variables que afectan el uso de las camas como el personal de enfermería, doctores, número de camas y salas disponibles, así como las políticas de atención.

No obstante con el propósito de desarrollar una herramienta de apoyo en Excel que el cliente pudiera utilizar, también para el caso de estudio, se abordó el problema de asignación y balanceo de camas utilizando teoría de colas como técnica matemática.

Paso 8. Aplicar simulación de eventos discretos, recomendando incluir diseño de experimentos (CE)

Para el caso de estudio se aplicó SED como herramienta avanzada para analizar el problema del tiempo de espera excesivo para entrar a revisión, específicamente con respecto a la asignación y balanceo de camas y revisión de la distribución física.

Cabe mencionar que se seleccionó el software Arena como paquete de simulación a utilizar en el proyecto de tesis debido a que es el software preferente de simulación por ponentes en la Conferencia Anual de Simulación de Invierno (Winter Simulation Conference - WSC). Esta conferencia es de gran prestigio en los Estados Unidos y reúne a destacados académicos, estudiantes y practicantes de simulación de manera profesional. La figura 5.4 muestra el porcentaje de artículos que son referidos a la utilización de Arena en comparación con otros.

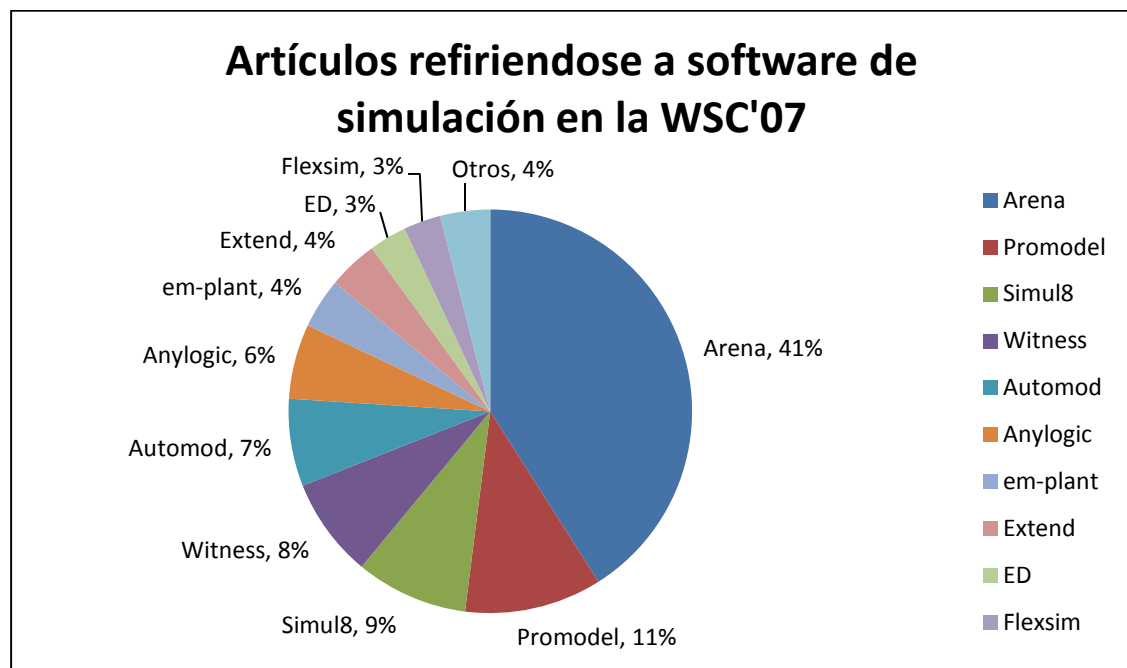


Figura 5.4 Comparativo de utilización de Arena con respecto a otros en la WSC.

De igual manera, Wanga et al. en el 2009 [48] escogieron en su estudio el software Arena como herramienta de simulación en base al trabajo de James en el 2003 y 2005 [49, 50] quien comparó 48 herramientas de software de simulación en su encuesta bianual y el trabajo de Schriber y Brunner en el 2002 [51]. Lo anterior respalda la elección del software Arena.

El procedimiento seguido para la aplicación de SED se describe a continuación:

Paso 8.1 Formulación del problema (CE)

- **Describir el problema.** El tiempo de espera para que el paciente pase a ser revisado es excesivo, algunas veces con espera hasta de 2 horas. Esta descripción del problema está basada en los resultados del análisis inicial y participaron en su definición directivos, líder de proyecto y asesor.
- **Definir el objetivo.** El tiempo de espera para ser revisado debe ser inferior a 10 minutos en promedio considerando principalmente la asignación de camas y distribución del área. El objetivo fue definido entre directivos, líder de proyecto y asesor.

- **Definir alcance y restricciones**

Alcance: el alcance comprende desde la llegada de pacientes hasta que salen de recuperación.

Restricciones:

- La propuesta de mejora no deberá incluir modificaciones en la planta de médicos y enfermeras.
- No se incluirán aspectos sobre la programación de procedimientos electivos. Los procedimientos electivos son los que se programan a diferencia de los procedimientos que se hacen por emergencia. Por ejemplo un procedimiento electivo puede ser una cesárea programada.
- No se tendrá acceso a información de registros de pacientes.

Tanto el alcance como las restricciones fueron definidos por los directivos, líder de proyecto y asesor.

Paso 8.2 Formación de un equipo de trabajo específico para SED con personal de diferentes niveles (CE)

Se siguió trabajando con el mismo equipo formado en el análisis inicial y se siguió manteniendo al mismo líder de proyecto.

Paso 8.3 Diseño del modelo conceptual (CE)

- **Descripción del sistema de manera gráfica.** Para el caso de estudio se pudo utilizar el mismo diagrama de flujo presentado en la figura 5.1 por lo que no hubo necesidad de construir uno nuevo con un enfoque particular.
- **Listado de suposiciones y simplificaciones.** Principalmente las suposiciones y simplificaciones se hicieron debido a la falta de información disponible. Las suposiciones y simplificaciones del modelo fueron:
 1. No se considera el arribo de pacientes en ambulancia. Llegadas en ambulancia al área de obstetricia y ginecología son casos raros, durante el tiempo que se colectaron datos no se presentó un caso de arribo de pacientes por lo que se prefirió omitir este aspecto.
 2. Los procedimientos electivos (programados) pueden realizarse a cualquier hora del día. En realidad estos procedimientos se realizan principalmente en el turno matutino pero no se pudo obtener la información de las horas en que se realizaban los procedimientos por cuestiones de privacidad.
 3. Pacientes electivos (programados) siguen el mismo flujo que los pacientes lectivos (emergencias). Realmente los pacientes electivos llegan un día antes de realizar su procedimiento.
 4. En cada revisión se considera un paciente diferente. En realidad hay pacientes que vuelven varias veces el mismo día para que revisen el avance de sus contracciones.
 5. El médico del área de revisión/observación revisa cada hora a cada uno de los pacientes en el área de observación con una duración de revisión representada por una distribución exponencial con media de 1 minuto. En realidad son extremadamente variables las revisiones y se requiere una gran inversión de tiempo obtener este dato de manera precisa porque no se registra, por otro lado no forma parte del objetivo principal. Por lo anterior se decidió utilizar una aproximación utilizando una distribución exponencial con media de un minuto.
 6. A todos los pacientes admitidos al área de observación se les realiza un procedimiento en las salas de expulsión o quirófanos. En realidad, muy pocos pacientes se van a su casa después de pasar su estancia en el área de observación. No se consideró porque son pocos casos y no se obtuvo acceso a esos registros.

7. Se supuso que se tienen disponible cinco médicos para las salas de procedimientos en el turno de la mañana entre semana y tres el resto del tiempo. En realidad el número de médicos varía en gran medida porque tienen otras actividades fuera del área y además también participan médicos residentes pero no se proporcionó esta información por cuestiones de privacidad. La cantidad supuesta de médicos es una aproximación en base a la percepción de los analistas.
8. El tiempo de estancia total real se calculó como la sumatoria de promedios de estancia de los pacientes en cada una de las áreas. No se tuvo acceso a registro a pacientes y la estancia puede tomar más de 12 horas dificultando la obtención de este dato por medio de observación directa.

Con base en la información anterior podremos darnos cuenta que si profundizáramos en los tiempos de tareas individuales de doctores y enfermeras y horas de inicio de procedimientos podríamos tener mayor precisión en el modelo.

- **Diagrama de la distribución física del sistema.** Se obtuvieron las dimensiones de las áreas y se dibujó en Autocad la distribución actual del sistema caso de estudio presentado en la figura 5.5.
- **Especificar los métricos de salida.** Los métricos deben tener una relación directa con los objetivos de la simulación. Para el caso de estudio, los métricos son:
 - Tiempo promedio de espera para ser revisado. Porque el objetivo es reducir el tiempo de espera para ser revisado.
 - Tiempo promedio de espera total para los pacientes admitidos. Porque nos interesa ver el impacto en el tiempo de espera total, de esta forma nos aseguramos que no se incremente el tiempo de espera en otra parte del proceso al incrementarse el tiempo de espera total, por lo que se espera que el total de las esperas disminuya.
 - Utilización de las camas de observación. Este métrico nos permite apreciar el uso esperado de las camas y podemos utilizarlo como referencia para la toma de decisiones.

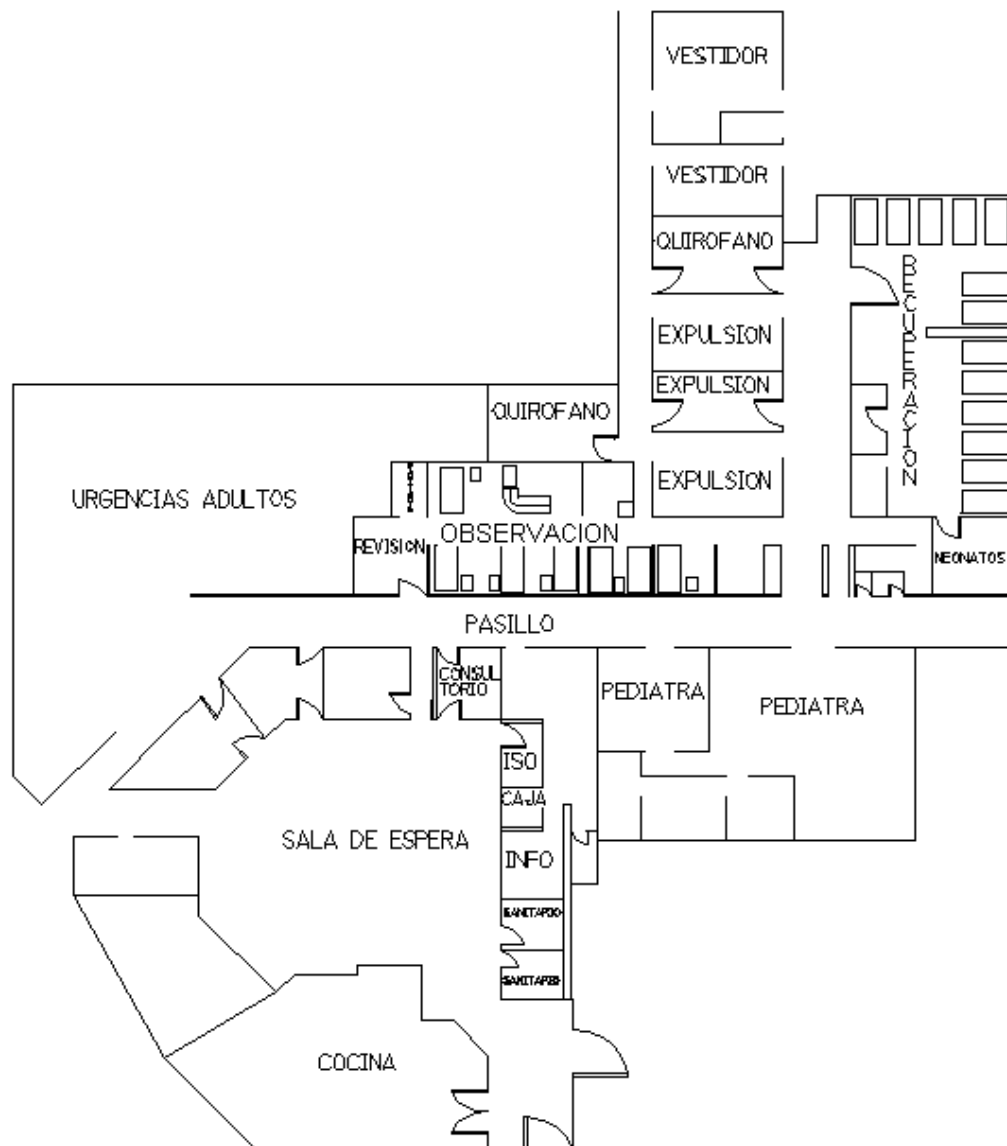


Figura 5.5 Distribución actual del área de emergencias del hospital caso bajo estudio.

- **Listar los datos de entrada.** Los datos que describen al sistema y son necesarios para construir el modelo de simulación son:
 - a) **Llegadas.** Número de pacientes que llegan por hora.
 - b) **Procesos.** Tiempos de procesos en recepción (información, mostrador y cajero), revisión, observación, procedimiento, recuperación y limpieza de salas. Los tiempos de

observación, procedimiento y recuperación desglosados por tipo de procedimiento, además el porcentaje de ocurrencia de cada procedimiento y prioridades de procesos.

d) **Recursos.** Número de recursos disponibles de camas, enfermeras y médicos, número y tipo de recursos requeridos por proceso y turnos de trabajo.

e) **Atributos de las entidades.** Porcentaje de pacientes que solo son revisados y se van y porcentaje de procedimientos de cada tipo.

Para efectos de validación además se requerirá:

f) Tiempos de esperas.

g) Tiempos de estancia total.

- **Revisar el modelo conceptual por el equipo de trabajo.** Como el modelo conceptual fue desarrollado principalmente por los analistas y el asesor con el apoyo del personal era esencial tener una reunión de revisión con el equipo de trabajo antes de proceder con las siguientes etapas. En la reunión se presentó el diagrama de flujo, las suposiciones y simplificaciones, la distribución física y los datos de entrada para su revisión. Durante la revisión solo se realizaron modificaciones menores en la descripción del proceso como malinterpretaciones en las decisiones del flujo de pacientes.

Paso 8.4 Colección y tratamiento de datos (CE)

De la lista de datos requeridos se investigó que datos estaban disponibles en registros históricos y que datos se tenían que obtener por muestreo directamente del sistema. Para los datos que se requerían muestrear se prepararon formatos para la colección de datos. A continuación se describen las etapas seguidas para la obtención de datos:

Paso 8.4.1 Calcular el tamaño de muestra (CE)

Para determinar el tamaño de la muestra se siguieron los siguientes pasos:

- a) Definir el porcentaje de error permitido (% Ep) con el que se desea trabajar. Se decidió utilizar un % Ep del 10 % para los cálculos. Este dato fue elegido por el asesor de manera arbitraria considerando que mientras menor sea el error, mayor precisión tendrá el modelo de simulación.

- b) Obtener datos para una muestra inicial (n_i). Para las llegadas se obtuvieron muestras por dos semanas obtenidas de registros y para los demás datos fue de manera ideal 30 observaciones aunque hubo procesos en los que su ocurrencia era esporádica y se obtuvieron menos de 30 observaciones. La tabla 5.5 muestra el resumen de la muestra obtenida.
- c) Calcular el error de la muestra (E). En base a los datos de la muestra inicial se obtuvo el error utilizando la siguiente ecuación [167]:

$$E = t_{n-1, 1-\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n_i}} \quad \text{Ec. 5.1}$$

Donde E es el error de la muestra, S es la desviación estándar de la muestra, t es el valor de tablas t-student, n_i es el tamaño de la muestra inicial y α es el nivel de significancia del 5%.

- d) Calcular el porcentaje de error de la muestra. Se utilizó la siguiente ecuación [167]:

$$\% E = \frac{E}{\bar{X}} * 100 \quad \text{Ec. 5.2}$$

Donde:

$\bar{X}$: media de la muestra

En los casos en los que el porcentaje de error (% E) excedía el 10% (% Ep - porcentaje de error permitido), se calculó el error permitido (Ep) con respecto a la media utilizando la siguiente ecuación [167]. La tabla 7.4 muestra el resultado de los cálculos en la columna Ep.

$$Ep = \frac{(\% Ep)(\bar{X})}{100} \quad \text{Ec. 5.3}$$

Finalmente se utilizó la siguiente ecuación para calcular el tamaño de muestra requerido donde n_r es el tamaño de muestra requerido, Z es el valor de tablas de la distribución normal con α del 5%, S la desviación estándar de la muestra y Ep el error permitido. La tabla 7.4 muestra el resultado de los cálculos en la columna n_r la cual nos indica las muestras que debemos de tomar en su totalidad. Cabe hacer mención que algunos procedimientos suceden esporádicamente por lo que solo se considera una observación basada en la aproximación de los empleados.

$$n_r \cong \left(Z_{1-\alpha/2} \frac{S}{E_p} \right)^2 \quad \text{Ec. 5.4}$$

Tabla 5.5 Datos de la muestra inicial. Unidades de tiempo en minutos.
 n_i : tamaño de muestra inicial, $\bar{X}$ media muestral, S: desviación estándar, E: error de la muestra, % E: porcentaje de error de la muestra, E_p : error permitido y n_r : tamaño de muestra requerido.

Descripción de proceso	n_i	$\bar{X}$	S	E	% E	E_p	n_r
Información	30	1.09	0.30	0.11	10		
Mostrador	30	1.39	0.25	0.09	7		
Cajero	30	1.72	0.21	0.08	4		
Toma de datos	30	1.83	0.75	0.27	15	0.18	65
Cambio con sabana	30	1.10	0.31	0.11	10		
Cambio sin sabana	14	2.00	0.68	0.36	18	0.20	44
Revisión	30	3.17	1.70	0.61	19	0.32	110
Vestir	30	1.67	0.31	0.11	7		
Indicaciones finales	30	1.97	1.54	0.55	28	0.20	235
Canalización	23	15.70	7.45	3.04	19	1.57	87
Limpieza de sala	30	26.83	5.80	2.08	8		
Observación 01 - Salpingoclasia	1	60.00	-	-	-	-	-
Observación 02 - Biopsia cérvix	1	60.00	-	-	-	-	-
Observación 03 - Electrofulguración	1	60.00	-	-	-	-	-
Observación 04 - Electrocirugía	1	60.00	-	-	-	-	-
Observación 05 - Crioterapia	1	60.00	-	-	-	-	-
Observación 06 - Biopsia endometrio	1	60.00	-	-	-	-	-
Observación 07 - Biopsia de mama	1	60.00	-	-	-	-	-
Observación 21 - Parto Normal	30	283.80	277.29	99.23	35	28.38	367
Observación 22 - Cesárea	30	283.80	277.29	99.23	35	28.38	367
Observación 23 - Cesárea y Salpingoclasia	30	283.80	277.29	99.23	35	28.38	367
Observación 24 - Cesárea e histerectomía	30	283.80	277.29	99.23	35	28.38	367
Observación 25 - Legrado	7	152.00	62.90	46.60	31	15.20	66
Observación 26 - Laparotomía exploratoria	1	60.00	-	-	-	-	-
Observación 27 - Colpoperineoplastia	1	60.00	-	-	-	-	-
Procedimiento 01 - Salpingoclasia	9	54.30	4.12	2.69	5		
Procedimiento 02 - Biopsia cérvix	1	30.00	-	-	-	-	-
Procedimiento 03 - Electrofulguración	1	60.00	-	-	-	-	-
Procedimiento 04 - Electrocirugía	1	30.00	-	-	-	-	-
Procedimiento 05 - Crioterapia	1	20.00	-	-	-	-	-
Procedimiento 06 - Biopsia endometrio	1	60.00	-	-	-	-	-
Procedimiento 07 - Biopsia de mama	3	56.67	25.17	28.48	50	5.67	76
Procedimiento 21 - Parto normal	30	51.83	8.56	3.06	6		
Procedimiento 22 - Cesárea	30	75.37	25.13	8.99	12	7.54	43
Procedimiento 23 - Cesárea y salpingoclasia	30	75.37	25.13	8.99	12	7.54	43

Procedimiento 24 - Cesárea e histerectomía	30	75.37	25.13	8.99	12	7.54	43
Procedimiento 25 - Legrado	19	41.50	8.93	4.02	10		
Procedimiento 26 - Laparotomía exploratoria	2	94.50	14.85	20.58	22	9.45	9
Procedimiento 27 - Colpoperineoplastia	1	94.50	-	-	-	-	-
Recuperación 01 - Salpingoclasia	7	197.00	71.70	53.12	27	19.70	51
Recuperación 02 - Biopsia cérvix	7	197.00	71.70	53.12	27	19.70	51
Recuperación 03 - Electrofulguración	7	197.00	71.70	53.12	27	19.70	51
Recuperación 04 - Electrocirugía	7	197.00	71.70	53.12	27	19.70	51
Recuperación 05 - Crioterapia	7	197.00	71.70	53.12	27	19.70	51
Recuperación 06 - Biopsia endometrio	7	197.00	71.70	53.12	27	19.70	51
Recuperación 07 - Biopsia de mama	7	197.00	71.70	53.12	27	19.70	51
Recuperación 21 - Parto normal	30	327.75	153.68	54.99	17	32.78	84
Recuperación 22 - Cesárea	29	398.00	140.00	50.95	13	39.80	48
Recuperación 23 - Cesárea y salpingoclasia	29	398.00	140.00	50.95	13	39.80	48
Recuperación 24 - Cesárea e histerectomía	29	398.00	140.00	50.95	13	39.80	48
Recuperación 25 - Legrado	6	298.00	135.00	108.02	36	29.80	79
Recuperación 26 - Laparotomía exploratoria	7	197.00	71.70	53.12	27	19.70	51
Recuperación 27 - Colpoperineoplastia	7	197.00	71.70	53.12	27	19.70	51

Paso 8.4.2 Colección de información (CE)

Conociendo el tamaño de muestra total requerido se procedió a coleccionar los datos faltantes. La tabla 5.6 presenta el resumen de los resultados del muestreo final. La columna n_r presenta el tamaño de muestra requerida mientras que la columna n aplicado presenta la cantidad de observaciones que finalmente se obtuvieron por cada uno de los procesos. Cabe señalar que en varios casos no se obtuvo el tamaño de muestra requerido por las limitaciones de tiempo y recursos (en estos casos aparece sombreado la celda n aplicado), además existen procesos que suceden esporádicamente por lo que solo se consideró la aproximación del personal (para estos casos el valor de n aplicado es 1). Por otro lado hubo datos muestrales adicionales que aunque no eran necesarios se consideraron porque se pudieron obtener en el ejercicio.

