



Rocksoft city hospital
Reporte final

Materia: Investigación de operaciones II
Nombre: Carlos Eduardo Santil Millan, 59686

Índice

Resumen	3
Modelo conceptual	3
Descripción del problema	3
Objetivo	3
Variables	4
Variables de Decisión	4
Variables de Estado	4
Variables de Referencia	4
Variables aleatorias	4
Entidades, Atributos y Recursos	5
Actividades y Eventos	6
Diagrama de proceso IDEF0	7
Diagrama de lógicas del proceso	8
Plan de análisis	9
Plan de cuadros	9
Modelo de datos y cuantificación	10
Análisis a priori	10
Anylogic	10
Principales lógicas y bloques	10
Dificultades de codificación/Proceso de Debugging	13
Simulación y experimentación	14
Período de Warm Up	14
Stress Test	14
Cálculo del número de corridas e intervalos de confianza	14
Plan de experimentación	15
Variación de variables de decisión y Automatización	15
Resultados de la experimentación	17
Análisis de resultados en condiciones iniciales	18
Análisis de resultados con las modificaciones realizadas	19
Conclusiones y recomendaciones	20
Bibliografía	20
Anexo	21

Resumen

Rocksoft City Hospital es un hospital urbano sin fines de lucro que opera desde 1956 proporcionando lo mejor en atención médica de calidad a la comunidad. El hospital cuenta con cuatro grandes departamentos: departamento de emergencias, imágenes, laboratorio y cirugía. Los tres últimos, además del servicio independiente al hospital, también brindan servicios a la sala de emergencias. Los pacientes del departamento de emergencias (DE) se clasifican en tres grupos, moderado, grave y crítico.

El presente trabajo de consultoría tiene como finalidad analizar el sistema hospitalario de *Rocksoft City Hospital* y concluido este, recomendar mejoras. El alcance del modelo se limitará principalmente a los procesos del sector del departamento de emergencias por lo que procesos como el de diagnóstico por imágenes, laboratorio de diagnóstico, quirófano, registro para cirugía y registro para diagnóstico, quedan fuera del alcance del modelo.

Para realizar este estudio, se hace uso del software Anylogic, el cual permite la realización de un modelo de simulación que represente el funcionamiento del hospital Rocksoft, según las relaciones entre las variables y, mediante los datos provistos de prioridad de tratamiento, tasas de llegada de pacientes a los distintos sectores del hospital, los costos y la dotación de personal disponible, permite tener una aproximación del tiempo total que incurre un paciente desde su ingreso al establecimiento hasta su partida. Se observó que se puede reducir la tasa de mortalidad y aumentar el nivel de servicio tras modificar algunos de los recursos del hospital. Una solución que conlleva a una mejora significativa del funcionamiento del hospital se encuentra al usar seis salas de estándar, cuatro salas de terapia intensiva, dos doctores, dos enfermeras, tres técnicos de imágenes y un técnico de laboratorio.

Modelo conceptual

Descripción del problema

Tras 40 años de la inauguración de Rocksoft, la empresa se enfrenta a problemas en varios sectores como consecuencia del incremento de la demanda y los costos, en particular del DE. Actualmente Rocksoft está teniendo problemas en cumplir con el nivel de servicio apropiado, por lo ya mencionado, lo que termina afectando la percepción del hospital por parte de sus clientes, como también las ganancias del mismo. Se contrató a un equipo de consultoría para recomendar cambios en las operaciones del hospital a modo de lograr mejoras en el funcionamiento del mismo.

Las restricciones que se tienen en cuenta, y que se variarán son la cantidad de personal disponible (tanto doctores, como enfermeras, técnicos de laboratorio y de imágenes) y la cantidad de salas disponibles (tanto de trauma como salas estándar).

Objetivo

Se busca hallar un programa de dotación de personal alternativo para el DE y diagnósticos a modo de mejorar el servicio general con los niveles actuales de recursos adicionales. También se pretende encontrar un modo de planificar mejor las cirugías y diagnósticos programados para minimizar su impacto en emergencias. Finalmente, se busca disminuir el estándar de tiempo de atención desde puerta al tratamiento para pacientes críticos a menos de 12 minutos para al menos el 95% de los pacientes en esta condición.