Tabla 5.6 Tabla de datos del muestreo final. Unidades de tiempo en minutos.
 n_r : tamaño de muestra requerido, $\bar{X}$ media muestral y S: desviación estándar.

Descripción de proceso	n_r	n aplicado	$\bar{X}$	S
Información	30	35	1.08	0.29
Mostrador	30	32	1.39	0.25
Cajero	30	32	1.72	0.21
Toma de datos	65	93	1.89	1.20
Cambio con sabana	30	85	1.28	0.68
Cambio sin sabana	44	14	2.00	0.68
Revisión	110	97	3.00	1.27
Vestir	30	97	1.62	0.80
Indicaciones finales	235	62	2.00	1.36
Canalización	87	23	15.70	7.45
Limpieza de sala	30	38	26.97	5.27
Observación 01 - Salpingoclasia	-	1	60.00	-
Observación 02 - Biopsia cérvix	-	1	60.00	-
Observación 03 - Electrofulguración	-	1	60.00	-
Observación 04 - Electrocirugía	-	1	60.00	-
Observación 05 - Crioterapia	-	1	60.00	-
Observación 06 - Biopsia endometrio	-	1	60.00	-
Observación 07 - Biopsia de mama	-	1	60.00	-
Observación 21 - Parto Normal	367	125	338.08	371.72
Observación 22 - Cesárea	367	125	338.08	372.00
Observación 23 - Cesárea y Salpingoclasia	367	125	338.08	372.00
Observación 24 - Cesárea e histerectomía	367	125	338.08	372.00
Observación 25 - Legrado	66	7	152.00	62.90
Observación 26 - Laparotomía exploratoria	-	1	60.00	-
Observación 27 - Colpoperineoplastia	-	1	60.00	-
Procedimiento 01 - Salpingoclasia	9	9	54.30	4.12
Procedimiento 02 - Biopsia cérvix	-	1	30.00	-
Procedimiento 03 - Electrofulguración	-	1	60.00	-
Procedimiento 04 - Electrocirugía	-	1	30.00	-
Procedimiento 05 - Crioterapia	-	1	20.00	-
Procedimiento 06 - Biopsia endometrio	-	1	60.00	-
Procedimiento 07 - Biopsia de mama	76	3	56.67	25.17
Procedimiento 21 - Parto normal	30	111	52.50	7.43
Procedimiento 22 - Cesárea	43	54	75.91	23.77
Procedimiento 23 - Cesárea y salpingoclasia	43	54	75.91	23.77
Procedimiento 24 - Cesárea e histerectomía	43	54	75.91	23.77
Procedimiento 25 - Legrado	19	19	41.50	8.93
Procedimiento 26 - Laparotomía exploratoria	9	2	94.50	14.85

Procedimiento 27 - Colpoperineoplastia	-	1	94.50	-
Recuperación 01 - Salpingoclasia	51	7	197.00	71.70
Recuperación 02 - Biopsia cérvix	51	7	197.00	71.70
Recuperación 03 - Electrofulguración	51	7	197.00	71.70
Recuperación 04 - Electrocirugía	51	7	197.00	71.70
Recuperación 05 - Crioterapia	51	7	197.00	71.70
Recuperación 06 - Biopsia endometrio	51	7	197.00	71.70
Recuperación 07 - Biopsia de mama	51	7	197.00	71.70
Recuperación 21 - Parto normal	84	40	328.00	154.00
Recuperación 22 - Cesárea	48	29	398.00	140.00
Recuperación 23 - Cesárea y salpingoclasia	48	29	398.00	140.00
Recuperación 24 - Cesárea e histerectomía	48	29	398.00	140.00
Recuperación 25 - Legrado	79	6	298.00	135.00
Recuperación 26 - Laparotomía exploratoria	51	7	197.00	71.70
Recuperación 27 - Colpoperineoplastia	51	7	197.00	71.70

Paso 8.4.3 Preparación de datos para el análisis (CE)

Todos los datos colectados se introdujeron en hojas de cálculo en Excel, se revisó que los datos estuvieran completos, que los registros concordaran entre sí, se calcularon diferencias entre tiempos y se convirtieron a una sola unidad de tiempo. Posteriormente se generaron archivos de los datos con extensión .txt para poder ser leídos en la siguiente etapa por la herramienta “Analizador de datos de entradas” (“Input Analyzer”) del software Arena. Con esto los datos quedaron listos para ser utilizados en la siguiente etapa del proceso.

Paso 8.4.4 Modelación de los datos de entrada (CE)

a) Ajustando los datos a una distribución de probabilidad teórica. Para la modelación de los datos de procesos primeramente se trabajó en ajustarlos a distribuciones de probabilidad teóricas utilizando la herramienta “Analizador de datos de entrada” (Input Analyzer) del software de simulación Arena. Para presentar los resultados arrojados por el “Analizador de datos de entrada” se presenta como ejemplo el procedimiento de cesárea. La tabla 5.7 presenta el SE (“Square error” – Error cuadrático) para cada una de las distribuciones. Se observa que la distribución de probabilidad que mejor se ajusta a los datos es la triangular porque tiene el menor SE y es la que se considera para la prueba estadística de ajuste.

Tabla 5.7 SE por distribución para el proceso de cesárea.

Resumen de todos los ajustes	
Función	SE
Triangular	0.0133
Normal	0.0147
Weibull	0.0252
Beta	0.0270
Gamma	0.0548
Erlang	0.0551
Uniforme	0.0636
Exponencial	0.1250
Lognormal	0.1540

El planteamiento de las hipótesis quedaría como sigue:

Ho: Los datos se ajustan a una distribución Triangular.

Ha: Los datos no se ajustan a una distribución Triangular.

La tabla 5.8 presenta el resumen de resultados del “Analizador de datos de entrada”. Se observa que el valor-p tanto de la prueba de bondad de ajuste Chi-cuadrada como el de la Kolmogorov-Smirnov es mayor que el nivel de significancia de 0.05 por lo que se acepta la Ho de que los datos se ajustan en este caso a una distribución triangular. También nos indica que la expresión a utilizar para representar la duración del procedimiento de cesárea es TRIA(20, 72.5, 125). La expresión de la distribución triangular está conformada por tres parámetros: valor mínimo, valor más probable y valor máximo.

Tabla 5.8 Resumen de resultados del “Analizador de datos de entrada” para el proceso de cesárea.

Resumen de la distribución Distribución: Triangular Expresión: $\text{TRIA}(20, 72.5, 125)$ SE: 0.013256 Prueba Chi cuadrada Número de intervalos = 5 Grados de libertad = 3 Estadístico de prueba = 3.52 Valor p correspondiente = 0.334 Prueba Kolmogorov-Smirnov Estadístico de prueba = 0.111 Valor p correspondiente > 0.15	Resumen de datos Número de puntos de datos = 54 Valor mínimo = 20 Valor máximo = 125 Media de la muestra = 75.9 Desviación estándar de la muestra = 23.8 Resumen de histograma Rango de histograma = 20 to 125 Número de intervalos = 7
---	--

La siguiente figura presenta el histograma de los datos con la distribución triangular ajustada.

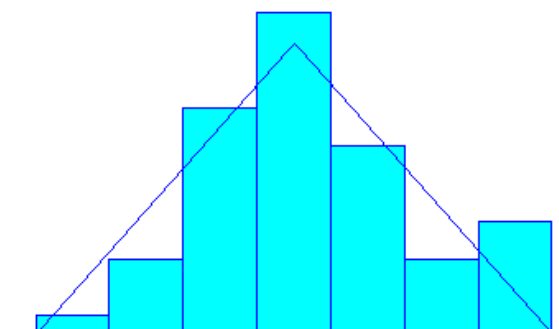


Figura 5.6 Histograma con distribución triangular ajustada para el proceso de cesárea.

Cabe mencionar que algunos procesos no suceden frecuentemente por lo que se tomaron aproximaciones en base a la experiencia del personal. Las expresiones de las distribuciones de probabilidad resultantes para cada uno de los procesos se presentan en la tabla 5.9.

Tabla 5.9 Distribuciones de probabilidad ajustadas. Unidades de tiempo en minutos con excepción donde aparece * en cuyo caso son segundos.

Proceso	Distribución a utilizar	SE	Distribución con menor SE
Información *	33.5 + WEIB(34.6, 1.79)	0.027	Weibul
Mostrador *	56.5 + 49 * BETA(0.998, 0.866)	0.020	Beta
Cajero *	TRIA(80.5,94,133)	0.024	Triangular
Toma de datos	TRIA(.5,2,9.5)	0.244	Gamma
Cambio con sabana	0.5 + LOGN(0.743, 0.424)	0.002	Lognormal
Cambio sin sabana	TRIA(.5,2,3.5)	0.000	Normal
Revisión	TRIA(0.5, 3, 11.5)	0.153	Erlang
Vestir	0.5 + ERLA(0.559, 2)	0.001	Erlang
Indicaciones finales	TRIA(.5,1,7.5)	0.103	Lognormal
Canalización	TRIA(6.5,13,38.5)	0.053	Beta
Limpieza de sala	TRIA(14.5,30,35.5)	0.216	Triangular
Observación 01 - Salpingoclasia	EXPO(60)	-	-
Observación 02 - Biopsia cérvix	EXPO(60)	-	-
Observación 03 - Electrofulguración	EXPO(60)	-	-
Observación 04 - Electrocirugía	EXPO(60)	-	-
Observación 05 - Crioterapia	EXPO(60)	-	-
Observación 06 - Biopsia endometrio	EXPO(60)	-	-
Observación 07 - Biopsia de mama	EXPO(60)	-	-
Observación 21 - Parto Normal	TRIA(10, 74, 1.42e+003)	0.007	Weibul
Observación 22 - Cesárea	TRIA(10, 74, 1.42e+003)	0.007	Weibul
Observación 23 -Cesárea y Salpingoclasia	TRIA(10, 74, 1.42e+003)	0.007	Weibul
Observación 24 - Cesárea e hysterectomía	TRIA(10, 74, 1.42e+003)	0.097	Weibul
Observación 25 - Legrado	TRIA(99, 113, 240)	0.146	Exponential
Observación 26 - Laparotomía exploratoria	EXPO(60)	-	-
Observación 27 - Colpoperineoplastia	EXPO(60)	-	-
Procedimiento 01 - Salpingoclasia	TRIA(44.5,55,60.5)	0.123	Triangular
Procedimiento 02 - Biopsia cérvix	UNIF(25,35)	-	-
Procedimiento 03 - Electrofulguración	UNIF(50,70)	-	-
Procedimiento 04 - Electrocirugía	UNIF(25,35)	-	-
Procedimiento 05 - Crioterapia	UNIF(15,25)	-	-
Procedimiento 06 - Biopsia endometrio	UNIF(50,70)	-	-
Procedimiento 07 - Biopsia de mama	UNIF(47,67)	-	-
Procedimiento 21 - Parto normal	POIS(52.5)	0.028	Poisson
Procedimiento 22 - Cesárea	TRIA(20,72.95,125)	0.013	Triangular
Procedimiento 23 -Cesárea y salpingoclasia	TRIA(20,72.95,125)	0.013	Triangular
Procedimiento 24 - Cesárea e hysterectomía	TRIA(20,72.95,125)	0.013	Triangular
Procedimiento 25 - Legrado	TRIA(29.5,30,62.5)	0.086	Poisson
Procedimiento 26 - Laparotomía	UNIF(89.5,99.5)	-	-

exploratoria			
Procedimiento 27 - Colpoperineoplastia	UNIF(89.5,99.5)	-	-
Recuperación 01 - Salpingoclasia	UNIF(87,300)	0.106	Uniform
Recuperación 02 - Biopsia cérvix	UNIF(87,300)	0.106	Uniform
Recuperación 03 - Electrofulguración	UNIF(87,300)	0.106	Uniform
Recuperación 04 - Electrocirugía	UNIF(87,300)	0.106	Uniform
Recuperación 05 - Crioterapia	UNIF(87,300)	0.106	Uniform
Recuperación 06 - Biopsia endometrio	UNIF(87,300)	0.106	Uniform
Recuperación 07 - Biopsia de mama	UNIF(87,300)	0.106	Uniform
Recuperación 21 - Parto normal	UNIF(90,726)	0.060	Weibul
Recuperación 22 - Cesárea	TRIA(170, 308, 715)	0.006	Triangular
Recuperación 23 - Cesárea y salpingoclasia	TRIA(170,308,715)	0.006	Triangular
Recuperación 24 - Cesárea e histerectomía	TRIA(170,308,715)	0.006	Triangular
Recuperación 25 – Legrado	UNIF(140, 480)	0.078	Uniform
Recuperación 26 - Laparotomía exploratoria	UNIF(87,300)	0.106	Uniform
Recuperación 27 - Colpoperineoplastia	UNIF(87,300)	0.106	Uniform

b) Modelación de la llegada de pacientes. La llegada de los pacientes o arribos del sistema bajo estudio se definió como un Proceso Poisson no estacionario, también llamada distribución exponencial no estacionaria, debido a que la razón de arribos varía sobre el tiempo, es decir la razón de llegada de los pacientes cambia dependiendo de la hora y día [165]. En un proceso Poisson no estacionario los eventos ocurren uno a la vez, son independientes uno del otro, y el número de eventos durante un intervalo de tiempo $[t_1, t_2]$ es una variable aleatoria Poisson con un valor esperado dado por:

$$\Lambda(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} \lambda(t) dt \quad \text{Ec. 5.5}$$

En la figura 5.7 se aprecia la diferencia en la razón de arribos por hora dependiendo de la hora y del día. En fin de semana los arribos por hora en promedio son de 2 pacientes a lo largo del día, mientras que entre semana la razón de arribos entre 8 y 10 de la mañana se encuentra entre 4 y 5 pacientes por hora y después se mantiene el resto del día en 3 pacientes por hora.

El comportamiento de la gráfica tiene su explicación en los siguientes hechos:

- Las cirugías se programan entre semana, por lo que se presenta un mayor número de arribos entre semana, principalmente en la mañana porque es el turno preferente.

- En fin de semana y en las horas de la madrugada entre semana se presenta una razón de arribos estable de 2 pacientes por hora en promedio. Esto se debe a que solo van los pacientes que realmente se encuentran en una situación de emergencia y no los pacientes programados para la realización de un procedimiento.
- Los picos que se muestran el fin de semana a las 14, 21 y 22 horas se deben principalmente a pacientes donde no se les registra de manera apropiada su hora de llegada por lo que se carga el dato a las últimas horas de los turnos.

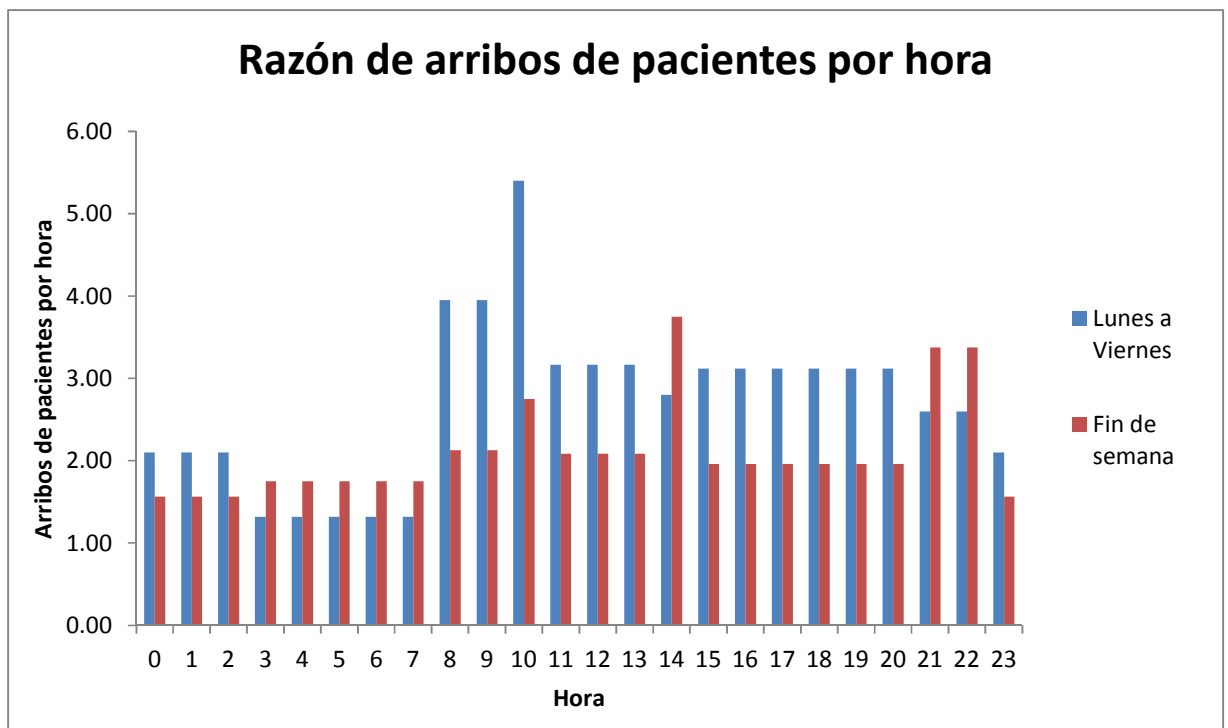


Figura 5.7 Razón de arribos de pacientes por hora.

En la figura 5.8 se presenta el gráfico de proporción de llegadas el cuál es otra forma de analizar si las llegadas son estacionarias o no estacionarias. En el eje X se grafica el tiempo entre llegadas acumulado y en el Y la proporción. Se observa que no se ajusta a una línea recta por lo que constatamos que las llegadas no son estacionarias.

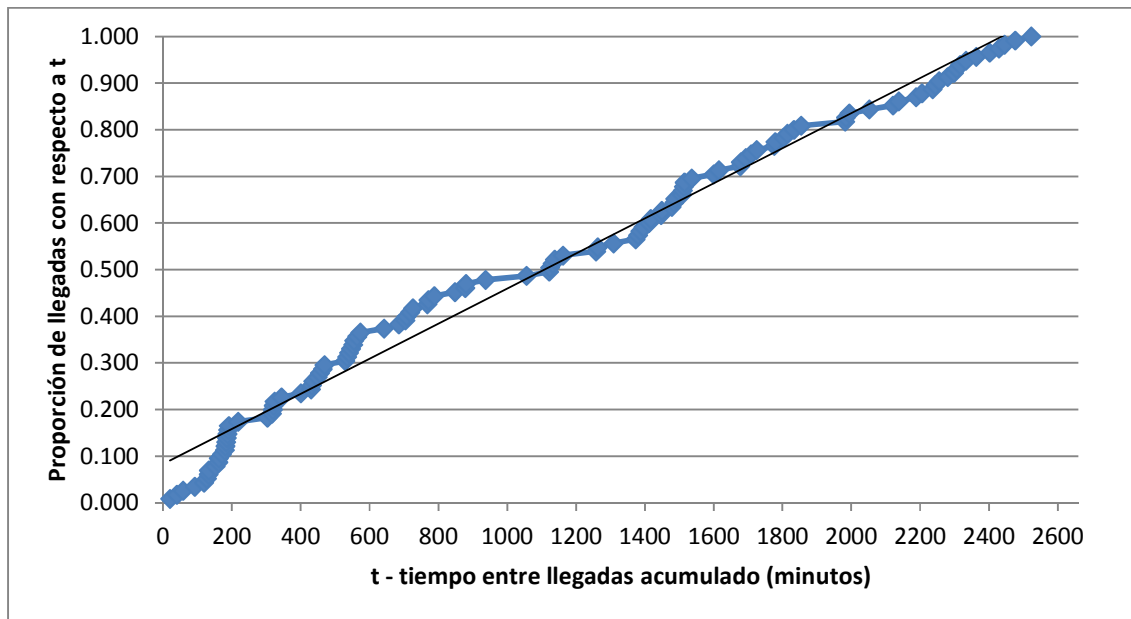


Figura 5.8 Gráfica de proporción de llegadas.

Para el sistema bajo estudio se obtuvo la llegada de pacientes promedio por hora en base una muestra de dos semanas. La siguiente figura muestra la ventana “Patrones de tiempo” (Time Patterns) donde se ingresó la razón de arribos de pacientes por hora.