Por otra parte, como conclusiones se busca conocer si es posible conseguir este objetivo únicamente mediante la utilización de los recursos ya disponibles, y sin disminuir la cantidad de pacientes que se tratan actualmente; o si por el contrario, necesariamente se deben considerar más recursos, siendo el costo parte de ellos.

Por último, dado que se prevé que el volumen aumente un 4% el próximo año para todas las categorías de pacientes, por lo que se busca mediante este análisis hallar el modo de hacer frente a esta variación y anticiparse, en lo posible sin afectar el servicio prestado a las otras categorías de pacientes. En caso de que estas se vieran afectadas, se necesitará obtener la medida en que lo harán.

Variables

Variables de Decisión

- Cantidad de salas de trauma
- Cantidad de salas estándar
- Cantidad de doctores
- Cantidad de enfermeras
- Cantidad de técnicos de laboratorio
- Cantidad de técnicos de imágenes

Variables de Estado



Figura 1: Diagrama IDEF₀ nivel A-0.

Variables de Referencia

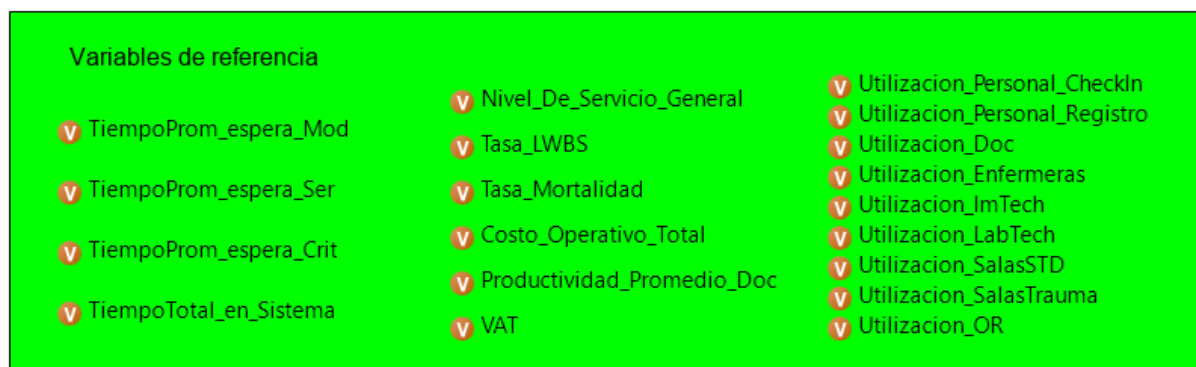


Figura 2: Diagrama IDEF₀ nivel A-0.

Variables aleatorias

Estas son variables sobre las cuales no se tiene un control directo dado que se comportan según la naturaleza del problema en estudio.

- **Tasa de arribo de pacientes**

- **Tiempo de espera**
- **Tiempo de consulta**
- **Tiempo de set up**

Entidades, Atributos y Recursos

Las entidades son objetos o componentes de un sistema que tienen una representación explícita en el modelo. En la creación de estas se define la frecuencia con la que llegan al sistema, las entidades pueden nacer, finalizar o permanecer indefinidamente en el sistema. Las entidades sufren transformaciones en el sistema a causa de una o varias actividades y para que esta transformación se lleve a cabo se emplean recursos, las entidades definidas en el sistema analizado son los pacientes, cada entidad tiene atributos definidos a partir de los cuales podrán categorizarse, estos atributos son los siguientes:

- Estado moderado
- Estado grave
- Estado crítico
- Pacientes internos
- Pacientes externos
- Cirugía de emergencia ED
- Cirugía de emergencia Internos
- Cirugía agendada

Los atributos permiten clasificar a los pacientes según el estado de gravedad, su origen (si provienen de la sala de emergencias o son pacientes externos) y si tienen cirugía agendada o de emergencia. Es posible ver las tasas de llegada de los pacientes según sus categorías en los anexos entre las tablas 2 a 4.

Los recursos son elementos permanentes del sistema y son empleados para realizar los correspondientes cambios a las entidades que los demandan, en este caso los recursos empleados son los siguientes:

- Doctores
- Enfermeras
- Técnicos de diagnóstico (lab)
- Técnicos de diagnóstico (imaging)
- Personal de registro
- Personal de limpieza
- Salas de trauma
- Salas estándar
- Salas de operación

El personal es fundamental para llevar a cabo las actividades demandadas por los pacientes, las enfermeras cumplen el rol de asistir a los doctores y revisar el estado general de los pacientes cuando estos llegan a una habitación disponible, el personal de registro es el encargado de registrar y de clasificar a los pacientes en base a su nivel de criticidad a su llegada a la sala de emergencias y los doctores tratan a los pacientes y los remiten a otras áreas según la examinación inicial, los doctores pueden remitir a los pacientes a cirugía, diagnóstico, ingreso al hospital o son dados de alta. Los técnicos de imagen y laboratorio se encargan de realizar los análisis necesarios para el diagnóstico de

los pacientes que fueron anteriormente remitidos por los doctores. Las salas de trauma, estándar y de operación son también recursos necesarios escasos, ya que, aunque exista personal disponible, las salas necesarias para llevar a cabo las actividades pueden seguir ocupadas, es el caso de una enfermera disponible que ya examinó a un paciente pero que no pueda examinar a otro paciente hasta que se libere una sala.

Los equipos de análisis de imagen y laboratorio son omitidos debido a que el recurso escaso serían los técnicos, se asume que cuando un técnico está disponible también lo están los equipos necesarios para el análisis. También se realiza el supuesto de que materiales como los de cirugía, instrumentos para examinación, espacios disponibles en la sala de espera, son recursos disponibles en todo momento y no son recursos prioritarios que modifiquen el funcionamiento del sistema.

Actividades y Eventos

Las actividades son sucesos que tienen un tiempo de duración asociado a un determinado proceso que puede requerir recursos o no, estos tiempos de duración pueden ser aleatorios y seguir una distribución estadística, pueden estar definidos por una distribución ad-hoc o pueden ser constantes. Podemos identificar las siguientes actividades para este sistema:

- Check-in
- Espera registro (si no es atendido se va al cono o expira)
- Registro
- Espera examinación
- Examinación ED
 - Preparación de la enfermera
 - Examinación del doctor
 - Espera para continuar
 - Espera diagnóstico en sala
 - Discusión de resultados de diagnóstico
 - Tratado por enfermera y dado de alta
 - Limpieza de la sala
- Diagnóstico
 - Diagnóstico imaging
 - Espera diagnóstico imaging
 - Resultados diagnóstico inmediato imaging prioridad 1
 - Resultados diagnóstico inmediato imaging otros
 - Diagnóstico lab
 - Espera diagnóstico lab
 - Resultados diagnóstico inmediato lab prioridad 1
 - Resultados diagnóstico inmediato lab otros
- Cirugía
 - Espera OR cirugía (si espera más de cierto tiempo expira o cancela cirugía)
 - Cirugía de emergencia
 - Cirugía agendada

Los eventos se distinguen particularmente de las actividades en el sentido de que se trata de una ocurrencia exógena (externa al modelo que se generó) que tendrá cierta incidencia al funcionamiento del simulador a posteriori. En este caso, los eventos quedarán limitados a uno solo: arribo de un paciente que necesita atención, como posteriormente se puede ver en la figura 5. A lo

sumo, si ese paciente necesitara distintos tipos de atenciones o cuidados, pero a nivel conceptual, el evento es tajantemente el propuesto.