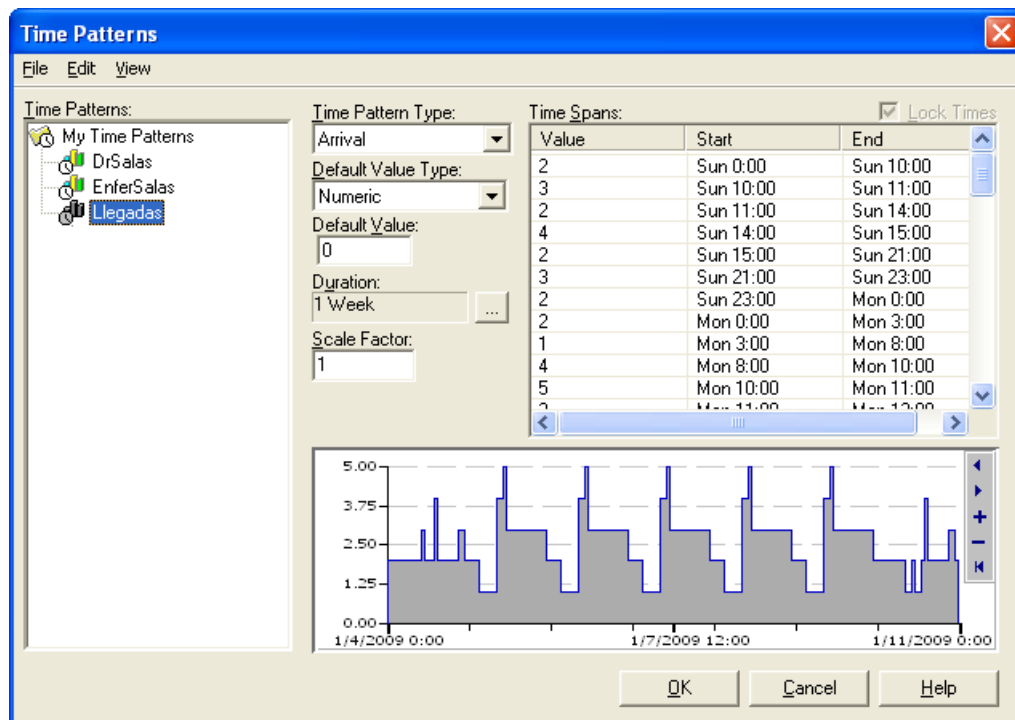


Figura 5.9 Ventana para el ingreso de arribos por hora.

Paso 8.5 Construcción del modelo (CE)

La construcción del modelo se divide en la programación de la lógica, el diseño de la animación del modelo y especificar el tiempo de estabilización del modelo. A continuación se describe cada uno de estos puntos utilizando el software Arena versión 9.

a) Programación de la lógica del modelo.

La programación de la lógica del modelo consistió en el desarrollo de 9 sub-modelos los cuales se muestran en la figura 5.10.

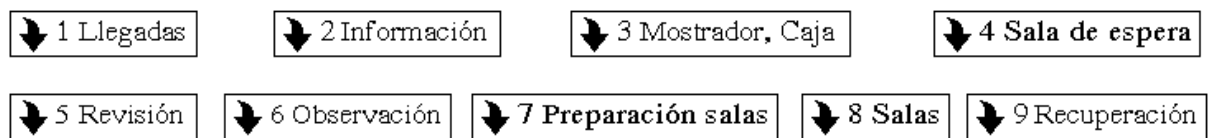


Figura 5.10 Sub-modelos de la construcción del modelo.

La programación en arena es a través de bloques similares a los diagramas de flujo junto con información de tablas y funciones complementarias. La figura 5.11 muestra la vista del submodelo 1 como ejemplo. El primer modulo llamado “crear” se utiliza para definir la llegada de las entidades que en este caso son pacientes, el segundo modulo llamado “registro” se utiliza para coleccionar datos y presentarlos en el reporte de la simulación de manera resumida, el tercer modulo llamado “estación” se utiliza para definir una locación física en la animación, el cuarto modulo llamado “asignación” se utiliza para hacer cualquier asignación ya sea a variables, atributos o expresiones, el quinto y último modulo llamado “Ir a” se utiliza para hacer el movimiento físico de las entidades a otra estación durante la animación. Los símbolos descritos son solo una muestra de los módulos utilizados para construir el modelo de simulación y que están disponibles en el simulador Arena.



Figura 5.11 Vista interna del submodelo 1.

b) Diseño de la animación del modelo

La animación se realizó en 2D y posteriormente en 3D para mejorar la visualización del modelo.

Animación en 2D

La animación del modelo en 2D consistió en importar de Autocad 2008 el diseño de la distribución actual incorporando recursos claves como camas y personal. Los aspectos sobresalientes de la animación es que permite ver el acumulamiento de las personas y sus movimientos entre áreas, con respecto a los recursos, estos cambian de color cuando están siendo utilizados. Además de la distribución, la animación presenta dos secciones más denominadas: variables y gráficas. Ambas secciones presentan información en tiempo de simulación real ya sea numérica o gráfica de manera respectiva sobre datos de interés como número de personas esperando, tiempos de espera promedio y porcentajes de utilización de los recursos. La figura 5.12 muestra la vista general de la animación del modelo en 2D.

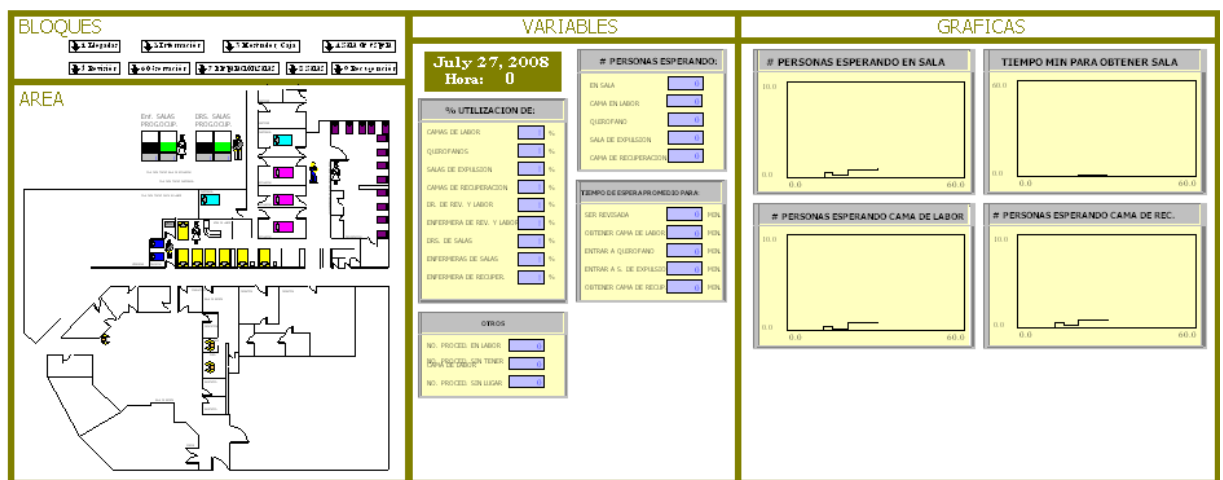


Figura 5.12 Vista general de animación del modelo en 2D.

Animación en 3D

En una segunda fase se diseño la animación del modelo en 3D utilizando el software Arena 3D player. La animación en 3D permite mostrar un ambiente más realista para los clientes. La figura 5.13 presenta la vista del área de recepción, la figura 5.14 presenta las salas donde se ubican las camas del área de emergencias de obstetricia y ginecología así como la ruta que sigue el paciente y por último la figura 5.15 presenta una vista panorámica de la animación.

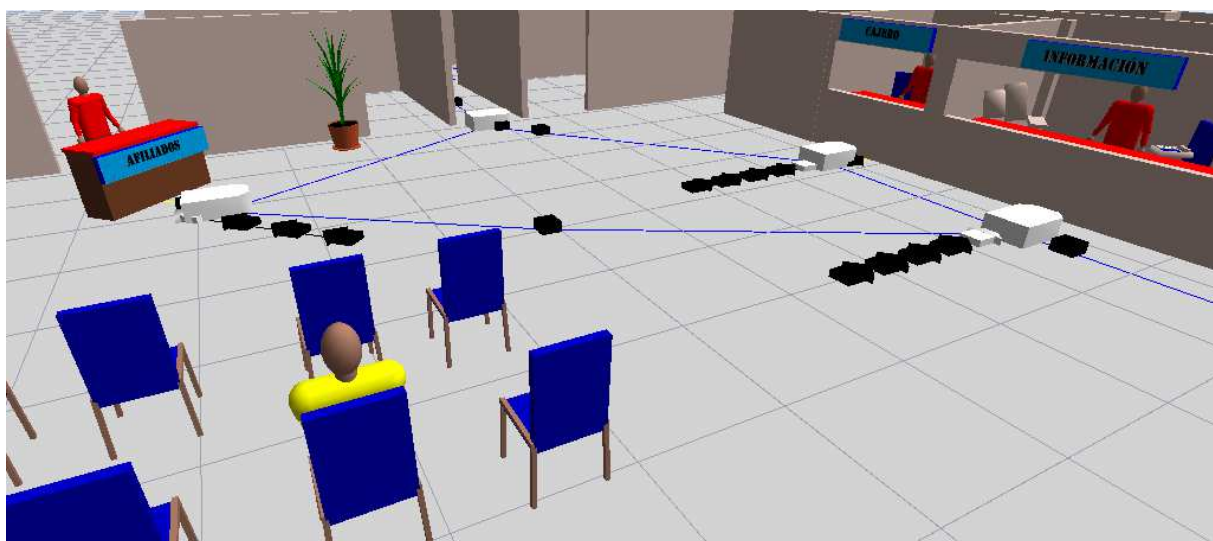


Figura 5.13 Vista de recepción.

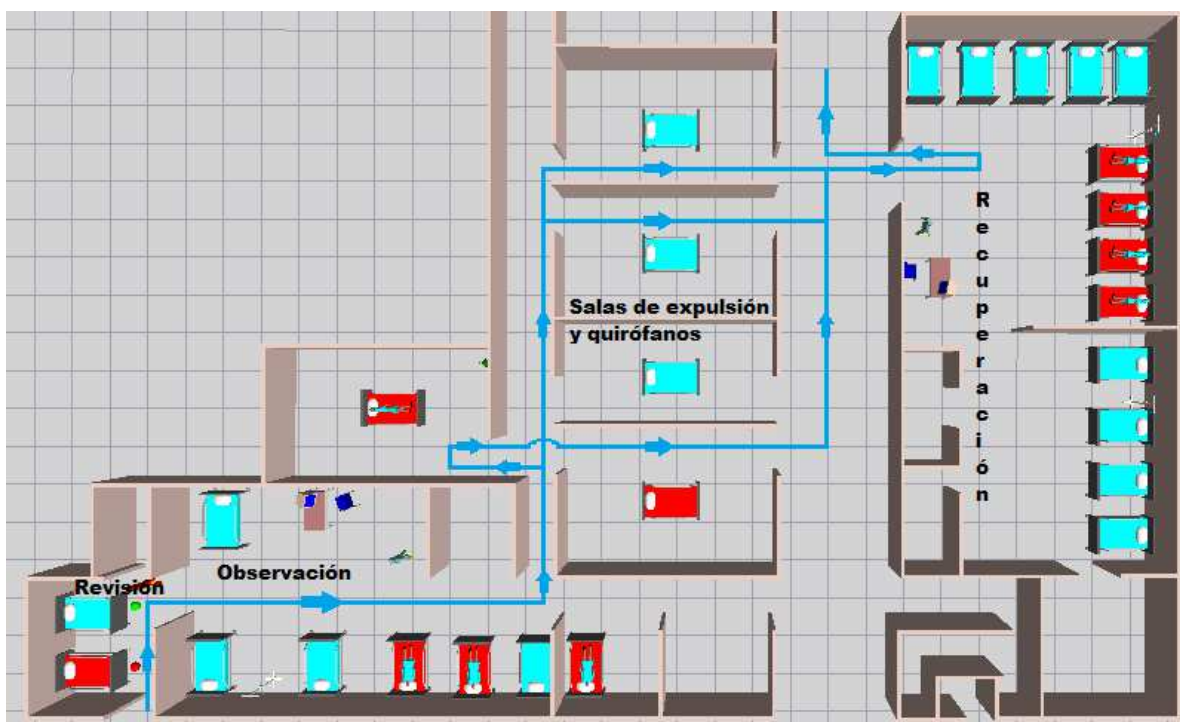


Figura 5.14 Ruta de los pacientes entre el área de revisión y recuperación.

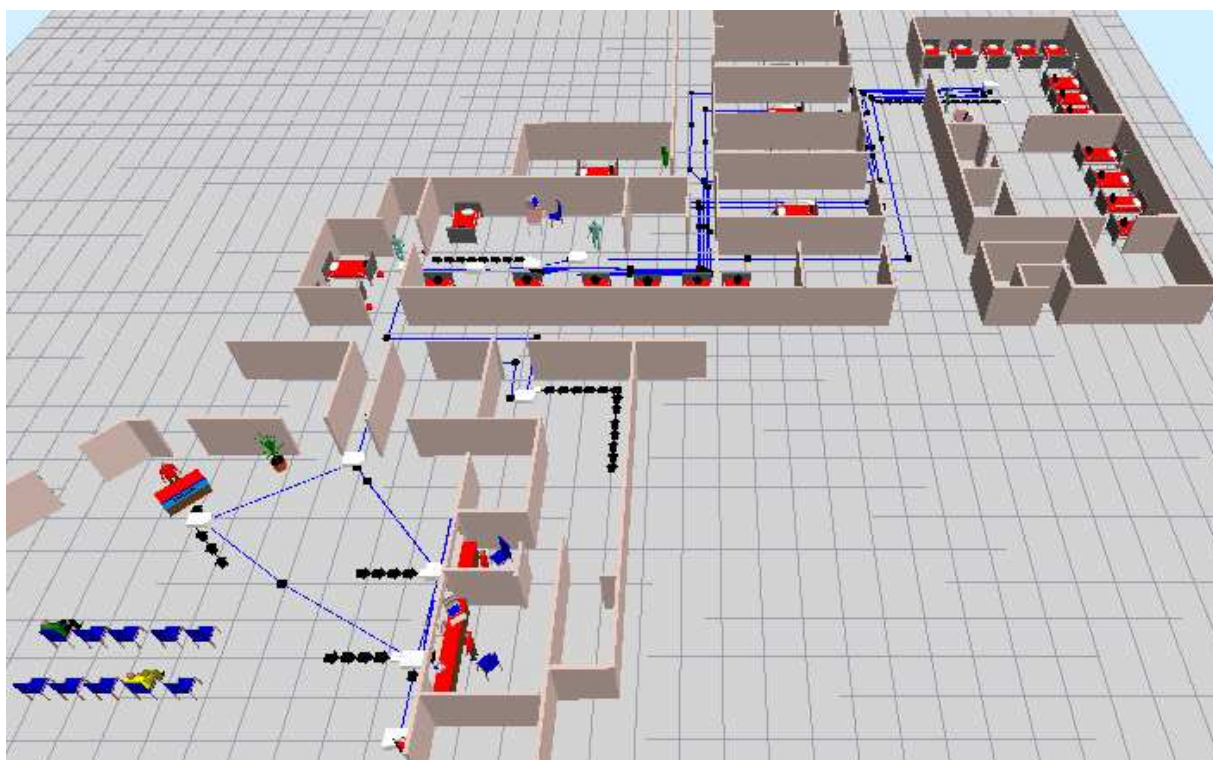


Figura 5.15 Vista panorámica del área de emergencias de obstetricia/ginecología del caso de estudio.

c) Especificar parámetros de las réplicas

Antes de correr la simulación se deben de especificar los siguientes parámetros:

- **Duración de la réplica.** El sistema bajo estudio es de estado estable por lo que se utilizó una réplica larga con una duración de 932 días el cual representa 30 meses de 31 días ($30 \times 31 = 930$) y 2 días para el tiempo de estabilización del modelo (warm-up). Los 31 días se refiere a los días del mes en que se obtuvieron las muestras
- **Número de réplicas.** Se estableció como permitido un porcentaje de error (% Ep) menor al 10%. Inicialmente se corrieron 10 réplicas. Para determinar si son suficientes réplicas se obtuvo el porcentaje de error (% E) para un métrico representativo el cual fue el tiempo de estancia total para pacientes a los cuales se les realiza un procedimiento. Los resultados se presentan a continuación:

Observaciones de las 10 réplicas:

14.0276	13.8106	13.9456	13.8832	13.8642
13.8971	13.934	13.9328	13.7899	14.0074

$$\bar{x} = 13.91 \text{ hrs}$$

$$S = .08 \text{ hrs}$$

$$n = 10$$

$$\alpha = 5\%$$

$$t_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}} = t_{9, .975} = 2.2622$$

Utilizamos la siguiente ecuación para calcular el error (E) y obtenemos el resultado:

$$E = t_{n-1, 1-\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n_i}} \quad \text{Ec. 5.6}$$

$$E = 2.2622 \frac{.08}{\sqrt{10}} = .057 \text{ hrs}$$

Utilizamos la siguiente ecuación para calcular el porcentaje de error (% E):

$$\% E = \frac{E}{\bar{X}} * 100 \quad \text{Ec. 5.7}$$

$$\% E = \frac{.057}{13.91} * 100 = 0.41\%$$

Debido a que el porcentaje de error es menor al 10% permitido, determinamos que 10 réplicas son suficientes.

- **Tiempo de estabilización del modelo (warm-up).** A diferencia de un sistema de simulación terminal como el de una tienda que abre a las 9:00 a.m. sin clientes y cierra a las 8:00 p.m. nuevamente sin clientes, el sistema de emergencias de un hospital es de estado estacionario donde todo el día hay pacientes dispersos en el sistema. Debido a lo anterior se requiere especificar un tiempo de estabilización del modelo. El tiempo de estabilización del modelo es el punto donde la gráfica de un parámetro característico se mantiene con una variación similar a la real. Para este caso de estudio el parámetro característico seleccionado (o variable de interés) fue el número de pacientes en el sistema y se hicieron 10 corridas de 360 horas cada una. Este periodo fue suficiente para mostrar el punto donde el parámetro seleccionado se estabilizó, no obstante para

determinarlo se probaron diferentes periodos de tiempo empezando por un periodo muy largo de un año hasta reducirlo a un periodo que mostrará con claridad el punto donde el parámetro característico se estabilizara. La gráfica obtenida por la herramienta analizador de salidas (“Output Analyzer”) de Arena se muestra en la figura 5.16 donde se aprecia que el sistema se estabiliza a las 40 horas, con la finalidad de redondear el valor en días, el tiempo de estabilización se estableció en dos días o 48 horas. Otros parámetros que pudieran representar la estabilidad del sistema fueron de igual forma analizados como es el caso del número de salas utilizadas, número de pacientes en el área de observación y de recuperación, pero su gráfica se estabilizaba en 24 horas, debido a que el valor es menor se optó solo por presentar la gráfica del número de pacientes total en el sistema.

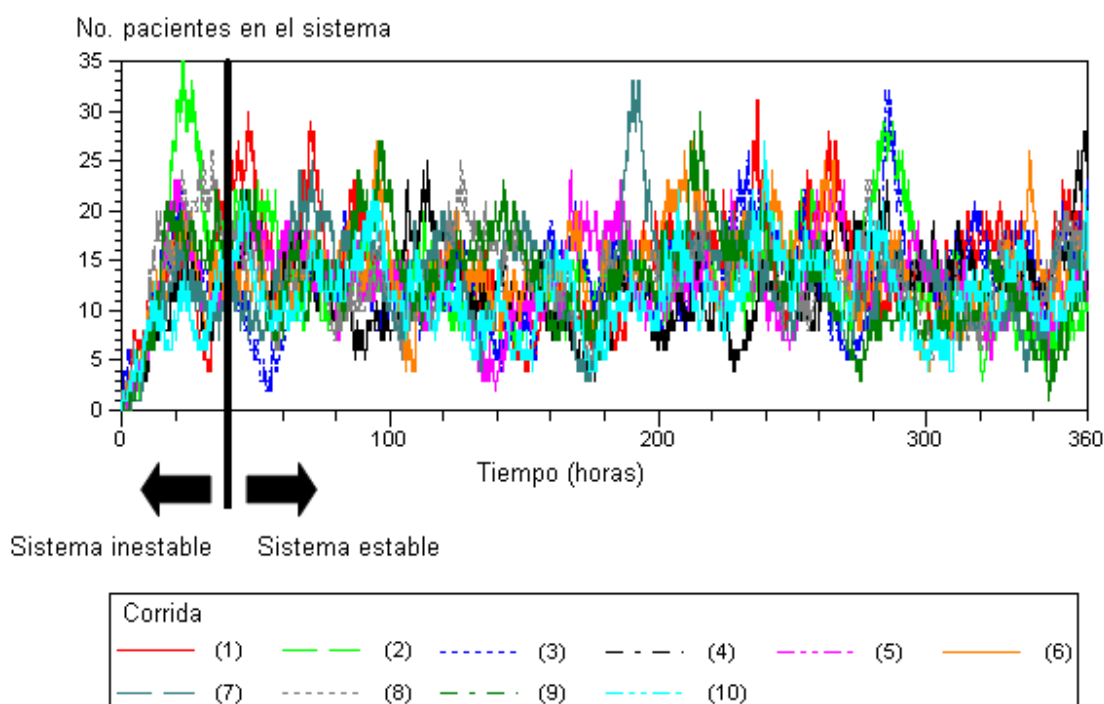


Figura 5.16 Gráfica de Welch sobre el número de pacientes en el sistema.