Diagrama de proceso IDEF₀

El diagrama IDEF0 es una metodología que permite modelar decisiones, acciones y actividades de una organización o sistema con la finalidad de estructurar las distintas actividades y desglosarlas en sus subprocesos componentes de manera que se puedan identificar oportunidades de mejora. Cada cuadro representa una actividad con cuatro tipos de flechas: entradas, salidas, mecanismos (recursos) y controles. A continuación, se puede observar el diagrama IDEF₀ del sistema actual en sus niveles A-0 (top level) y A0 con la finalidad de mostrar el proceso general del sistema:

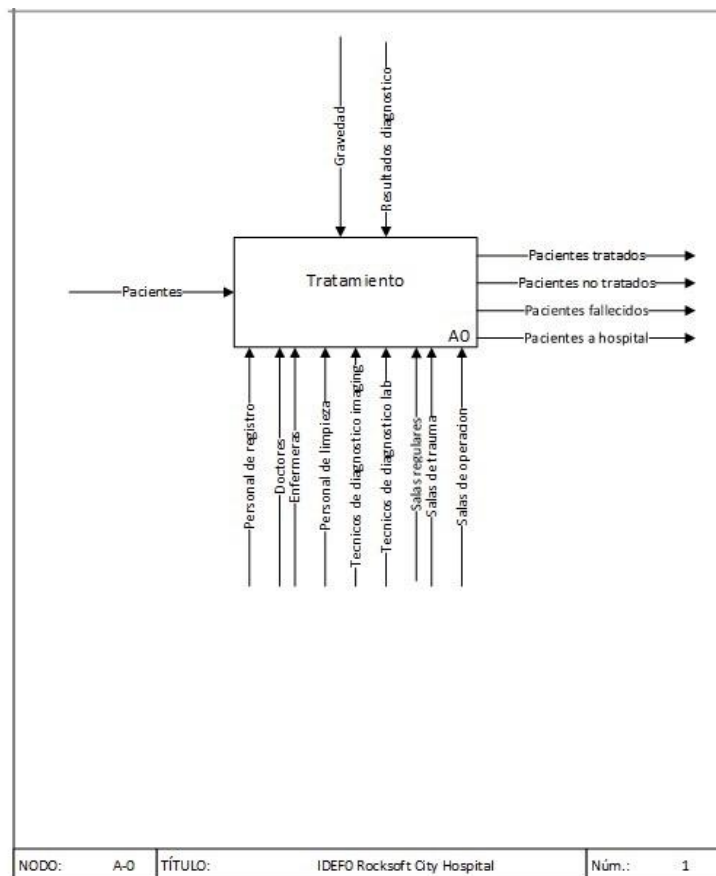


Figura 3: Diagrama IDEF₀ nivel A-0.

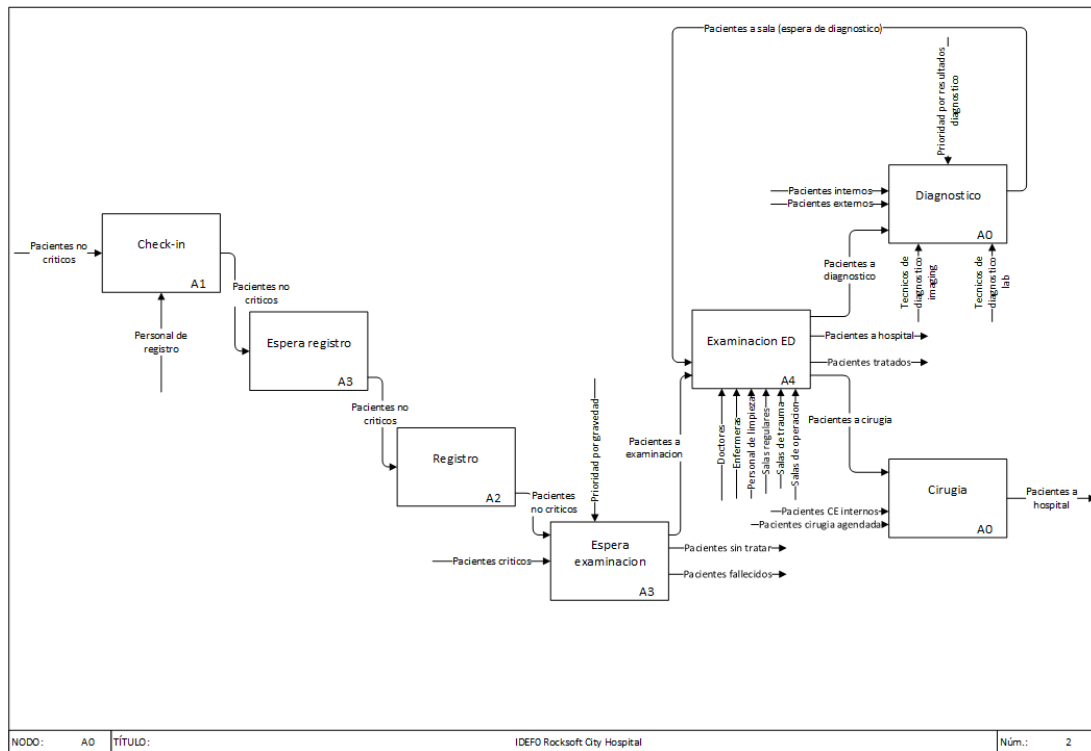


Figura 4: Diagrama IDEF₀ nivel A0.

Diagrama de lógicas del proceso

Las lógicas se dan en un instante y no ocurren actividades en ellas. En este diagrama se pueden apreciar las lógicas que son consultadas en distintas etapas de atención que el paciente va transitando y que se describen en el diagrama IDEF₀ o cuando ocurren distintos eventos.

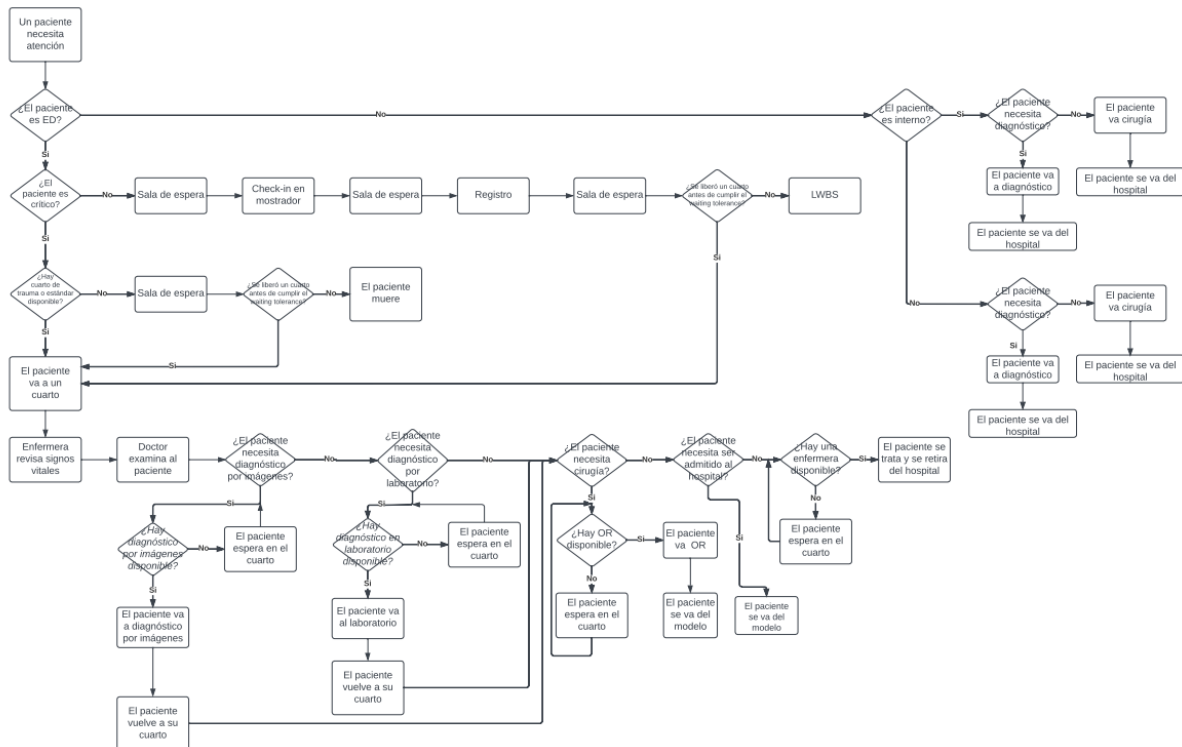


Figura 5: Flujoograma.