Paso 8.6 Verificación (CE)

La verificación consistió en revisar que el modelo se comportara como el programador espera [167]. Esta tarea se llevó a cabo a la par de la programación. Las técnicas de verificación utilizadas fueron:

- a) **Reuniones con responsables del proceso.** Las reuniones se llevaron a cabo para presentar la forma en que el programador visualizaba las operaciones del área con la finalidad de que coincidiera con la perspectiva de los responsables de las áreas.
- b) **Animación.** La animación fue una herramienta de verificación tanto para el programador como los responsables del proceso al permitir visualizar que las operaciones funcionaran como se esperaba.
- c) **Herramienta controlador de corrida (“Run controller”) de arena.** Se utilizó el controlador de corrida en diferentes partes del proceso de programación para conocer la secuencia de las operaciones en el lenguaje fuente. De esta manera se realizaron varias correcciones debidas a malinterpretaciones sobre el funcionamiento de módulos de arena.
- d) **Reportes de simulación.** Los reportes de simulación se consultaron constantemente y se comparaban con los datos muestreados de manera que fueran valores razonables. Arena ofrece un reporte completo de las salidas del sistema como tiempos totales de entidades, tiempos individuales de procesos, tiempos acumulados, proporciones, filas, recursos, entre otros.

Paso 8.7 Validación (CE)

La validación se refiere a asegurarse que el modelo se comporte como el sistema real [167]. Para la validación se utilizó la técnica del porcentaje de diferencia descrita en el capítulo 4 donde se describe el paso 8.7 sobre la validación. En la tabla 5.10 se presentan los métricos seleccionados y los resultados de validación. La media real de los dos primeros métricos fue obtenida de registros del mes estudiado y el tercero tanto de registros como por muestreo. Estos métricos se seleccionaron porque representan el comportamiento del sistema, siendo estos las llegadas, el tiempo de estancia promedio de los pacientes y la estación con el mayor

tiempo de espera. El porcentaje de error permitido (% Ep) establecido para este estudio fue del 10%. Puede observarse que en todos los casos el porcentaje de diferencia es menor al 10% por lo que podemos decir que el modelo es válido.

Tabla 5.10 Resultados de validación utilizando la técnica porcentaje de error del modelo.

Métrico	Media del modelo ($\bar{X}_S$)	Media Real ($\bar{X}_R$)	% de Diferencia
Promedio de pacientes que llegan en un mes	1815	1860	2.37%
Tiempo de estancia promedio de los pacientes que se internan (Horas)	13.9077	13.0910	6.24%
Tiempo de espera para ser revisada y tomar cama en observación (Horas)	0.65071	0.67866	4.12%

Paso 8.8 Análisis y experimentación (CE)

Primeramente se realizó un análisis de tiempos de espera de los pacientes en las filas con el modelo de simulación. Este análisis consiste en identificar las filas con mayor tiempo de espera de los pacientes. La figura 5.17 presenta la gráfica de Pareto para el tiempo de espera promedio. Esta gráfica muestra que el 74.7% del tiempo de espera de los pacientes se debe a tomar cama en observación. En segundo lugar se observa tomar lugar en revisión. Esta conclusión coincide con el análisis inicial. Cabe hacer mención que en el análisis inicial el tiempo de espera por cama en observación se incluye en el tiempo de espera para ser revisada. En conjunto estos dos tiempos representan el 90.3% de espera de los pacientes en el sistema. Estos dos tiempos de espera además de ser los más altos también son unos de los más críticos porque se refieren a los tiempos de espera de los pacientes para ingresar al área de observación y ser atendidas respectivamente. Con la finalidad de tener una idea de las situaciones extremas que se pueden presentar en el sistema la figura 5.18 muestra el tiempo máximo de espera de 1056 horas para tomar una cama en observación y la figura 5.19 muestra el número máximo de personas esperando el cual puede ser hasta 14 para tomar lugar en revisión. La tabla 5.11 presenta el resumen de los datos de esperas.

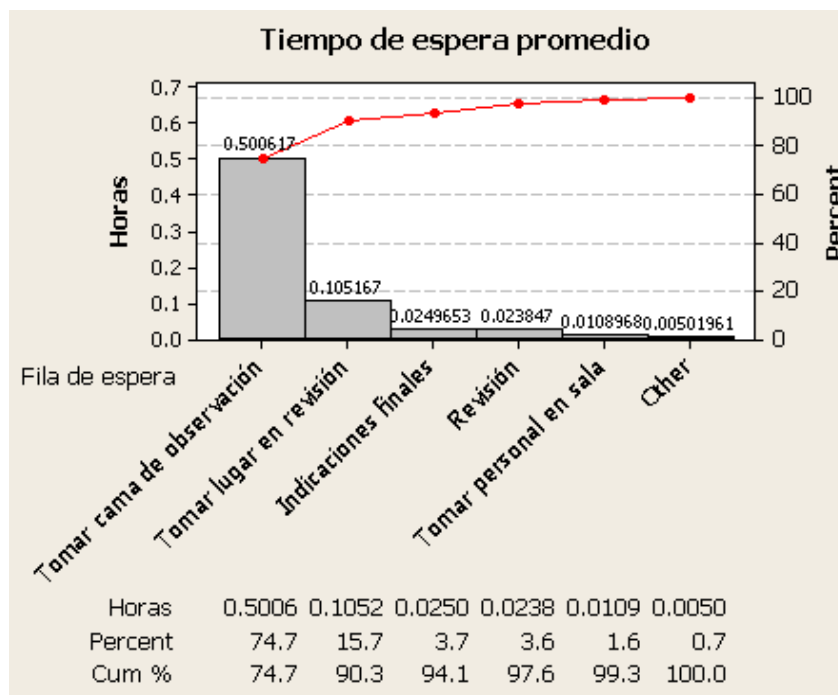


Figura 5.17 Gráfica de Pareto de filas de espera.

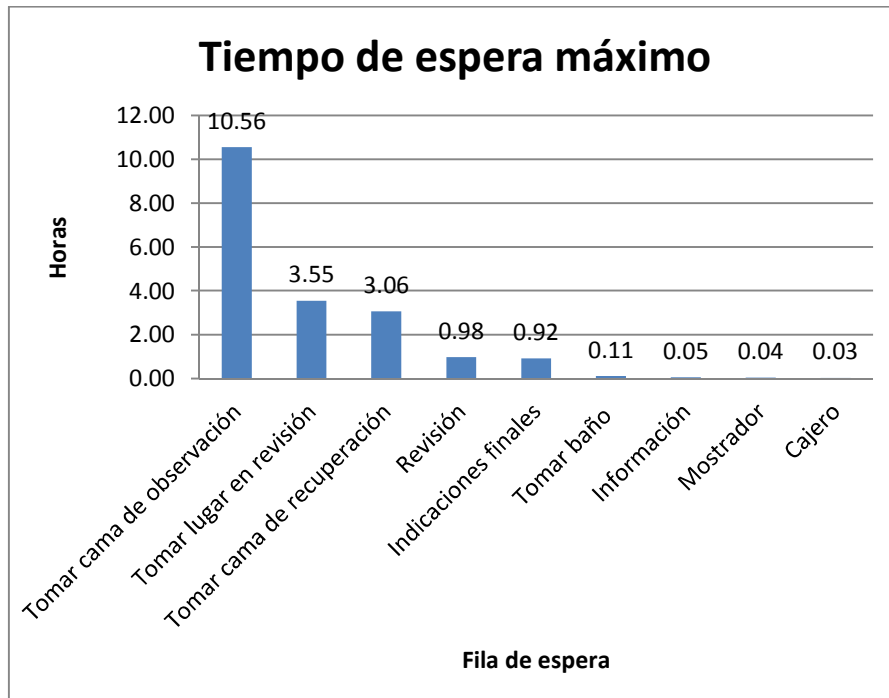


Figura 5.18 Gráfica de barras para el tiempo de espera máximo.



Figura 5.19 Gráfica de barras para el número máximo de personas esperando.

Tabla 5.11 Resumen de datos de espera.

Filas de espera	Tiempo de espera (horas)			Número de personas esperando		
	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo
Tomar cama de observación	0.50062	0	10.5632	0.43758	0	12
Tomar lugar en revisión	0.10517	0	3.5522	0.20437	0	14
Indicaciones finales	0.02497	0	0.9232	0.02670	0	2
Revisión	0.02385	0	0.9759	0.04634	0	2
Tomar personal en sala	0.01090	-	-	0.01090	-	-
Tomar cama de recuperación	0.00206	0	3.0601	0.00180	0	6
Tomar sala	0.00161	-	-	0.00161	-	-
Información	0.00052	0	0.0545	0.00126	0	3
Mostrador	0.00046	0	0.0403	0.00040	0	2
Tomar baño	0.00030	0	0.1093	0.00059	0	1
Cajero	0.00007	0	0.0260	0.00001	0	1
SUMA	0.67066					

En la tabla 5.11 se observa que “tomar cama en observación” es el mayor tiempo de espera. Actualmente se tienen 7 camas en el área de observación pero en base a los tiempos de espera altos, estas no son suficientes con la demanda actual de los pacientes y los tiempos de estancias en observación.

La experimentación consistió en utilizar escenarios modificando el número de camas adicionales de 1 a 6, es decir de 8 a 13 camas totales en el área de observación. Para llevar a cabo el análisis de los escenarios se utilizó la herramienta “Analizador de procesos” (“Process Analyzer”) de Arena. Esta herramienta permite que el analista pruebe diferentes escenarios fácilmente al modificar los valores de una o varias variables de entrada en una interface, la aplicación automáticamente modifica temporalmente los valores de las variables en el modelo, lo ejecuta y presenta los resultados de las variables de salida que se hayan seleccionado previamente en la misma vista de interface. De esta manera se pudo comparar fácilmente las diferentes variables de salida al modificar las variables de entrada. La figura 5.20 muestra la vista del “Analizador de procesos”.

Se definieron siete escenarios y cada escenario se corrió por 10 réplicas de 932 días cada una. Los 932 días se refiere a 30 meses de 31 días más dos días de estabilización. La variable de control de los siete escenarios es el número de camas en observación. Las variables de respuesta fueron 1) tiempo promedio para tomar cama en revisión, 2) tiempo promedio para tomar lugar en revisión, 3) porcentaje de utilización del recurso de camas de observación y 4) tiempo promedio de espera total.

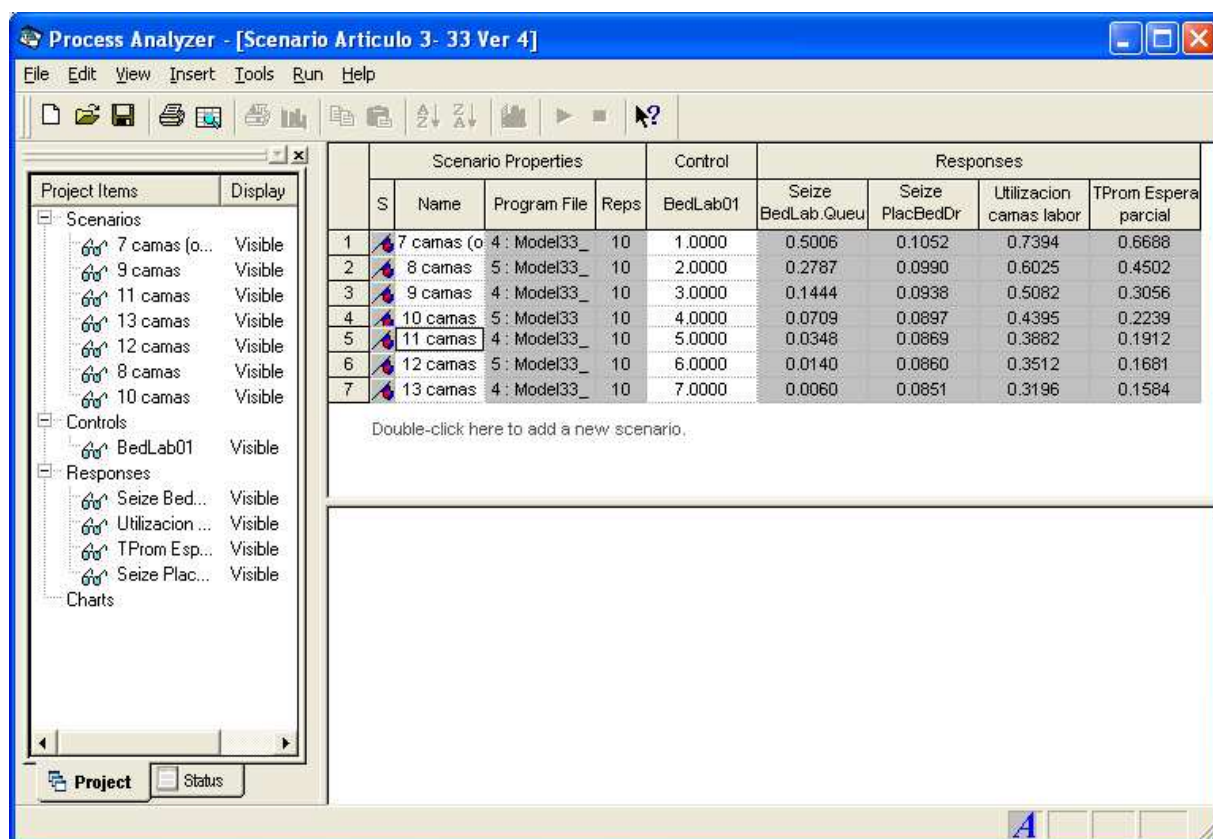


Figura 5.20 Ventana del “Analizador de procesos”.

Los resultados de la evaluación de los 7 escenarios se presentan en la tabla 5.12. En ésta podemos observar el gran impacto que tiene el incremento del número de camas en observación sobre el tiempo de espera promedio para tomar cama en observación. De igual manera se presenta una reducción de tiempos para tomar lugar en revisión. La reducción de estos tiempos se ve reflejada de manera significativa en el tiempo de espera total. La gráfica de la figura 5.21 permite visualizar con mayor claridad el impacto del incremento de camas en observación sobre el tiempo de espera total. Vemos que a medida que se incrementa el número de camas el impacto en el tiempo de espera se reduce. Visto de otra manera la tabla 5.13 presenta numéricamente el porcentaje de reducción individual y acumulado del tiempo de espera. Se observa que a partir de 11 camas el porcentaje de reducción del tiempo de espera total es muy pequeño (igual o menor al 5%) en comparación con los incrementos previos mayores al 10%.

Tabla 5.12 Resultados de la evaluación de escenarios. Unidades de tiempo en horas.

Escenario	Variable de control	Variables de respuesta			
	Número de camas en observación	Tiempo promedio para tomar cama en observación	Tiempo promedio para tomar lugar en revisión	% de utilización de camas de observación	Tiempo promedio de espera total
1 (actual)	7	0.5006	0.1052	73.94%	0.6688
2	8	0.5060	0.1056	74.13%	0.6888
3	9	0.1444	0.0938	50.82%	0.3056
4	10	0.0709	0.0897	43.95%	0.2239
5	11	0.0348	0.0869	38.82%	0.1912
6	12	0.0140	0.0860	35.12%	0.1681
7	13	0.0060	0.0851	31.96%	0.1584

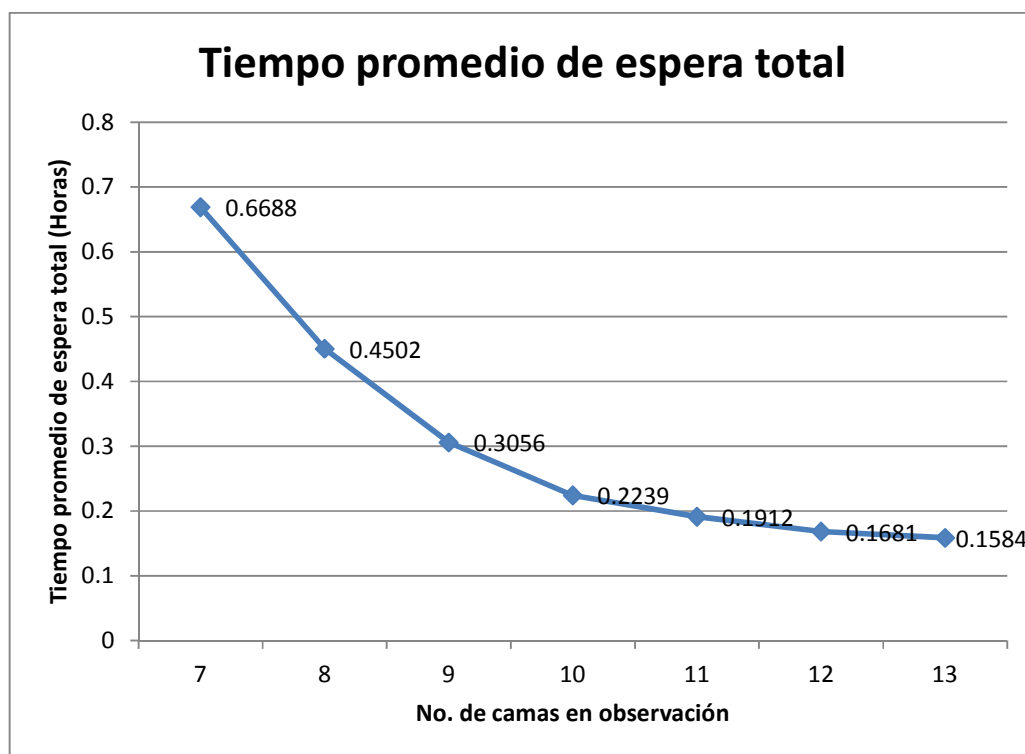


Figura 5.21 Impacto del incremento de camas en observación sobre el tiempo de espera total.

Tabla 5.13 Porcentaje de reducción del tiempo de espera promedio incremental y acumulado.

Escenarios	Número de camas en observación	Porcentaje de reducción del tiempo de espera promedio total incremental	Porcentaje de reducción del tiempo de espera promedio total acumulado
1 (original)	7	0%	0%
2	8	33%	33%
3	9	22%	54%
4	10	12%	67%
5	11	5%	71%
6	12	3%	75%
7	13	1%	76%

En este punto podríamos recomendar un número determinado de camas basándonos en nuestra percepción sobre el impacto en la reducción pero este enfoque sería muy subjetivo por lo que nos auxiliamos de las técnicas de diseño de experimentos para determinar diferencias estadísticas significativas sobre el número de camas. A continuación se desglosa el diseño de experimentos utilizado.

Aplicación de diseño de experimentos

A continuación se presenta la utilización de diseño de experimentos, en este caso para recomendar el número de camas del área de observación la cual en base a los análisis anteriores es la más crítica. El análisis consiste en utilizar un ANOVA simple donde el factor de estudio es el número de camas con 8 tratamientos (niveles), posteriormente se utiliza un gráfico de medias para determinar las diferencias estadísticas entre los tratamientos. La idea es que no tiene razón de ser incrementar más las camas cuando la diferencia no es significativa. A continuación se describe el desarrollo del experimento.

a) Plantear el problema y definir el objetivo del experimento

Problema: Tiempos de espera excesivo para tomar cama en observación.

Objetivo del experimento: Determinar el número de camas en el área de observación de tal forma que reduzca de manera significativa el tiempo promedio de espera total.

b) Determinar los factores de estudio, los niveles de cada factor y la variable(s) de respuesta

Factores de estudio: número de camas del área de observación.

Niveles: 8 niveles, el cual equivale a probar con 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14 camas. Cabe hacer notar que se decidió agregar un escenario más para ampliar la visión del incremento del número de camas.

Variable de respuesta: tiempo promedio de espera total.

c) Definir método de medición de la variable de respuesta. Los valores para la variable de respuesta se obtuvieron del modelo de simulación al modificar el número de camas en cada escenario.

d) Elegir el tipo de diseño a utilizar. Como solo es un factor de estudio se ocupó utilizar un ANOVA simple con 5 réplicas. El modelo estadístico para un ANOVA simple es [172]:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad \text{Con } i=1,2,\dots,k; \quad j=1,2,\dots,n$$

Donde:

Y_{ij} es la variable respuesta

τ_i es el efecto del tratamiento en su nivel i

ε_{ij} es el error aleatorio

n es el número de repeticiones en cada tratamiento

Las ecuaciones utilizadas para realizar el ANOVA simple se presentan en la tabla 5.14.

Tabla 5.14 Ecuaciones para el ANOVA simple.

FV	SC	GL	CM	F_0	F crítica
Tratamientos	$\sum_{i=1}^k \frac{Y_{i.}^2}{n} - \frac{Y_{..}^2}{N}$	k-1	$\frac{SC_{trat}}{GL_{trat}}$	$\frac{CM_{trat}}{CM_E}$	$F_{\alpha, GL_{trat}, GL_E}$
Error	$SC_T - SC_{trat}$	N-k	$\frac{SC_E}{GL_E}$		
Total	$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$	N-1			

Donde:

n: número de observaciones por tratamiento

k: número de tratamientos

N: total de observaciones

$Y_{i.}$: sumatoria de tratamiento i

$Y_{..}$: sumatoria total de valores observados

FV: fuente de variación

SC: sumatoria de cuadrados

GL: grados de libertad

CM: cuadrado medio

- e) Obtener los resultados de la variable de respuesta (observaciones) a través del modelo de simulación.** Se modificó el modelo de simulación para obtener resultados para cada tratamiento que representa el número de camas en observación. Los valores de respuesta del tiempo promedio de espera total son presentados en la tabla 5.15.