Plan de análisis

Se comienza con una evaluación actual de la situación a priori. Se simula el sistema con sus respectivas variables, recursos, entidades y atributos. Se modificarán las variables de decisión hasta cumplir con el objetivo. Para la realización del plan de análisis y cuadros se seleccionaron a salas extras y personal extra como variables de decisión y disminución porcentual del tiempo de espera y porcentaje de pacientes perdidos como las variables de referencia. La finalidad de esto es poder estimar a priori la relación de las variables antes mencionadas y de esta manera poder medir qué variables son más convenientes a la hora de formular cambios estructurales en la organización del hospital.

Plan de cuadros

A continuación se presenta el gráfico en el que se visualiza el impacto resultante de variar la cantidad de salas de atención en la tasa de mortalidad de pacientes. En un primer momento esta relación parecería prácticamente lineal, pero consideramos que se debe a la poca cantidad de salas que se pueden agregar.

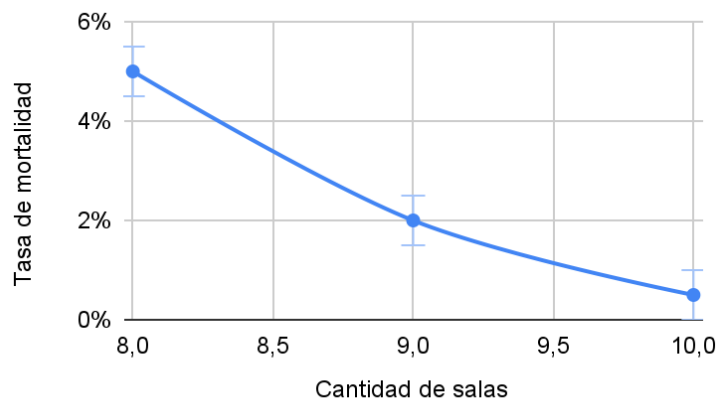


Figura 6: Tasa de mortalidad según cantidad de salas

Posteriormente se muestra el comportamiento del nivel de servicio en función de la cantidad de personal. Al aumentar la cantidad de personal en comparación a la que se tiene hasta el momento, se mejoraría el nivel de atención y satisfacción del cliente que acude al hospital, así como también el nivel de ingresos de Rocksoft. La tabla con los costos de personal se encuentran en el anexo tabla 13. Notar que estamos suponiendo una tasa de mortalidad extremadamente alta para los estándares actuales de los hospitales que se encontraban en torno a 1.48 pacientes por cada 1000 en 1997 y ha bajado hasta 0.77 por cada 1000. En nuestro caso, estamos suponiendo que bajo las condiciones actuales, el hospital se encuentra en una situación de mortalidad de emergencias en torno a 50 pacientes de cada mil, es decir, crisis absoluta.

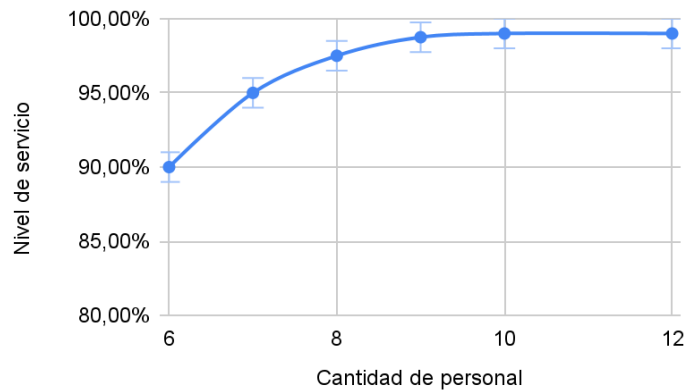


Figura 7: Nivel de servicio en función de la cantidad de personal

Modelo de datos y cuantificación

Análisis a priori

Para la obtención de un tiempo estimado entre entrada y salida de paciente en el hospital, así como también el nivel de servicio actual y la tasa de ocupación de las salas, se utilizó Microsoft Excel para efectuar un análisis a priori. Para este modelo simplificado supusimos que no hay pacientes externos para comprender el problema de emergencias.

Se aleatorizaron las entradas de los pacientes según las tasas provistas por las tablas 2 a 4 del anexo así como también parámetros como los tiempos de limpieza y consulta, entre otros. De esta manera se puede tener una buena noción del tiempo total al que se debería arribar.

Finalmente, se obtuvieron tiempos de espera menores para los pacientes critical, seguidos por los serious y finalmente por los moderate en orden creciente. Los valores de los tiempos de espera se acercan a los esperados con lo que se considera un correcto funcionamiento del sistema modelado.

Anylogic

Con los conocimientos adquiridos a lo largo de la realización del proyecto y poniendo foco en la priorización de la utilización de la menor cantidad de recursos posibles a fin de no sobrecargar el programa y lograr la mayor eficiencia posible, se procedió a la construcción del modelo de datos con el uso del software Anylogic. Para realizar esto se intentó compactar en la mayor medida posible el flujo de actividades, así como encontrar las formas más compactas de llevar a cabo tareas específicas.

Principales lógicas y bloques

Inicialmente se empleó el uso de schedules con lo cual se asignaron las tasas de pacientes que arriban al hospital según sus horarios correspondientes proporcionados por el enunciado a través de un source que emplea los schedules anteriormente mencionados.

El modelo tiene una duración de corrida de 1 mes (720 horas) se definieron 4 semanas para cada corrida con la finalidad de obtener datos más confiables, puesto que, dada la aleatoriedad de ciertas variables y los rates de llegada de los pacientes 1 semana se consideró como un tiempo insuficiente para analizar a profundidad el performance del hospital a medida que llegan pacientes semana tras semana, esto se analizó de forma empírica, sin embargo más adelante con la finalidad de definir el número de simulaciones se realizó un análisis estadístico con la finalidad de definir el

tamaño de la muestra necesaria. Cabe destacar que las tasas de arribos de pacientes se encuentran en horas y el resto de procesos que ocurren están fijados en minutos, es por este motivo que se definió la unidad de tiempo del modelo en horas de manera que pueda analizarse de forma más dinámica el efecto del arribo de los pacientes.

El modelo consta de 3 partes principales: Departamento de emergencias, internos de diagnóstico y cirugía y externos de diagnóstico y cirugía.

- **Departamento de emergencias:**

El departamento de emergencias consta de 3 ramas principales, cada rama representa el paso de un tipo de paciente a través del departamento de emergencias (moderate, serious y critical).

En la rama de moderate se simula todo el recorrido que desarrolla el paciente dentro del emergency department desde que entra al check in hasta que sale del ED, pasando por diagnóstico, cirugía, o terminando siendo tratado por la enfermera para ser dado de alta o ingresado al hospital.