Tabla 5.15 Matriz de valores de respuesta para cada tratamiento. Unidades de tiempo en minutos.

# Camas	Observaciones					Promedio
	1	2	3	4	5	
Actual ⇒7	38.06	40.92	41.32	42.33	39.32	40.39
8	26.95	23.45	22.51	26.20	26.03	25.03
9	14.53	15.67	19.31	16.29	17.24	16.61
10	11.87	11.74	13.63	11.78	11.16	12.04
11	9.46	10.96	10.40	10.19	9.65	10.13
12	8.43	8.42	8.44	8.45	8.56	8.46
13	7.88	8.18	7.93	8.50	7.87	8.07
14	7.96	8.51	7.95	8.26	7.37	8.01

- f) Plantear las hipótesis a probar.** Dada que la hipótesis nula (H_0) establece que la media de los tiempos de espera total para todos los tratamientos es la misma, mientras que la alternativa (H_a) establece que al menos uno de ellos es diferente, el planteamiento de hipótesis quedaría de la siguiente manera:

$$H_0: \mu_7 = \mu_8 = \mu_9 = \mu_{10} = \mu_{11} = \mu_{12} = \mu_{13} = \mu_{14}$$

$$H_a: \mu_i \neq \mu_j \text{ para algún } i \neq j$$

g) Realizar el ANOVA y obtener conclusiones. Se utilizó el software para análisis estadístico Minitab versión 15 para obtener el ANOVA resultante con un valor $\alpha = 5\%$. La siguiente tabla muestra los resultados.

Tabla 5.16 Resultados del ANOVA

FV	GL	SC	CM	Fo	F crítica	Valor-p
No. Camas	7	4551.85	650.26	458.82	≈ 2.33	0.000
Error	32	45.35	1.42			
Total	39	4597.20				

$$R^2 = 99.01\%, R^2_{aj} = 98.8\%$$

Cabe hacer notar que el coeficiente R^2 es de 99.01%, esto quiere decir que el 99.01% de la variabilidad presente de los datos es debida al factor de estudio sobre el número de camas. Este valor es bastante alto y por lo tanto favorable para el caso de estudio. El .99% de la variación se debe a otros factores no incluidos en el estudio como podría ser el número de personal o equipo especializado.

De manera gráfica los resultados del ANOVA se presentan con una distribución F como se presenta en la siguiente figura. El valor-p es el área a la derecha de F_o (el estadístico de prueba), el cual para este caso tiene el valor de 0.000.

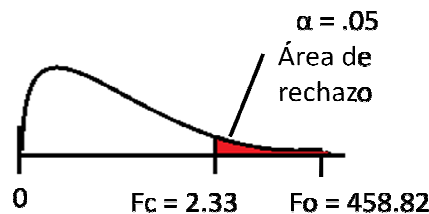


Figura 5.22 Distribución de probabilidad F.

Como se observa en la figura 5.22 F_o es mayor que F_c , es decir el estadístico de prueba F_o cae en el área de rechazo por lo que la hipótesis nula de que las medias son iguales se rechaza y decimos que al menos uno de los tratamientos es diferente.

h) Si hay un efecto de los factores en la respuesta, determinar si la diferencia entre escenarios es significativa

Se utilizó el gráfico de medias para determinar la diferencia estadística entre tratamientos. El gráfico de medias se formó con la media para cada tratamiento $\pm S$ (desviación estándar agrupada). El cálculo para obtener la S es el siguiente [172]:

$$S = \sqrt{CM_E} \quad \text{Ec. 5.8}$$

Sustituyendo:

$$S = \sqrt{1.42} = 1.19$$

La siguiente figura muestra el gráfico de medias para el número de camas en observación. Los tratamientos que se empalman estadísticamente son iguales.

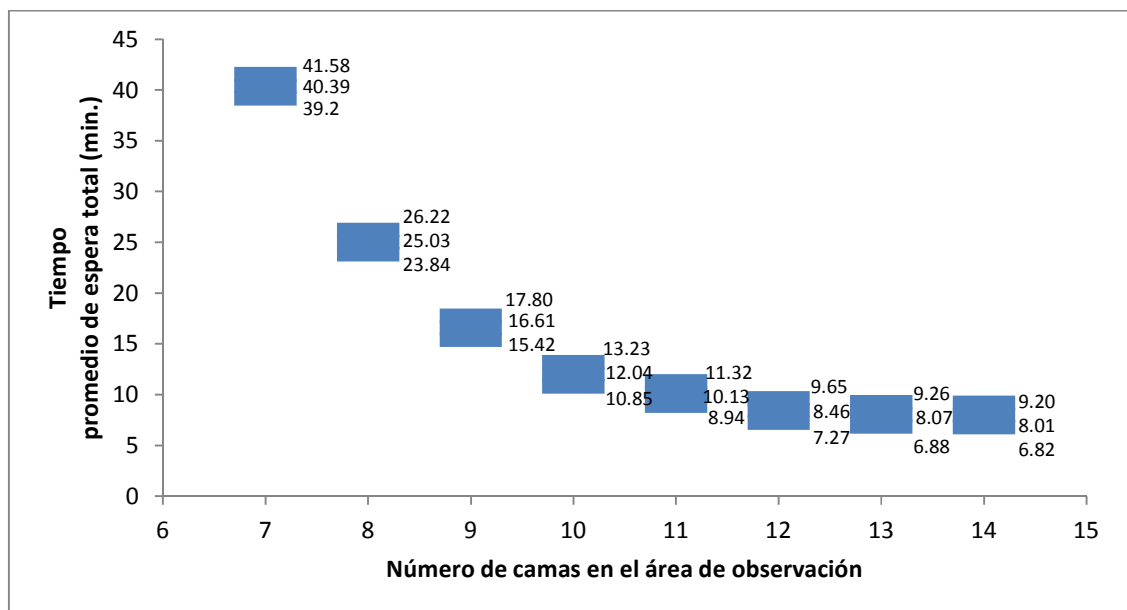


Figura 5.23 Gráfico de medias del número de camas en el área de observación.

- i) Recomendar un escenario.** Es importante identificar las mejores alternativas que se le recomendarán al tomador de decisiones para esto se debe de decidir entre el número de camas. Con base al gráfico de medias se observa que para 11,12, 13 y 14 camas los tiempos de espera son estadísticamente iguales, es decir el incrementar a más de 11 camas

no resulta en una mejora significativa sobre el tiempo de espera total para los pacientes que son admitidos por lo que se recomienda utilizar 11 camas, es decir incorporar 4 camas más al área de observación.

Con la recomendación del número de camas en el área de observación terminamos el paso 8 de aplicar SED y DDE del esquema propuesto. La ventaja de utilizar SED fue la de poder probar varios escenarios y observar el impacto en las variables de respuesta de interés, no obstante requerimos la herramienta de DDE para apoyarnos en la toma de la decisión. Como desventaja en el análisis no se consideró el factor de costos por las limitaciones de acceso a la información pero se recomienda que se considere en otros estudios que se emprendan.

Paso 9. Aplicar otras técnicas avanzadas, principalmente matemáticas (CE)

En base al modelo propuesto podemos optar por utilizar SED con DDE o aplicar técnicas matemáticas e incluso combinar el uso de SED con técnicas matemáticas como lo ha hecho Cochran al utilizar SED y teoría de colas para balancear el número de camas en un hospital [96]. No obstante que para el caso de estudio no era necesario utilizar técnicas matemáticas se presenta como ejemplo la aplicación de teoría de colas para el problema de balanceo de camas entre estaciones.

- a) Descripción general del sistema.** La descripción del sistema es la misma que se encuentra en el paso 1 de este capítulo.
- b) Descripción del sistema desde la perspectiva de la teoría de colas.** Desde la perspectiva de la teoría de colas, el sistema se describe de la siguiente manera:
 - o Estaciones.** El sistema cuenta con 4 estaciones, las cuales son los puntos de servicio. En este caso de estudio las estaciones serían las áreas o salas de atención por las que pasa la paciente, estas son: área de revisión, observación, procedimiento y recuperación.
 - o Número de servidores (S_i).** En el caso de estudio el servidor es una cama. El número de servidores simultáneos para cada una de las estaciones se presenta en la tabla 5.17 y figura 5.24. En la figura 5.24 los servidores se representan con círculos

negros. La letra S representa el número de servidores y el subíndice el número de la estación.

- o **Razón de arribos (λ_i).** En la figura 5.24 se puede observar una razón de arribos, número promedio de pacientes que arriban por hora, el cual es de 2.13 pac/hr para la estación de revisión. Al salir de la estación de revisión, el 45% de los pacientes continuará a la siguiente estación mientras que el restante se irá a su casa. Debido a lo anterior la razón de arribos para la estación de observación fue de 0.96 pac/hr (2.13×0.45). Este valor también se utilizó como aproximación en las dos últimas estaciones porque no se tuvo acceso al registro de la hora de ingreso de los pacientes a las estaciones de procedimientos y recuperación para calcular el dato preciso.
- o **Razón de servicio (μ_i).** Los datos de razón de servicio, el cual es el número promedio de pacientes atendidos en una hora por un servidor, se presentan en la tabla 5.17 y figura 5.24.
- o **Razón de servicio total (RST_i).** Los datos de razón de servicio total, el cual es el número promedio de pacientes atendidos en una hora (pac/hr) con el total de servidores de la estación, se calcularon utilizando la siguiente ecuación [125] y se presentan en la tabla 5.17 y figura 5.24.

$$RST_i = S_i \mu_i \quad \text{Ec. 5.9}$$

Se utilizaron los mismos datos que fueron colectados para la simulación los cuales se muestra en la tabla 5.17. El sistema se puede visualizar gráficamente en el diagrama de colas presentado en la figura 5.24.

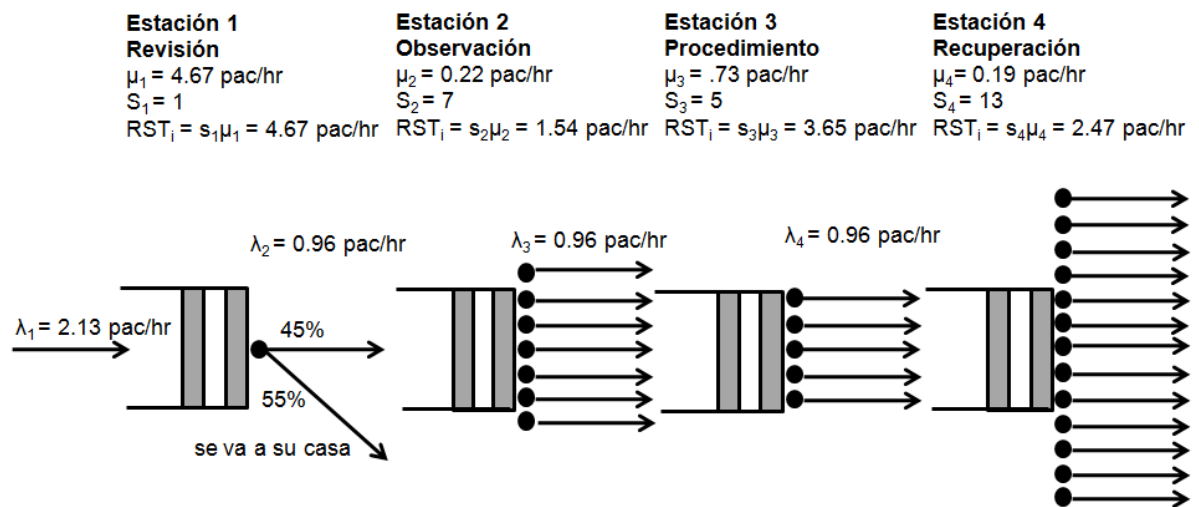


Figura 5.24 Diagrama de colas del sistema bajo estudio.

Tabla 5.17 Datos colectados.

Estación	S: Número de servidores	λ_i : Razón de arribos (pac/hr)	μ_i : Razón de servicio (pac/hr)	RST_i : Razón de servicio total (pac/hr)
1. Revisión	1	2.13	4.67	4.67
2. Observación	7	0.96	0.22	1.54
3. Procedimiento	5	0.96	0.73	3.65
4. Recuperación	13	0.96	0.19	2.47

- c) **Análisis del sistema desde la perspectiva de la teoría de colas.** La problemática del sistema bajo estudio puede ser visualizada claramente a través de la gráfica “Razón de arribos vs razón de servicio total” presentada en la figura 5.25. Esta gráfica permite identificar los cuellos de botella los cuales son los puntos donde la razón de arribos se aproxima al valor de la razón de servicio total. En este caso se observa que la estación 2 (área de observación) es el cuello de botella.

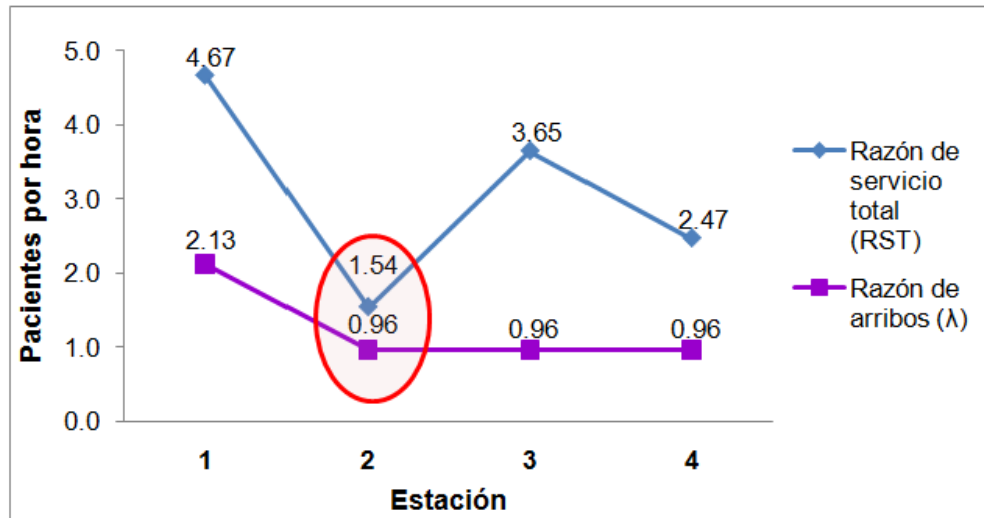


Figura 5.25 Gráfica de razón de arribos vs razón de servicio total.

De igual manera otro indicador de análisis es el factor de utilización (ρ) calculado por la siguiente ecuación [125].

$$\rho_i = \frac{\lambda_i}{S_i \mu_i} \quad \text{Ec. 5.10}$$

Este indicador compara la razón de servicio total con respecto a la razón de arribos. Cuando el valor se acerca a 1, se tiene una alta utilización del servicio generando largos tiempos de espera. En la figura 5.26 puede observarse que la estación dos (área de observación) tiene la utilización más alta. Tomando como referencia la ecuación 5.10, si incrementamos el número de servidores (S), se reduce el valor de la utilización (ρ), logrando de esta manera un mejor balance con las demás estaciones.

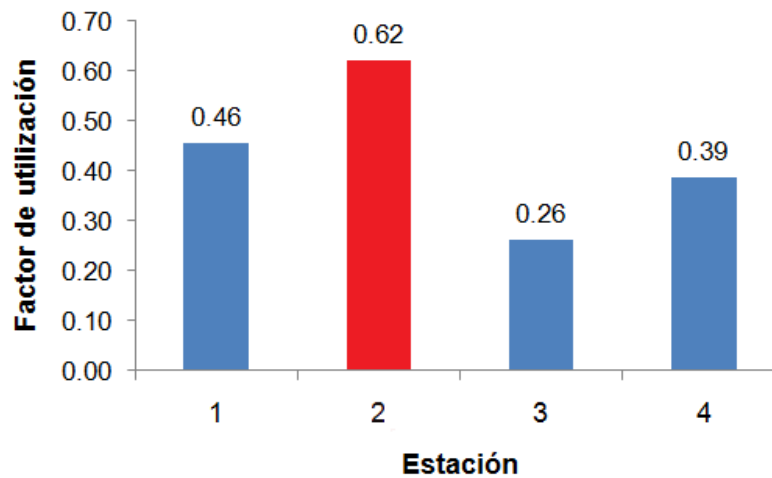


Figura 5.26 Factor de utilización.

d) Selección del modelo de colas. En base a la descripción del sistema se seleccionó el modelo de colas estándar M/M/s por su simplicidad de uso. La primer M de este modelo indica que el tiempo entre llegadas sigue una distribución exponencial con media $1/\lambda$, donde λ es la razón de llegadas. La segunda M indica que el tiempo de servicio sigue una distribución exponencial con media $1/\mu$, donde μ es la razón de servicio. La S se refiere al número de servidores paralelos que atienden simultáneamente en una estación. Para el caso de la estación de revisión se utilizó el modelo M/M/1 porque solo se tiene una cama. Para la utilización de estos modelos de colas en el estudio se consideraron las siguientes suposiciones:

- i. La demanda es estacionaria, es decir el número de llegadas por hora no cambia con respecto al tiempo. En realidad en el sistema actual la demanda no es estacionaria porque dependiendo de la hora cambia la razón de llegadas. Por ejemplo: de 8:00 a 10:00 a.m. se tiene mayor afluencia de pacientes que de 2:00 a 4:00 a.m.
- ii. Los tiempos de servicio siguen una distribución exponencial.
- iii. No hay límite en el número de personas esperando entre las estaciones. De esta manera cada estación puede ser analizada separadamente como un modelo de colas de una sola fase (no seriado) [125].
- iv. Para cualquier procedimiento se puede utilizar ya sea un quirófano o una sala de expulsión. En la realidad cuando es un procedimiento quirúrgico se requiere un

quirófano. Se podría dividir esta estación en dos para tener una representación más exacta pero no se tuvo acceso a información detallada sobre la toma de decisiones de esta área por lo que se consideró de manera generalizada como una sola estación.

- e) **Aplicación del modelo de colas.** Las ecuaciones de las medidas de efectividad para los modelos M/M/1 y M/M/s se presentan en la tabla 5.18. Estas medidas de efectividad son comúnmente utilizadas en los problemas de colas [125].

La aplicación consistió en la utilización de las ecuaciones de las medidas de efectividad en hojas de cálculo en Excel y analizar los resultados.

- f) **Obtención de resultados de la utilización del modelo de colas y discusión.** Se determinaron las primeras cuatro medidas de efectividad presentadas con el número de camas actuales. En la tabla 5.19 se muestran los resultados.

Para el caso de estudio el enfoque fue en la medida de desempeño W_q : tiempo de espera promedio en cola. La tabla 5.19 muestra que el W_q es mayor en la estación dos (área de observación) con 0.33 horas. Por ser el área “cuello de botella” se procedió a modificar los valores del número de camas en el área de observación y se calculó el tiempo de espera en cola del área (W_q observación) y la suma de los tiempos de espera en cola de las cuatro estaciones (W_q total). Cabe mencionar que no se hicieron modificaciones a las otras tres estaciones. La tabla 5.20 muestra los resultados.

Tabla 5.18 Ecuaciones de los modelos de colas [125].

Medida de efectividad	M/M/1	M/M/s
Lq: número promedio de personas en cola.	$L_q = \frac{\rho^2}{1 - \rho}$	$L_q = \left[\frac{r^{S+1}/S}{S! (1 - \frac{r}{S})^2} \right] p_0$
L: número promedio de personas en el sistema.	$L = \frac{\rho}{1 - \rho}$	$L = \lambda W$
Wq: tiempo de espera promedio en cola	$W_q = \frac{L}{\mu}$	$W_q = \frac{L_q}{\lambda}$
W: tiempo promedio en el sistema	$W = W_q + \frac{1}{\mu}$	$W = W_q + \frac{1}{\mu}$
p_n: Probabilidad de que en el sistema haya n personas p_0: Probabilidad de que en el sistema haya 0 personas	$p_n = \rho^n (1 - \rho)$	$p_n = \begin{cases} \frac{\lambda^n}{n! \mu^n} p_0, & (1 \leq n < c) \\ \frac{\lambda^n}{S^{n-S} S! \mu^n} p_0, & (n \geq c) \end{cases}$ $p_0 = \left[\sum_{n=0}^{S-1} \frac{r^n}{n!} + \frac{S r^S}{S! (S - r)} \right]^{-1}, \quad \left(\frac{r}{c} = \rho < 1 \right)$
Wq(t): Probabilidad de espera de un tiempo t o menor	$W_q(t) = \begin{cases} 1 - \rho, & (t = 0) \\ 1 - \rho e^{-\mu(1-\rho)t}, & (t > 0) \end{cases}$	$W_q(t) = \begin{cases} 1 - \frac{S(\lambda/\mu)^S}{S! (S - \frac{\lambda}{\mu})} p_0, & (t = 0) \\ \frac{(\lambda/\mu)^S (1 - e^{-(\mu S - \lambda)t})}{(S-1)! (S - \frac{\lambda}{\mu})} p_0 + W_q(0), & (t > 0) \end{cases}$

Donde: $r = \frac{\lambda}{\mu}$, n: número de personas y t: unidad de tiempo.

Tabla 5.19 Resultados de las medidas de efectividad con el número de camas actual.

Parámetro	Unidad	Estación				Total
		1	2	3	4	
S	Camas	1	7	5	13	
Lq	Pacientes	0.36	0.31	0.00	0.00	0.68
Wq	Hora	0.17	0.33	0.00	0.00	0.50
L	Pacientes	0.81	4.66	1.33	5.03	11.83
W	Hora	0.38	4.86	1.38	5.24	11.86

Tabla 5.20 Resultados de tiempos de espera al variar el número de camas en el área de observación.

Parámetro	Unidad	Variación del número de camas en el área de observación						
		7	8	9	10	11	12	13
S	Camas							
Wq (observación)	Horas	0.33	0.11	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00
Wq total	Horas	0.50	0.29	0.21	0.19	0.18	0.18	0.18

Se observa en la tabla 5.20 que el incrementar más de 11 camas no tiene efecto en la reducción del tiempo de espera total (Wq total) por lo que se recomienda aumentar a 11 el número de camas en el área de observación. Con el cambio propuesto, se presenta en la figura 5.27 la gráfica del factor de utilización donde se aprecia una utilización más balanceada.

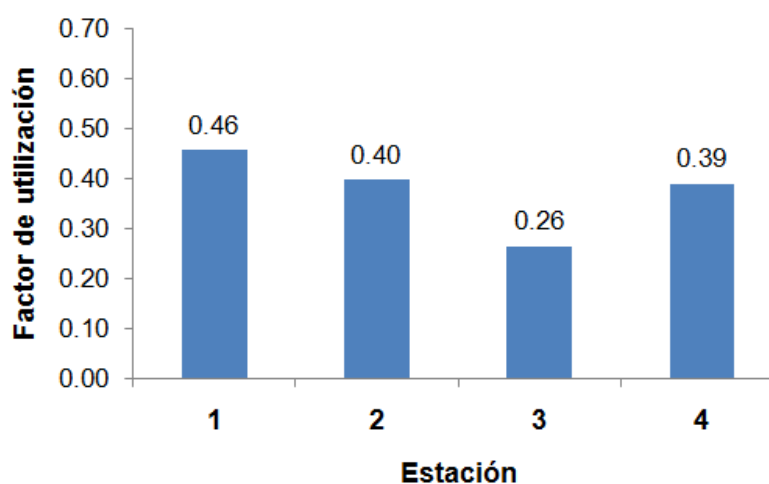


Figura 5.27 Factor de utilización considerando 11 camas en el área de observación (estación 2).

Este resultado coincide con la recomendación de 11 camas al aplicar simulación y diseño de experimentos. No obstante hay diferencias en la medida de efectividad W_q entre ambos estudios siendo el de simulación el más apegado a la realidad. La tabla 5.21 muestra la comparación de los resultados entre ambos métodos donde el porcentaje de error (% Error) se calcula en base a la siguiente ecuación.

$$\% \text{ Error} = \frac{\text{Valor real} - \text{Valor obtenido}}{\text{Valor real}} \times 100 \quad \text{Ec. 5.11}$$

Cabe mencionar que el valor obtenido de la simulación del tiempo de espera total (W_q total) se presenta en la tabla 5.21 con el promedio ($\bar{X}$) de las 10 corridas de simulación (n) +/- el intervalo de confianza (IC) con un $\alpha = 5\%$. La ecuación 5.12 presenta la expresión utilizada para el cálculo del intervalo de confianza donde S es la desviación estándar muestral y t el valor de la tabla t student.

$$IC = t_{n-1, 1-\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}} \quad \text{Ec. 5.12}$$

Tabla 5.21 Diferencias entre la utilización de simulación y modelo de colas.

	Valor real	Utilizando simulación		Utilizando modelo de colas	
		Valor obtenido	% Error	Valor obtenido	% Error
Wq total (Horas)	0.715	0.653 +/- .032	8.7%	0.50	30.1%

Simulación de eventos discretos es una herramienta heurística la cual permite modelar llegadas no estacionarias y detalles del sistema real logrando de esta manera un porcentaje de error bajo (8.7%). Por ejemplo en el modelo de simulación por cada tipo de procedimiento (parto normal, cesárea, salpingoclasias, etc) se especificaron los tiempos en cada estación con distribuciones

de probabilidad específicas, además se incluyó la limpieza de las salas, uso del vestidor y la utilización de recursos de personal como médicos y enfermeras.

Por otro lado los modelos de colas, son herramientas matemáticas y suponen que las llegadas son estacionarias, lo cual suaviza los picos de demanda a lo largo del día, obteniendo de esta manera un tiempo de espera menor ($W_q=0.50$). Además de lo anterior no se detallan características del sistema repercutiendo en una mayor diferencia con el valor real y subsecuentemente en un porcentaje de error mayor. No obstante, la obtención de resultados a través del modelo de colas se hizo en un tiempo menor (1 semana) comparado con las 12 semanas que tomó el análisis de simulación. Esto se debe a que se requieren pocos datos y su aplicación es simple. No obstante, cabe mencionar que el análisis de colas se desarrolló en Excel por lo que podría ser utilizado por la institución para futuros análisis. En base a lo anterior se presenta en la siguiente tabla las ventajas y desventajas de la utilización de la teoría de colas para determinar el número de camas.

Tabla 5.22 Ventajas y desventajas del análisis de colas.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Puede ser utilizado para el balanceo.	No incluye detalles del sistema que la simulación si incluye por lo que limita a analizar el modelo solo en un aspecto (en este caso la utilización de camas).
Datos mínimos.	Considera que la demanda es estacionaria.
Simple, si se utiliza los modelos estándares.	Complicado, si se quiere generar un modelo nuevo.
Corto tiempo para la obtención de resultados análisis.	

Podemos concluir que aunque con teoría de colas obtenemos resultados en menor tiempo que SED, la desventaja es que a diferencia de SED, no permite detallar el análisis a otros aspectos del sistema como lo son: interacción con otros recursos (digamos médicos, enfermeras), tipos de pacientes, tipos de procedimientos y demás información cuya modelación matemática no es

factible o demasiada compleja. Estas desventajas tuvieron un impacto en la diferencia entre el valor real y el valor obtenido del tiempo de espera total (W_q) lo cual limita a analizar otros aspectos del sistema.

Con la comparación anterior se justifica porque SED ocupa un lugar específico en el esquema, esto es debido a que es una herramienta muy acertada para el estudio de sistemas complejos como lo es un hospital. No obstante existen herramientas matemáticas que pueden ser utilizadas por su aplicabilidad o conveniencia por lo que también se considera en el esquema. Puede optarse por utilizar solamente SED o únicamente herramientas matemáticas o utilizarse de manera combinada [96].

Paso 10. Presentación de recomendaciones y aprobación (CE)

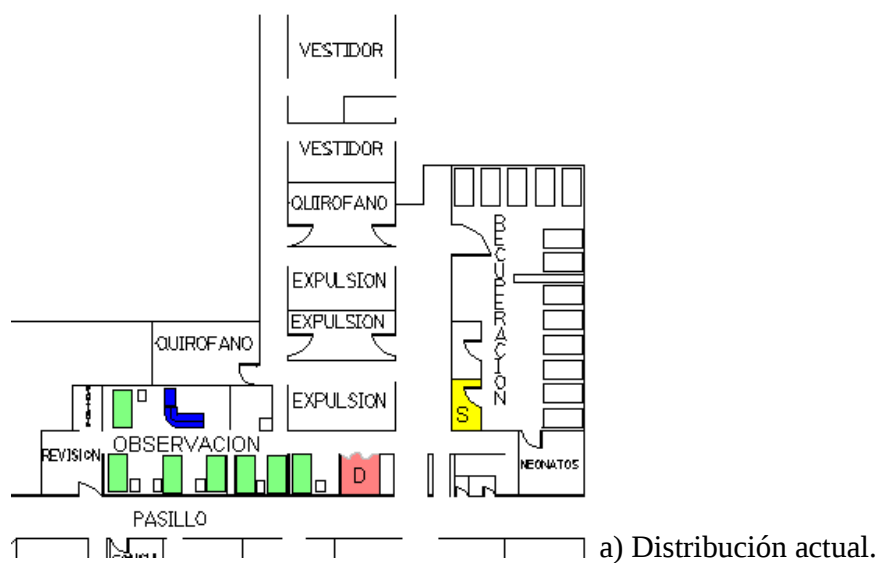
Después de determinar con el estudio de simulación que al incrementar de 7 a 11 camas en el área de observación, el tiempo de espera total se reduce de 40.13 Min. (.6688 Hrs.) a 11.47 Min (.1912 Hrs) equivalente a una reducción en 71% el tiempo de espera total, se procedió a analizar los cambios en la distribución del área de tal forma que se lograrán acomodar las camas adicionales, se consideraran las inquietudes del personal sobre los cambios en la distribución del área y se optimizara el espacio. Se buscó que los cambios propuestos afectarán de manera mínima la distribución actual para que no se tuvieran que invertir grandes cantidades de dinero. La figura 5.28 muestra la distribución actual y propuesta. Los cambios que se proponen hacer en la distribución actual son los siguientes:

- a. Remover los muros de material ligero entre camas del área de observación y colocar cortinas entre las pacientes con la finalidad de liberar espacio
- b. Reducir el tamaño del escritorio del área de observación y girarlo para liberar más espacio.
- c. Mover el séptico, actualmente ubicado en el área de recuperación, al vestidor de pacientes ambulatorios. Esta es una recomendación de un empleado y de esta manera mejorará la higiene del área y podrá liberar espacio para la ubicación del área de descanso de los médicos.

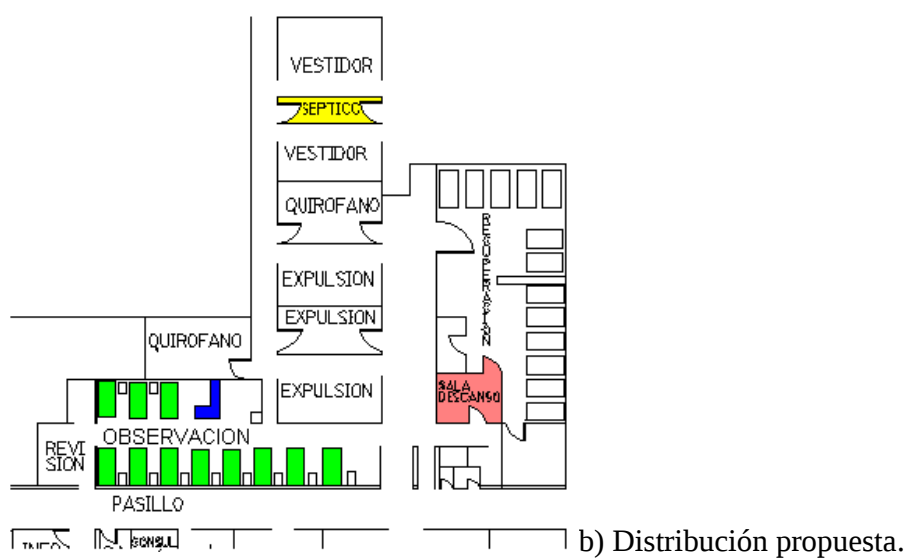
- d. Mover el área de descanso de los médicos, actualmente en el área de revisión, hacia un área en recuperación. De esta manera se liberará más espacio en el área de observación para más camas, sin afectar el área de observación porque se ubicará en el espacio que liberará el séptico.

Con estas modificaciones se pudo incorporar las 4 camas recomendadas e incluso dejar espacio para en un futuro agregar una adicional.

Para el caso de estudio solo nos limitamos a presentar las recomendaciones y dejar que la institución a su debido tiempo tomará la decisión de implementar o no los cambios sugeridos.



Donde D: sala de descanso, S: Séptico y el escritorio es mostrado en color azul.



Nota: el escritorio es mostrado en color azul.

Figura 5.28 Distribución actual y propuesta.

Paso 11. Elaborar plan de implementación de recomendaciones resultado de análisis avanzados y recomendaciones directas (CE)

Suponiendo que las recomendaciones fueran aceptadas, el plan de mejoras resultado de análisis avanzados incluiría la acción de mejora, el periodo de realización, presupuesto, recursos específico, responsable y participantes. La tabla 5.23 presenta el formato del plan de implementación de recomendaciones de análisis avanzados con las acciones de mejora específicas.

Tabla 5.23 Plan de implementación de análisis avanzados.

No.	Acción de mejora	Periodo	Presupuesto	Recursos específicos	Responsable y participantes
1	Redistribuir el área el cual incluye: remover paredes internas entre camas del área de observación y recuperación, reducir tamaño de escritorio y posición del área de observación, reubicar séptico a vestidores, área de descanso a recuperación y mostrador de afiliados a información e incorporar un área de transfer.				
2	Incorporar 4 camas adicionales en el área de observación.				

Para el caso del plan de mejoras de acciones directas se utiliza el mismo formato, suponiendo que hubieran sido aprobadas se presenta en la tabla 5.24.

Tabla 5.24 Plan de implementación de recomendaciones directas.

No.	Acción de mejora	Periodo	Presupuesto	Recursos específicos	Responsable y participantes
1	Instalar un sistema de voceo.				
2	Instalar un sistema de apertura automático de la puerta de acceso operado a través de un timbre por el módulo de información.				
3	Instalar un letrero en el área de información que sea visible por los usuarios.				

Paso 12. Preparación de eventos Kaizen (CE)

Como se comentó para el caso de estudio los directivos no consideraron madura la institución para la realización de eventos kaizen debido principalmente a aspectos sindicales que primeramente se tendrían que trabajar cuidadosamente. No obstante como prueba del éxito de esta estrategia se hace referencia al caso de estudio realizado en Cruz Roja Mexicali donde se aplicó la herramienta 5S del pensamiento esbelto obteniendo excelentes resultados [192]. La filosofía del pensamiento esbelto, incluyendo los eventos kaizen, se ha implementado exitosamente en diferentes hospitales del mundo, principalmente Estados Unidos, Reino Unido y Australia [17] tales como el centro médico Virginia Mason de Seattle, Washington [24], el centro médico de la Universidad de Pittsburgh [30], el hospital Hôtel-Dieu Grace en Francia [13] y hospitales Bolton en el Reino Unido [25]. Lo anterior demuestra la asertividad de este enfoque para resolver problemas y solo es cuestión de que las instituciones decidan involucrarse en esta filosofía de mejora.

Para el caso de estudio se presenta la tabla 5.25 a llenar del plan de eventos kaizen en caso de que hubieran sido aprobadas las acciones de mejora de eventos kaizen.

Tabla 5.25 Plan de eventos kaizen.

No.	Descripción del problema	Posible acción del problema	Líder y miembros del evento	Fecha de inicio y fin	Presupuesto	Recursos específicos
1	Tiempo de espera para entrar a revisión debido a que el médico de revisión también atiende en observación.	1.1 Mejorar las operaciones de apoyo para facilitar el trabajo del médico. Entre estas actividades se recomienda la implementación de 5s para mejorar la organización del área.				
2	El personal de limpieza no tiene tiempo de preparar las camas en observación generando esperas en la atención de pacientes en revisión.	2.1 Aplicar la metodología SMED para reducir los tiempos de limpieza y preparación de salas de expulsión y quirófanos.				
3	Toma un tiempo significativo del personal del área de observación informar el status del paciente a información.	3.1 Habilitar las computadoras con internet y utilizar una aplicación como GoogleDocs para compartir documentos.				
4	Espera por sabanas o batas.	5.1 Implementar un sistema kanban donde se identifique un punto de reorden y de esta manera se reabastezca antes de quedar con cero inventario.				
5	Toma tiempo excesivo registrar los datos de los pacientes.	16.1 Revisar los formatos actualmente utilizados para eliminar información repetitiva o innecesaria.				

6	Paciente no trae último ultrasonido.	7.1 El personal médico debe de definir claramente los servicios que ofrece la unidad. Además sería conveniente emprender un estudio en el área de consulta para analizar la raíz del problema.				
7	El paciente no sabe cuando entrar al área de revisión.	8.1 Instalar un semáforo que señale la disponibilidad del área de revisión.				
8	Las pacientes tienen un traslado excesivo al área de mostrador y es necesario remover la pared ligera del área de recuperación para optimizar espacio.	11.1 Revisar la distribución del área y reubicar el mostrador cerca del área de información y remover la pared ligera del área de recuperación.				
9	Las camillas y sillas de ruedas que vienen de la calle entran sucias al pasillo de área blanca.	12.1 Preparar un área de transferencia para que no pasen las camillas sucias al área blanca (limpia).				
10	Computadoras descompuestas, cajones descompuestos, llaves goteando y pedazos de loseta sueltos.	14.1 Implementar y hacer funcionar un sistema de mantenimiento preventivo y correctivo.				

Paso 13. Implementación (CE)

El caso de estudio no comprendió la etapa de implementación de las recomendaciones y termino hasta la presentación de las recomendaciones generadas en el estudio. Haciendo un diagnóstico en retrospectiva de las razones en no lograr la implementación en este caso de estudio fue primeramente las dificultades en la obtención de la información, lo cual ocasionó en parte que el proyecto se extendiera en duración. El largo periodo que tomo finalizar el proyecto y presentar resultados finales, el cual fue de 16 meses, ocasionó que los interesados en realizar el proyecto se desmotivaran y perdieran interés. De lo anterior se deducen dos recomendaciones para futuros proyectos, primeramente que la dirección se comprometa seriamente en el proyecto y segundo mantener de manera constante la comunicación con el equipo de trabajo para mantener el entusiasmo aun con las dificultades que se presenten.

Capítulo 6

Resultados, discusión, conclusiones y recomendaciones

Resultados y discusión

Como resultado de la tesis se propuso un esquema genérico para mejorar el flujo de pacientes el cual a partir de un análisis inicial divide las acciones de mejora en estrategias de solución directa, eventos kaizen y análisis avanzados.

Aunque en la literatura existe una gran cantidad de artículos sobre solución de problemas específicos en el sector salud, con lo que respecta a la línea de investigación de la tesis “Modelos integradores de mejora del flujo de pacientes” solamente se encontraron tres trabajos relacionados, estos son: Hall et al. en el 2006 [7] Chand et al. en el 2009 [6] Naseer, Eldabi y Young en el 2010 [5]. Al comparar el esquema propuesto con estos trabajos se identifican las siguientes ventajas del esquema propuesto:

- Ninguno de los tres trabajos considera un análisis inicial con herramientas básicas fácilmente utilizadas por el personal para la identificación de los problemas y evaluación y clasificación de la estrategia a seguir. Chand et al. [6] incluyen en su enfoque el mapeo del proceso, la identificación de fuentes de variabilidad y posibles factores de mejora, lo cual es muy acercado al análisis inicial propuesto pero no incluye una evaluación y clasificación de la estrategia a seguir, simplemente se limita a utilizar directamente SED. Hall et al. [7] por su parte solo habla sin mayores detalles de una etapa donde se documenta el servicio y se rediseña el proceso con una eficiencia mejorada.
- Ninguno de los tres trabajos considera el pensamiento esbelto (“lean”) cuando en la industria y en el sector salud se han demostrado los beneficios de ahorros, implementación de cambios exitosa y mejora del ambiente de trabajo. Tomemos como referencia el centro médico Virginia Mason de Seattle, Washington [24], el centro médico de la Universidad de Pittsburgh [30], el hospital Hôtel-Dieu Grace en Francia [13] y hospitales Bolton en el Reino Unido [25].

- Con respecto a herramientas de análisis, el esquema propuesto no se limita a solo incluir métodos de modelación y simulación como el enfoque de Naseer, Eldabi y Young [5] o solo SED como el de Chand et al. [6]. El esquema propuesto, aunque considera SED como una de las herramientas favoritas para el análisis avanzado del flujo de pacientes al igual que Davies y Davies en 1994 [82], Stafford en 1978 [83] y Karnon y Brown [78], deja abierta la posibilidad de utilizar otras técnicas para no limitar la aplicación diversa de diferentes técnicas incluso de manera combinada como el caso de Cochran al utilizar SED con teoría de colas [96]. Por su parte Hall et al. [7] solo recomiendan tres lineamientos a seguir para la mejora sin mencionar técnicas específicas.
- Ninguno de los trabajos resalta la participación de un equipo multidisciplinario, por el contrario en el esquema propuesto se considera un aspecto fundamental debido al gran valor del cúmulo de conocimientos que posee el personal sobre el proceso, además con la participación del personal se tendrá una mayor aceptación de los cambios y por ende una implementación exitosa. Hanna y Sethuraman [152] refuerzan este punto al señalar que los resultados más significativos en proyectos del sector salud han sido logrados con esfuerzos liderados por un equipo representando todos los empleados relacionados con la problemática.

Al igual que resaltar las ventajas es importante identificar los puntos débiles del esquema propuesto, por lo que una desventaja identificada es que deja abierto los criterios de selección de otras herramientas avanzadas, dejando al asesor hacer la selección. Parte de esta idea es el trabajo de Naseer, Eldabi y Young en el 2010 [5] donde recomiendan uno o varios métodos en base a las características del problema, no obstante su enfoque también tiene la desventaja de que los métodos recomendados son solo de modelación y simulación.

El esquema de análisis y mejora del flujo de pacientes propuesto fue aplicado a un caso de estudio en un hospital del municipio de Mexicali, B.C. en el área de obstetricia/ginecología del departamento de emergencias donde se recomendó incrementar el número de camas en el área de observación de 7 a 11, modificar las distribución física del área y recomendaciones de mejoras a realizarse a través de eventos kaizen o de manera directa, de esta manera reduciendo el tiempo de espera total en un 71% de 40.13 Min. (.6688 Hrs.) a 11.47 Min. (.1912 Hrs).

Cabe señalar que todos los pasos que comprenden el esquema de análisis se aplicaron al caso de estudio con excepción a las actividades relacionadas con la implementación, las cuales dependían únicamente de la dirección de emprenderlas o no.

Al momento de trabajar en el caso de estudio se presentaron dificultades las cuales se listan a continuación con la finalidad de que se consideren en proyectos futuros para reducir en lo posible su impacto. Estas dificultades fueron:

- a. **Acceso limitado a registros históricos.** No se tuvo acceso a registros históricos porque las personas encargadas de registros no autorizaron el acceso a la información sin dar ninguna explicación. Se sabe que los registros de pacientes son información confidencial pero tampoco se tuvo acceso a estadísticas en la mayoría de los casos.
- b. **Registros incompletos.** Los registros que se tuvieron acceso fue al libro de llegadas y a las bitácoras de los pacientes en piso pero se tuvo el problema de que muchos registros del libro de llegadas no se registraban o se registraban de manera incompleta. Por ejemplo una situación que se presentaba con algunas pacientes en proceso de parto era que llegaban pero como no tenían la dilatación suficiente no eran admitidas por lo que tenían que regresar más tarde y ya no se registraba nuevamente su entrada. Estas situaciones dificultaron la obtención de datos.
- c. **Actitud del personal médico.** La actitud del personal médico hacia los responsables de recolectar muestras de datos era indiferente y poco participativo. Esto se debió a dos razones, la primera fue que hubo muy poca comunicación en la introducción de los alumnos al iniciar el proceso de toma de datos directos y la segunda es que el personal médico no está acostumbrado a que su área sea analizada como un sistema por lo que tiene poca disposición y credibilidad a este tipo de estudios. Puede decirse que las enfermeras fueron el punto de comunicación más fuerte y de mayor disposición para conocer el sistema y sus problemas. De igual forma el personal en los módulos de recepción también se mostró muy accesible.

Cabe señalar que las dificultades anteriores no son una novedad en este tipo de proyectos en hospitales, previamente Brailsford en el 2005 [157] comentó sobre los problemas de actitud del personal de hospitales en proyectos de mejora, Langabeer et al. en el 2009 [19] en base a una encuesta sobre el obstáculo organizacional más grande en la penetración de las iniciativas

de calidad el 37% opinó que eran los médicos y Carter y Blake en el 2005 [160] listaron diferentes dificultades en la obtención de datos de registros en sus proyectos.

Conclusiones

Con los resultados anteriores podemos decir que la hipótesis planteada al inicio de la investigación es verdadera al haber desarrollado un esquema de análisis y mejora, generalizado en su aplicación y capaz de mejorar de manera significativa el flujo de pacientes.

El enfoque del esquema de mejora y análisis propuesto parte de lo simple y se mantiene en el mismo nivel con eventos kaizen o todavía más simple con acciones directas y solamente si es necesario se mueve a lo complejo con análisis avanzados. Es importante la distinción de estas estrategias porque no todos los problemas tienen el mismo nivel de complejidad y requerimientos de participación del personal por lo que no todos los problemas se resuelven igual. Acertadamente el esquema incorpora la decisión de evaluar los problemas con herramientas sencillas antes de evaluar y seleccionar una estrategia.

Al comparar el esquema de análisis y mejora propuesto con los trabajos encontrados en la literatura se identifica una aportación valiosa en la línea de investigación “modelos integradores para el flujo de pacientes” al incluir un análisis inicial con herramientas básicas, la evaluación y selección de estrategias, considerar en el esquema el pensamiento esbelto junto con herramientas avanzadas, justificar SED como herramienta de elección y resaltar la participación de equipos multidisciplinarios.

No obstante el principal valor de esta investigación es la utilidad de servir como guía en el desarrollo futuro de proyectos en hospitales enfocados a mejorar el flujo de los pacientes beneficiando con esto a las comunidades.

Recomendaciones

En base a la experiencia del caso de estudio se necesita poner especial atención a la forma en la que se trabajará con el personal debido a que el sector salud no está acostumbrado a que se realicen este tipo de estudios. Las recomendaciones con respecto al personal para tener éxito en este tipo de proyectos son las siguientes:

- Involucrar al personal. Se debe involucrar al personal en todas las fases del proyecto y asegurarse de que participe activamente en la generación y aplicación de las ideas de mejoras.
- El asesor es un facilitador. El asesor sólo debe de ser un facilitador de los cambios para mejorar el área de otra manera la implementación no tendrá éxito porque el personal no tomará las ideas como propias.
- Comunicar, comunicar, comunicar. El personal debe de conocer claramente qué es lo que se está haciendo en el proyecto. De manera particular informar siempre al personal de las actividades del asesor y analistas cuando se visite el área.

Con respecto a trabajos futuros se recomienda:

- Desarrollar una aplicación en Excel/Visual Basic para balancear el número de camas entre las salas con fundamento en la teoría de colas. De esta manera el personal podrá utilizar la herramienta fácilmente y sin necesidad de adquirir software costoso.
- Explorar otras técnicas de diseño de experimentos que faciliten el estudio para la experimentación simultánea de varias salas con varios niveles de camas.
- Explorar la incorporación en el esquema de dinámica de sistemas como técnica de análisis del sistema a nivel macro. Un nivel macro incluye no solo un hospital sino todos los hospitales de una ciudad, sección de la ciudad, o región. También puede incluir otras organizaciones relacionados con los procesos del hospital como proveedores.
- Detallar los criterios de selección de herramientas avanzadas, similar al trabajo de Naseer, Eldabi y Young en el 2010 [5].

- Aplicación del esquema de análisis y mejora del flujo de pacientes en diferentes ambientes de hospitales como lo es laboratorios, consulta externa, área de hospitalización y reportar los hallazgos de las diferencias y similitudes.

Publicaciones y congresos

En esta sección se listan los artículos publicados o presentados en congresos generados a partir del trabajo de tesis.

1. **2012 – “Análisis de mejora del flujo de pacientes utilizando herramientas básicas de ingeniería industrial”**, Medina León Silvia Vanessa, Medina Palomera Amalia, González Ángeles Álvaro y Eva Nicolasa Castillo Morones, Memorias del Congreso Internacional de Investigación Academia Journals 2012, ISSN 1946-5351 en línea, ISSN 1948-2353 CD ROM, septiembre de 2012, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
2. **2011 – “Utilización de la teoría de colas para asignar y balancear el número de camas entre las salas de un hospital”**, Medina León Silvia Vanessa, Medina Palomera Amalia, González Ángeles Álvaro y Navarro González Carlos Raúl, memorias del V Congreso Internacional de Ingeniería Industrial ARGOS, septiembre de 2011, Tijuana, B.C.
3. **2010 – “Reducir tiempos de espera de pacientes en el departamento de emergencias de un hospital utilizando simulación”**, Medina León Silvia V., Medina Palomera Amalia, González Ángeles Álvaro, Revista Industrial Data, 2010, Vol. 13(1), pp. 67-76, ISSN: 1560-9146 (impreso) / ISSN: 1810-9993 (electrónico).
4. **2009 - “Implementación del programa de 5S en Cruz Roja Mexicali”**, Medina S., Salas C., Palomera A. y González A., memorias del IV Congreso Internacional de Ingeniería Industrial ARGOS, ISBN: 978-1-4276-4339-1, octubre de 2009, Mexicali, B.C.
5. **2008 - “Implementación del pensamiento esbelto para incrementar la eficiencia de operaciones en una institución de salud”**, Medina León Silvia Vanessa, Medina Palomera Amalia y González Ángeles Álvaro, Seminario Internacional de Servicio Social UNAM, noviembre de 2008, D.F., México.
6. **2008 - “Experiencias de programa de servicio social: análisis y mejora de procesos en hospitales”**, Medina León Silvia Vanessa, Coloquio de experiencias de la convocatoria de apoyo a programas de servicio social 2008 de la UABC, noviembre de 2008, Mexicali, B.C.

Referencias

- [1] Wikipedia 01, Enciclopedia Wikipedia, Definición de Gross domestic product, http://en.wikipedia.org/wiki/Gross_domestic_product, accesado el 5 de junio de 2008.
- [2] OECD 01, Organization for economic cooperation and development, estadísticas de gasto en salud como porcentaje del PIB, expectativa de vida y población, <http://www.oecd.org>, accesado el 12 de octubre de 2012.
- [3] OECD 02, Obesity update 2012, www.oecd.org/els/healthpoliciesanddata/49716427.pdf, accesado el 12 de octubre de 2012.
- [4] Villagómez P., Bistrain C. (2008) Situación demográfica nacional, CONAPO.
- [5] Naseer A, Eldabi Tillal y Young Terry (2010) RIGHT: A toolkit for selecting healthcare modelling methods, Journal of simulation, 4, 2-13.
- [6] Chand Suresh, Moskowitz Herbert, Norris John B., Shade Steve y Willis Deanna R., (2009) Improving patient flow at an outpatient clinic: study of sources of variability and improvement factors, Health Care Management Science, 12, 325-340.
- [7] Hall Randolph, Belson David, Murali Pavan y Dessouky Maged (2006) Patient flow reducing delay in health care delivery, capítulo 1: Modeling patient flows through the healthcare system, Springer, 1-44.
- [8] Maull R. S., Smart P. A., Harris A, Karasneh A Al-Fatah (2006) An Evaluation of 'Fast-Track' in A&E: a discrete event simulation approach, University of Exeter, Discussion papers in management, No. 06/03, ISSN 1472-2939, <http://business-school.exeter.ac.uk/research/areas/topics/management/outputs/>.
- [9] Travers James P. y Lee Francis C.Y. (2006) Avoiding prolonged waiting time during busy periods in the emergency department: is there a role for the senior emergency physician in triage?, Emergency medical journal, 23(4), 262-265.
- [10] Henderson Diana, Dempsey Christy y Appleby Debra (2004) A Case Study of Successful Patient Flow Methods: St. John's Hospital, Frontiers of health service management, 20(4), 25-30.
- [11] Karpriel Marty (2004) Improving Emergency Department Flow, Healthcare executive, 19(1), 40-41.
- [12] Capuano Terry, Bokovoy Joanna, Halkins Deborah y Hitchings Kim (2004) Work Flow Analysis - Eliminating Non-Value-Added Work, JONA, 34(5), 246-256.

- [13] Ng David, Vail Gord, Thomas Sophia y Schmidt Nicki (2010) Applying the Lean principles of the Toyota Production System to reduce wait times in the emergency department, *CJEM*, 12(1), 50-57.
- [14] Dickson Eric W., Singh Sabi, Cheung Dickson S., Wyatt Christopher C., y Nugent Andrew S. (2009) Application of lean manufacturing techniques in the emergency department, *The journal of emergency medicine*, 37(2), 177-182.
- [15] Dickson Eric W., Anguelov Zlatko, Vetterick Diana, Eller Andrew, Singh Sabi (2009) Use of Lean in the Emergency Department: A Case Series of 4 Hospitals, *Annals of emergency medicine*, 54(4), 504-510.
- [16] Chakravorty Satya S (2009) Process Improvement: Using Toyota's A3 Reports, *The quality management journal*, 16(4), 7-26.
- [17] Brandao de Souza Luciano (2009) Trends and approaches in lean healthcare, *Leadership in Health Services*, 22(2), 121-139.
- [18] Vest Joshua R y Gamm Larry D (2009) A critical review of the research literature on Six Sigma, Lean and StuderGroup's Hardwiring Excellence in the United States: the need to demonstrate and communicate the effectiveness of transformation strategies in healthcare, *Implementation science*, 4:35, disponible en: <http://www.implementationscience.com/content/pdf/1748-5908-4-35.pdf>, accedido el 15 de diciembre de 2010.
- [19] Langabeer James R., DelliFraine Jami L., Heineke Janelle y Abbass Ibrahim (2009) Implementation of Lean and Six Sigma quality initiatives in hospitals: A goal theoretic perspective, *Operations management research*, 2, 13-27.
- [20] Wennecke Gitte (2008) Kaizen - LEAN in a week: How to implement improvements in healthcare settings within a week, *Medical laboratory observer*, agosto, 28-31.
- [21] Khurma Nancy, Bacioiu Gheorghe M., Pasek Zbigniew J. (2008) Simulation-based verification of lean improvement for emergency room process, *Proceedings of the Winter Simulation Conference 2008*.
- [22] Jack Eric P. y Powers Thomas L. (2008) A review and synthesis of demand management, capacity management and performance in health-care services, *International Journal of Management Reviews*, 11(2), 149-174.
- [23] Abdulmalek Fawaz A., Rajgopal Jayant (2007) Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study, *International journal of production economics*, 107, 223-236.
- [24] Nelson-Peterson Dana L. y Leppa Carol J. (2007) Creating an Environment for Caring Using Lean Principles of the Virginia Mason Production System, *The journal of nursing administration*, 37(6), 287-294.

- [25] Fillingham David (2007) Can lean save lives?, *Leadership in health services*, 20(4), 231-241.
- [26] King Diane L, Ben-Tovim David I y Bassham (2006) Redesigning emergency department patient flows: Application of Lean Thinking to health care, *Jane Emergency Medicine Australasia*, 18, 391-397.
- [27] Manos Tony (2006) Value Stream Mapping-an Introduction, *Quality progress*, 39(6), 64-69.
- [28] Young T, Brailsford S, Connell C, Davies R, Harper P y Klein J H (2004) Using industrial processes to improve patient care, *BMJ British Medical Journal*, 328(7432), 162-164, <http://www.bmj.com/cgi/reprint/328/7432/162> accesado el 8 de junio del 2008.
- [29] Sobek, D.K. y Jimmerson, C. (2004) "A3 reports: tool for process improvement", *Proceedings of the 2004 Industrial Engineering Research Conference*, Houston, TX, disponible en: www.coe.montana.edu/IE/faculty/sobek/IOC_Grant/IERC_2004.pdf, accedido en diciembre de 2011.
- [30] Thompson Debra N., Wolf Gail A. y Spear Steven J. (2003) Driving Improvement in Patient Care - Lessons From Toyota, 33(11), 585-595.
- [31] Feinstein KW. (2001) The Sisyphus Dilemma in Health Care: Why Safety and Quality Matter, *Pittsburgh Regional Healthcare Initiative*.
- [32] Hacquebord Heero (1994) Healthcare from the perspective of a patient: Theories for improvement, *Quality management in health care*, 2(2), 68-75.
- [33] Günel MM y Pidd M (2010), Discrete event simulation for performance modelling in health care: a review of the literature, *Journal of Simulation*, 4, 42-51.
- [34] Wilson JC Tunnicliffe (1981) Implementation of computer simulation projects in health care, *Journal Operational Research Society*, 32(9), 825-832.
- [35] Brailsford SC y Hilton NA (2001) A comparison of discrete event simulation and system dynamics for modeling healthcare systems, *Proceeding from ORAHS*, 18-39.
- [36] Moreno L., Aguilar R.M., Martin C.A., Pineiro J.D., Estevez J.I., Sigut J.I., Sanchez J.L. y Jimenez V.I. (1999) Patient-centered simulation tool for aiding in hospital management, *Simulation Practice and Theory*, 7, 373-393.
- [37] Harper PR y Pitt MA (2004) On the challenges of healthcare modeling and a proposed project life cycle for successful, *Journal of the operational research society*, 55, 657-661.
- [38] Sharoda A. Paul, Madhu C. Reddy y Christopher J. DeFlitch (2010) A Systematic Review of Simulation Studies Investigating Emergency Department Overcrowding, *Simulation*, 0(0), 1-13.

- [39] Takakuwa S y Shiozaki H. (2004) Functional analysis for operating emergency department of a general hospital, Proceedings of the Winter Simulation Conference 2004, 2003-2011.
- [40] Komashie A y Mousavi A (2005) Modeling emergency departments using discrete event simulation techniques, Proceeding of the Winter Simulation Conference 2005, 2681-2685.
- [41] Rossetti, M.D., G.F. Trzcinski y S.A. Syverud (1999) Emergency department simulation and determination of optimal attending physician staffing schedules, Proceeding of the Winter Simulation Conference 1999, 1532-1540.
- [42] Williams Peter, Tai Guangfu y Lei Yiming (2010) Simulation based analysis of patient arrival to health care systems and evaluation of an operations improvement scheme, Annals of operations research, 178(1), 263-279.
- [43] Ramwadhoebe Sabrina, Buskens Erik, Sakkers Ralph J.B. y Stahl James E. (2009) A tutorial on discrete-event simulation for health policy design and decision making: Optimizing pediatric ultrasound screening for hip, Health Policy, 93, 143-150.
- [44] Taylor SJE, Eldabi T, Riley G, Paul RJ and Pidd M (2009) Simulation modelling is 50! Do we need a reality check?, Journal of the operational research society, 60(S1), S69-S82.
- [45] Tocher KD y Owen DG (1960) The automatic programming of simulation, Proceedings of the second international conference on operational research, 58-60.
- [46] Brailsford SC, Harper PR, Patel B y Pitt M (2009) An analysis of the academic literature on simulation and modelling in health care, Journal of simulation, 3, 130-140.
- [47] Fone D, Hollinghurst S, Temple M (2003) Systematic review of the use and value of computer simulation modelling in population health and health care delivery, Journal Publication Health Medicine 2003; 25, 325-35.
- [48] Wanga Tao, Guineta Alain, Belaidib Aissam y Besombes Béatrix (2009) Modelling and simulation of emergency services with ARIS and Arena. Case study: the emergency department of Saint Joseph and Saint Luc, Production planning and control, 20(6), 484-495.
- [49] James, J.S. (2003) Simulation reloaded: sixth biennial survey of discrete-event simulation software. ORMS Today, 30(4), 46-49.
- [50] James, J.S. (2005) Gaming reality: biennial survey of discrete-event simulation software. ORMS Today, 32(6), 44-55.
- [51] Schriber T.J. y Brunner D.T. (2002) Inside discrete event simulation software: how it works and why it matters, Proceedings of the 2002 Winter simulation conference, 97-107.

- [52] Santibáñez Pablo, Chow Vincent S., French John, Puterman Martin L. y Tyldesley Scott (2009) Reducing patient wait times and improving resource utilization at British Columbia Cancer Agency's ambulatory care unit through simulation, *Health care management science*, 12(4), 392-407.
- [53] Hoad Kathryn, Robinson Stewart, Davies Ruth (2008) Automating warm-up length estimation, *Proceedings of the 2008 Winter simulation conference*, 532-540.
- [54] Barra Montevechi José Arnaldo, Leal Fabiano, Florêncio da Silva Costa Rafael, Ferreira de Pinho Alexandre y Silva Marins Fernando Augusto, Combined use of modeling techniques for the development of the conceptual model in simulation projects, *Proceedings of the 2008 Winter simulation conference*, 987-995.
- [55] Pérez Karol, Cardona Laura, Gómez Sebastián, Olarte Tomás y Escudero Paula (2008) Simulation and optimization in a health center in Medellin, Colombia, *Proceedings of the 2008 Winter simulation conference*, 1362-1367.
- [56] Duguay Christine y Chetouane Fatah (2007) Modeling and improving emergency department dystems using discrete event simulation, *Simulation*, 83(4), 311-320.
- [57] Oviatt, J. y Hollingsworth L (2005) Understanding emergency department wait times, Canadian institute for health information, www.cihi.ca.
- [58] Balci Deniz, Kesen Saadettin Erhan y Faruk Baykoç Ömer (2007) Adaptability of Just-in-time (JIT) Philosophy to Service Systems: A Case Study, *Simulation*, 83(9), 631-642.
- [59] Swain James J. (2007) New Frontiers in Simulation Biennial survey of discrete-event simulation software tools, *OR/MS Today*, octubre.
- [60] Fletcher Adrian y Worthington Dave (2007) What is a 'generic' hospital model? Lancaster University Management School Working Paper 2007/003.
- [61] Brailsford, Sally C., (2007) Tutorial: Advances and challenges in healthcare simulation modeling, *Proceedings of the Winter Simulation Conference 2007*.
- [62] Sanchez, Paul J. (2007) Fundamentals of simulation modeling, *Proceedings of the Winter Simulation Conference 2007*.
- [63] VanBerkel Peter T. y Blake John T. (2007) A comprehensive simulation for wait time reduction and capacity planning applied in general surgery, *Health care management science*, 10, 373-385.
- [64] Kopach Renata, DeLaurentis Po-Ching, Lawley Mark, Muthuraman Kumar, Ozsen Leyla, Rardin Ron, Wan Hong, Intrevado Paul, Qu Xiuli y Willis Deanna (2007) Effects of clinical characteristics on successful open access scheduling, *Health care management science*, 10, 111-124.
- [65] Jacobson Sheldon H., Hall Shane N., y Swisher James R. (2006), Patient flow reducing delay in health care delivery, capítulo 8: Discrete-event simulation of health care systems, Springer, 211-252.

- [66] Taylor SJE and Robinson S (2006) So where to next? A survey of the future for discrete-event simulation, *Journal of simulation*, 1(1), 1-6.
- [67] Ruohonen Toni, Neittaanmäki Pekka y Teittinen Jorma (2006) Simulation model for improving the operation of the emergency department of special health care, *Proceedings of the 2006 Winter simulation conference*.
- [68] Seila Andrew F. (2006) Spreadsheet simulation, *Proceedings of the 2006 Winter simulation conference*.
- [69] White K. Preston (2005) A survey of data resources for simulating patient flows in healthcare delivery systems, *Winter simulation conference*, 926-935.
- [70] Azadeh A., Bidokhti B. y Sakkaki S.M.R. (2005) Design of practical optimum JIT systems by integration of computer simulation and analysis of variance, *Computers and industrial engineering*, 49, 504-519.
- [71] Gallivan Steve (2005) Mathematical methods to assist with hospital operation and planning, *Clinical and investigative medicine*, Vol. 28, No. 6, Diciembre 2005, http://www.csci-scrs.medical.org/cim/cim_dec2005.pdf.
- [72] Blake John T. (2005) Shooting arrows in the dark: The policies and practices of waitlist management in Canada, *Clinical and investigative medicine*, Vol 28, No. 6, Diciembre 2005, http://www.csci-scrs.medical.org/cim/cim_dec2005.pdf
- [73] Costa A.X., Ridley S.A., Shahani A.K., Harper P.R., De Senna V. y Nielsen M.S. (2003) Mathematical modelling and simulation for planning critical care capacity, *Anaesthesia*, 58(4), 320-327.
- [74] Harper Paul R. (2002) A Framework for Operational Modelling of Hospital Resources, *Health care management science*, 5, 165-173.
- [75] Eldabi T., Irani Z. y Paul R.J. (2002) A proposed approach for modeling health care systems for understanding, *Journal of Management in Medicine*, 16, 170-187.
- [76] Vasilakis C. y El-Darzi E. (2001) A simulation study of the winter bed crisis, *Health care management science*, 4, 31-36.
- [77] Jun J.B., Jacobson S.H. y Swisher J.R. (1999) Application of discrete-event simulation in health care clinics: a survey, *Journal of Operational Research Society*, 50, 109-123.
- [78] Karnon Jonathan y Brown Jackie (1998) Selecting a decision model for economic evaluation: a case study and review, *Health care management science*, 133-140.
- [79] Davies H.T.O. y Davies R. (1995) Simulating health systems: modeling problems and software solutions, *European Journal of Operational Research*, 87, 35-44.

- [80] Lagergreen M (1996) What is the role and contribution of models to solving health care management problems?, Proceedings ORAHS21 Conference 1995, Eindhoven University Press.
- [81] Royston G.H.D. (1995) Shifting the balance of care into the 21st century, Proceedings of ORAHS21 Conference 1995, Eindhoven University Press.
- [82] Davies R. y Davies H (1994) Modeling patient flows and resource provision in health systems, *Omega*, 22(2), 123-131.
- [83] Stafford E.F. (1978) Simulation vs. mathematical analysis for systems modeling: a comparison of techniques, Proceedings of the 1978 Summer Computer Simulation Conference, AFIPS Press, Los Angeles, California, E.U., 53-159.
- [84] Law AM (1991) Simulation model's level of detail determines effectiveness, *Industrial Engineering* 23(10), 16-18.
- [85] Arnold R. Mahachek and Terry L. Knabe (1984) Computer simulation of patient flow in obstetrical/gynecology clinics, *Simulation*, 43(2), 95-101.
- [86] Shen Hua y Wan Hong (2009) Controlled sequential factorial design for simulation factor screening, *European journal of operational research*, 198, 511-519.
- [87] Sanchez Susan M. (2007) Work smarter, not harder: guidelines for designing simulation experiments, Proceedings of the Winter Simulation Conference 2007.
- [88] Kleijnen, Jack P.C. (2007) Regression models and experimental designs: a tutorial for simulation analysts, Proceedings of the Winter Simulation Conference 2007.
- [89] Kumar Sameer y Nottestad Daniel A. (2006) Capacity design: an application using discrete-event simulation and designed experiments, *IIE Transactions*, 38, 729-736.
- [90] Sanchez Susan M., Moeeni Farhad y Sanchez Paul J. (2006) So many factors, so little time Simulation experiments in the frequency domain, *International Journal of Production Economics*, 103, 149-165.
- [91] Kleijnen Jack P.C. (2005) An overview of the design and analysis of simulation experiments for sensitivity analysis, *European journal of operational research*, 164, 287-300.
- [92] Kleijnen Jack P. C., Sanchez Susan M., Lucas Thomas W. y Cioppa Thomas (2005) M. State-of-the-Art Review A User's Guide to the Brave New World of Designing Simulation Experiments, *Informa – Journal on computing*, 17(3), 263-289.

- [93] Swisher Ames R. y Jacobson Sheldon H. (2002) Evaluating the Design of a Family Practice Healthcare Clinic Using Discrete-Event Simulation J, Health care management science, 5, 75-88.
- [94] Ingalls Ricki G. (2008) Introduction to simulation, Proceedings of the 2008 Winter simulation conference, 17-26.
- [95] Arnoud M. de Bruin & A. C. van Rossum & M. C. Visser & G. M. Koole (2007) Modeling the emergency cardiac in-patient flow: an application of queuing theory, Healthcare management science, 10, 125-127.
- [96] Cochran, Jeffery K. (2006) A multi-stage stochastic methodology for whole hospital bed planning under peak loading, International Journal of Industrial and Systems Engineering, 1(1/2).
- [97] Banks J., Carson J.S. y Nelson B.L. Discrete event system simulation, Prentice-Hall, 3ra edición , Upper Saddle River, New Jersey, 2000, pp 640.
- [98] Mackay Mark y Lee Michael (2005) Choice of Models for the Analysis and Forecasting of Hospital Beds, Health care management science, 8, 221-230.
- [99] Akkerman Renzo y Knip Marrig (2004) Reallocation of Beds to Reduce Waiting Time for Cardiac Surgery, Health care management science, 7, 119-126.
- [100] Utley Martin, Gallivan Steve, Davis Katie, Daniel Patricia, Reeves Paula, Worrall Jennifer, (2003) Estimating bed requirements for an intermediate care facility, European Journal of operational research, 150, 92-100.
- [101] Green V Linda (2002), How many hospital beds?, Inquiry Excellus Health Plan, 39(4), 400-412.
- [102] McClure W (1976) Reducing excess hospital capacity, Excelsior, Minn.: Buerau of health planning.
- [103] Freeman R. K. y Poland R. L. (1997) Guidelines for perinatal care, 4ta Edición, American College of Obstetricians and Gynecologists, Washington, D.C.
- [104] Green Linda V., Operations research and healthcare: a handbook of methods and applications, Chapter 2 Capacity planning and management in hospitals, International series in operations research and management science, Kluwer academic publishers, E.U., 2005, pp 867.
- [105] Schneider D (1981) A methodology for the analysisi of comparability of services en financial impact of closure of obstetrics services, Medical care, 19, 395-409.
- [106] Harper P.R. y Shahani A.K. (2002) Modeling for the planning and management of bed capacities in hospitals, Journal of the Operational Research Society, 53, 11–18.
- [107] Mackay Mark (2001) Practical experience with bed occupancy management and planning systems: an Australian view, Health care management science, 4, 47-56.

- [108] Lapierre Sophie D., Goldsman David, Cochran Roger, DuBow Janice (1999) Bed allocation techniques based on census data, *Socio-economics planning science*, 33, 25-38.
- [109] Kao EPC y Tung GC (1981) Bed allocation in a public health delivery system, *Management Science*, 27(5), 507-520.
- [110] Romanin-Jacur G y Facchin P. (1987) Optimal planning for a pediatric semi-intensive care unit via simulation, *European Journal of Operational Research*, 29, 192-200.
- [111] Bagust A., Place M. and Posnett J.W. (1999) Dynamics of bed use in accommodating emergency admissions: stochastic simulation model, *British Medical Journal*, 319, 155-8.
- [112] Smith-Daniels Vicki L., Schweikhart Sharon B.y Smith-Daniels Dwight E. (1988) Capacity Management in Health Care Services: Review and Future Research Directions, *Decision Science*, 19(4), 889-919.
- [113] Young, J. P. (1962) A queuing theory approach to the control of hospital inpatient census, Unpublished doctoral dissertation, Industrial Engineering Department, Johns Hopkins University.
- [114] El-Darzi E., Vasilakis C., Chaussalet T. y Millard P.H. (1998) A simulation modelling approach to evaluating length of stay, occupancy, emptiness and bed blocking in a hospital geriatric department, *Health care management science*, 1, 143-149.
- [115] Huang Xiao-Ming (1998) Decision making support in reshaping hospital medical services, *Health care management science*, 1, 165-173.
- [116] Altinel İ Kuban y Ulas Esra (1996), Simulation modeling for emergency bed requirement planning, *Annals of operations research*, 67, 183-210.
- [117] George David St. (1988) How Many Beds? Helping Consultants To Estimate Their Requirements, *BMJ: British Medical Journal*, 297(6650), 729-731.
- [118] Wright M.B. (1987) The application of a surgical bed simulation model, *European Journal of Operational Research*, 32, 26-32.
- [119] Davies, R.M. (1985) An assessment of models of a health system, *Journal of the Operational Research Society*, 36, 679-687.
- [120] Vassilacopoulos G. (1985) A simulation model for bed allocation to hospital inpatient departments, *Simulation*, 45(5), 233-241.
- [121] González-Torres P.L., Adenso-Díaz B. y Sánchez-Molero O. (2002) Capacity planning in hospital nursing: a model for minimum staff calculations, *Nursing Economics*, 20(1), 28-36.
- [122] Carter M W y Lapierre S D (2001) Scheduling emergency room physicians, *Health Care Management Science* 4, 347-360.

- [123] Beaulieu Hugnette, Ferland Jacques A., Gendron Bernard, y Michelon Philippe (2000) A mathematical programming approach for scheduling physicians in the emergency room, 3(3), 193-200.
- [124] Lowery Julie C, Davis Jennifer A. (1999) Determination of operating room requirements using simulation, Proceedings of the Winter Simulation Conference 1999.
- [125] Gross Donald y Harris C.M., “*Fundamentals of queueing theory*”, John Wiley & Sons Inc, 4ta edición, Hoboken, 2009, pp 600.
- [126] Jiang Lixiang y Giachetti Ronald E. (2008) A queueing network model to analyze the impact of parallelization of care on patient cycle time, Health care management science, 11, 248-261.
- [127] Koizumi Naoru, Kuno Eri y Smith Tony E. (2005) Modeling Patient Flows Using a Queuing Network with Blocking, Health care management science, 8, 49-60.
- [128] Green Lynda V (2002) How many hospital beds, *Inquiry - Excellus Health Plan*, ABI/INFORM Global Invierno 2002/2003, 39(4), 400-412.
- [129] Preater J. (2002) Queues in health, Health Care Management Science, 5, 283.
- [130] Gorunescu Florin, Mcclean Sally I. y Millard Peter H. (2002) Using a Queueing Model to Help Plan Bed Allocation in a Department of Geriatric Medicine, Health care management science, 5, 307-312.
- [131] Villa Stefano, Barbieri Marta y Lega Federico (2009) Restructuring patient flow logistics around patient care needs: implications and practicalities from three critical cases, Health care management science, 12, 155-165.
- [132] Ashby Marshall, Ferrin David, Miller Martin y Shahi Niloo (2008) Discrete event simulation: optimizing patient flow and redesign in a replacement facility, Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference.
- [133] Vos Leti, Groothuis Siebren y Van Merode Godefridus G. (2007) Evaluating hospital design from an operations management perspective, Health Care Management Science 10, 357–364.
- [134] Gibson Ian W. y Lend Lease Bovis (2007) An approach to hospital planning and design using discrete event simulation, Proceedings of the winter simulation conference 2007.
- [135] Vos Leti, Groothuis Siebren y Godefridus G. Van Merode (2007) Evaluating hospital design from an operations management perspective, Health care management science, 10, 357-364.
- [136] Abernethy B, Hanrahan SJ, Kippers V, Mackinnon LT, Pandey MG, The biophysical foundations of human movement. Human Kinetics, Champaign, IL, 2005.

- [137] Chahal Kirandeep y Eldabi Tillal (2008) Applicability of hybrid simulation to different modes of governance in uk healthcare, Proceedings of the Winter Simulation Conference 2008.
- [138] Forrester J.W. (1961) Industrial dynamics, MIT Press.
- [139] Forrester J.W. (1968) Industrial dynamics – After the first decada, Management science, 14, 398-415.
- [140] Brailsford Sally C. (2008) System dynamics: what's in it for healthcare simulation modelers, Proceedings of the Winter Simulation Conference 2008.
- [141] Rohleder Thomas R., Bischak Diane P. y Baskin Leland B. (2007) Modeling patient service centers with simulation and system dynamics, Health care management science, 10, 1-12.
- [142] Brailsford SC, Lattimer VA, Tarnaras P y Turnbull JC (2004) Emergency and on-demand health care: modelling a large complex system, Journal of the operational research society, 55, 34-42.
- [143] Taylor K and Dangerfield B (2005) Modelling the feedback effects of reconfiguring health services, Journal of the operational research society, 56, 659-675.
- [144] Lane David C., Monefeldt Camilla y Husemann Elke (2003) Client Involvement in Simulation Model Building: Hints and Insights from a Case Study in a London Hospital, Health care management science, 6, 105-116.
- [145] Flessa Steffen (1999) Decision support for malaria-control programmes – a system dynamics model, Health care management science, 2, 181-191.
- [146] Macal Charles M., North Michael J. (2007) Agent-based modeling and simulation: desktop ABMS, Proceedings of the Winter Simulation Conference 2007.
- [147] Casti J. (1997) Would-be worlds: how simulation is changing the world of science, Wiley, New York.
- [148] Rohleder Thomas R., Sabapathy David y Schorn Richard (2005) An Operating Room Block Allocation Model to Improve Hospital Patient Flow, http://www.csciscrc.medical.org/cim/cim_dec2005.pdf.
- [149] Blank Jos L. T. y Valdmánis Vivian G. (2010) Environmental factors and productivity on Dutch hospitals: a semi-parametric approach, Health care management science, 13, 17-24.
- [150] Coffey Richard J., Richards Janet S., Remmert Carl S., LeRoy Sarah S., Schoville Rhonda R. y Baldwin Phyllis J. (2005) An introduction to critical paths, Quality Management in Health Care, 14(1), 46 – 55.

- [151] Ceglowski Andrzej, Churilov Leonid y Wasserthiel Jeff (2004) New opportunities for industrial engineering in hospital Emergency departments, Proceedings of the Fifth Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference 2004, Monash University, Melbourne, Australia.
- [152] Hanna Victoria, Sethuraman Kannan (2005) The diffusion of operations management concepts into the health care sector, ANZAM Conference 2005.
- [153] Carter Michael (2002) Health Care Management, Diagnosis: Mismanagement of Resources, OR/MS Today, abril.
- [154] Salvendy G (2001) Handbook of industrial engineering: technology and operations management, New York, Wiley.
- [155] Eisenstein Eric L. y Bethea Charles F. (1999) The use of patient mix-adjusted control charts to compare in-hospital costs of care, Health care management science, 2, 193-198.
- [156] Lapierre Sophie D., Batson Charlotte y McCaskey (1999) Suzanne Improving on-time performance in health care organizations: a case study, Health care management, 2, 27-34.
- [157] Brailsford Sally (2005) Overcoming the barriers to implementation of operations research simulation models in healthcare, Clinical and investigative medicine, 28(6), Diciembre 2005, http://www.csciscrc.medical.org/cim/cim_dec2005.pdf.
- [158] Harper Paul (2005) Combining data mining tools with health care models for improved understanding of health processes and resource utilization, Clinical and investigative medicine, 28(6), Diciembre 2005, http://www.csciscrc.medical.org/cim/cim_dec2005.pdf.
- [159] Seila F. Andrew (2005) Seven rules for modeling health care systems, Clinical and investigative medicine, 28(6), Diciembre 2005, http://www.csciscrc.medical.org/cim/cim_dec2005.pdf.
- [160] Carter Michael W y Blake John T., Operations research and healthcare: a handbook of methods and applications, Chapter 8 Using simulation in an acute-care hospital: easier said than done, International series in operations research and management science, Kluwer academic publishers, E.U., 2005, pp 867.
- [161] Blake J.T., Carter M. W. y Richardson S. (1996) An analysis of emergency room wait time issues via computer simulation, INFORMS 34(4), 263-273.
- [162] Nickel Stefan y Schmidt Ursula-Anna (2009) Process Improvement in Hospitals: A Case Study in a Radiology Department, Quality management health care, 18(4), 326-338.
- [163] Fetter RB y Thompson JD (1965) The simulation of hospital systems, Operations research, 13(5), 689-711.
- [164] Banks Jerry, Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications and practice, Wiley-Interscience, 1a edición, New York, 1998, pp 864.

- [165] Law, M. y Kelton, D. Simulation modeling and analysis, Mc Graw Hill, 3ra edición, E.U., 2000, pp 760.
- [166] Pritzker Corporation (1993) Simulation: a decision support tool, Pritsker corporation, West Lafayette. Ind.
- [167] Kelton, W. David, Sadowsky Randall P y Sturrock David T, Simulation with Arena, Mc Graw Hill, 3a edición, New York, 2004, pp 672, 204.
- [168] Robinson S (2008) Conceptual modelling for simulation Part I: definition and requirements, Journal of the operational research society, 59, 278-290.
- [169] Robinson S (2008) Conceptual modelling for simulation Part II: a framework for conceptual modeling, 59, 291-304.
- [170] Sargent Robert G. (2007) Verification and validation of simulation models, Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference, 124-137.
- [171] Banks J. y Gibson R.G. (1997) Selection of simulation software, IIE Solutions, mayo, 30-32.
- [172] Gutiérrez Pulido Humberto y De la Vara Salazar Roman, Análisis y diseño de experimentos, Mc Graw Hill, 2da edición, México, 2008, pp 545.
- [173] Aguilar-Savén R.S. (2004) Business process modeling: Review and framework, International journal of production economics, 90, 129-149.
- [174] Tapping Don, Kozlowski Sue, Archbold Laura y Sperl Todd, Value stream management for lean healthcare, MCS Media, 2009, pp. 308.
- [175] Rother Mike, Shook John, Womack Jim y Jones Don, Learning to see, Lean enterprise institute, 1999, pp. 102.
- [176] Wedgwood Ian D., Lean sigma – a practitioner's guide, Prentice Hall, 2007, pp. 461.
- [177] Womack James P. y Jones Daniel T. (2003) Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation, Free Press, 15-98.
- [178] Hadfield Debra y Holmes Shelag, The Lean Healthcare pocket guide, MCS Media, E.U., 2006, pp 220.
- [179] Villaseñor Contreras Alberto y Galindo Cota Edber, Manual de Lean Manufacturing, Limusa, 2007, pp. 112.
- [180] Stone Kyle B (2010) Kaizen Teams: Integrated HRD Practices for Successful Team Building, Advances in developing human resources, 12(1), 61-77. Dirección en internet: http://web.me.com/kbstone13/KB_Stone_Consulting/Publications_files/Stone%20%282010%29.pdf

- [181] Liker Jeffrey K. y Hoseus Michael (2008) Toyota culture: The heart and soul of the Toyota way, McGraw-Hill, New York, pp. 562.
- [182] Vitalo R. L., Butz F., y Vitalo J. P. (2003) Kaizen desk reference standard, Hope, ME: Vital Enterprises.
- [183] Villaseñor Contreras Alberto y Galindo Cota Edber, Conceptos y reglas de Lean Manufacturing, Limusa, 2007, pp. 264.
- [184] Shook John, Managing to Learn: Using the A3 Management Process, Lean Enterprises, 2008, pp. 138.
- [185] Chakravorty Satya S (2009) Process Improvement: Using Toyota's A3 Reports, The Quality Management Journal, Vol. 16, 4.
- [186] Shingo Shigeo y Dillon Andrew P, A revolution in manufacturing: the SMED system, Productivity press, 1985, pp. 384.
- [187] Schniederjans Marc J, Topics in lean supply chain management, World Scientific Publishing Company 2009, pp. 344.
- [188] Gutiérrez Pulido Humberto y De la Vara Salazar Román, Control estadístico de la calidad y seis sigma, McGraw Hill, 2da. Edición, 2009. pp. 482.
- [189] Green Linda (2006) Patient flow reducing delay in health care delivery, capítulo 10: Queueing analysis in healthcare, Springer, 281-308.
- [190] Triola Mario F., Probabilidad y estadística, Pearson, 9na edición, México, pp 614, 2004.
- [191] Guasch Antoni, Piera Miquel Àngel, Casanovas Josep y Figueras Jaume, Modelado y simulación: Aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios, Alfaomega, México, 2005, pp 376.
- [192] 2008 - Medina León Silvia Vanessa, Medina Palomera Amalia y González Ángeles Álvaro (2008), "Implementación del pensamiento esbelto para incrementar la eficiencia de operaciones en una institución de salud", Seminario Internacional de Servicio Social UNAM, noviembre de 2008, D.F., México.

Glosario

Ad hoc. Para referirse a lo que se dice o hace solo para un fin determinado.

Fast track. Método de atención de pacientes donde un médico evalúa y atiende los casos que pueden resolverse en un tiempo corto.

Per capita. Por persona.

See and treat. Lo mismo que “fast track” pero esta terminología es utilizada en el Reino Unido .

Taxonomía. Ciencia que trata de los principios, métodos y fines de la clasificación.

Throughput. Número de pacientes atendidos por hora.

Triage. Proceso de evaluación inicial por una enfermera. En esta etapa pueden tomarse signos vitales y valoración de la gravedad del paciente. Además de lo anterior la enfermera puede clasificar el paciente según su gravedad.

Triage – código. El código de Triage tiene los siguientes tiempos de espera máximos: 1-0 minutos, 2-15 minutos, 3-30 minutos, 4-60 minutos y 5-120 minutos [57].

Warm-up. Tiempo de estabilización del sistema de simulación. Hasta después de transcurrir el warm-up se toman los estadísticos. El warm-up se utiliza principalmente en los sistemas de estado estable.