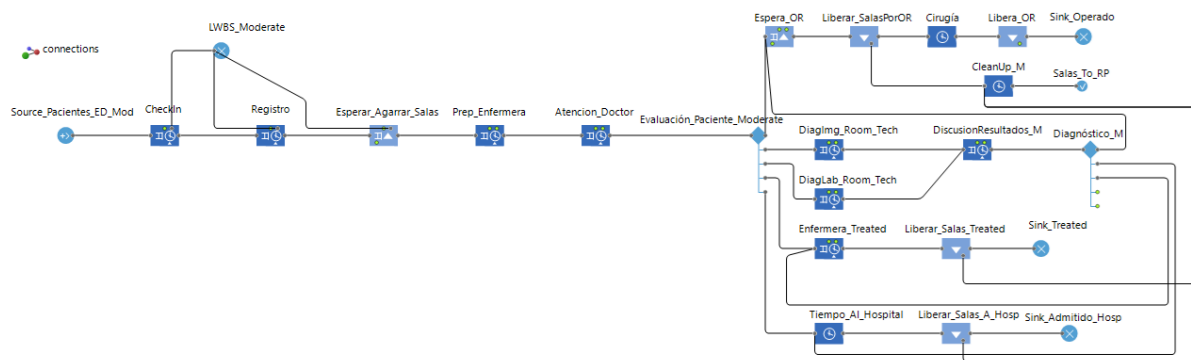


Figura 8: Rama primaria del modelo para pacientes moderados

Se crearon 5 agentes para los distintos tipos de pacientes: moderate, serious, critical, internos y externos (figura 9). A través de bloques “Service”, se representan actividades como check in, registro, preparación de la enfermera, atención del doctor, diagnóstico y cirugía como se puede visualizar en la figura 8, y sus respectivos tiempos de procesamiento y colas. Para lograr obtener una medición de tiempos se generó una entrada al sistema a través de “agent.Time_insys=time()”, en los service, y una salida en los sink con “outsyst”; y a su vez las entradas y salidas de las colas para la medición de tiempos de espera en cada queue, con inqueues y outqueues.

En el inicio de la rama puede observarse el sink LWBS (Leave Without Been Seen) que se conecta a los exit timeout de los correspondientes service que representan check in, registro y la asignación y cola para salas, en este punto los pacientes tienen un tiempo de tolerancia para esperar a tener el primer contacto con personal de atención médica, este tiempo de tolerancia es asignado como el exit timeout, los tiempos tanto de tolerancia como de atención o esperas fueron representados con las correspondientes funciones de distribución de probabilidad en base a los datos proporcionados en el enunciado, estas distribuciones puede observarse a detalle en los parámetros que representan a los tiempos establecidos.

Es posible observar igualmente la representación de la sala de operaciones, en este caso no fue posible emplear un service debido a que se emplea un release intermedio que libera la sala en la que espera el paciente mientras espera a ser llamado y admitido a una sala de operación, en esta ramificación puede observarse también la utilización de un bloque “resource task end” con la

finalidad de liberar el recurso “sala” una vez que es liberada por el paciente y se realiza el proceso de limpieza (representado por un delay). Finalizando el tramo inicial se empleó un select output 5 como condicional para establecer el siguiente destino de los pacientes que recibieron la atención inicial en el departamento de emergencias y cuyas proporciones y detalles como tiempos de atención o espera se encuentran establecidos en la tabla 1A del anexo con los datos obtenidos por rocksoft sobre el flujo de pacientes.

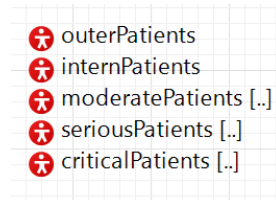


Figura 9: Agentes creados en la simulación

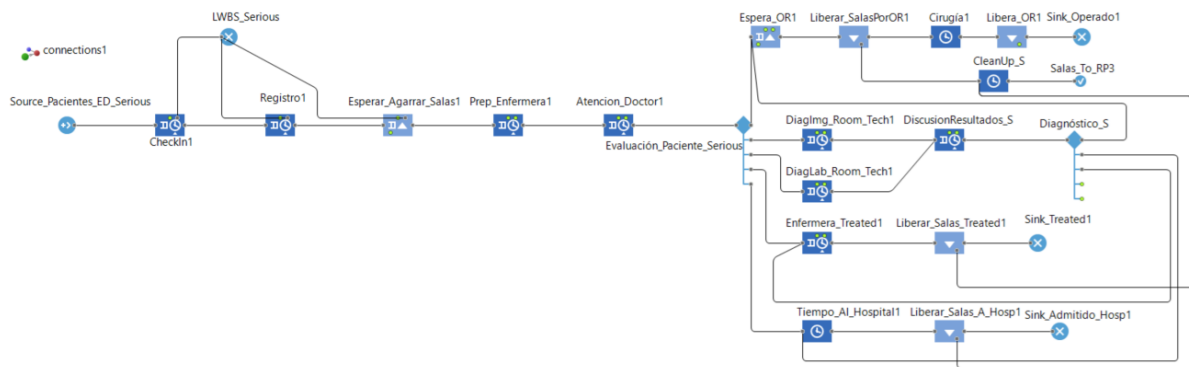


Figura 10: Rama primaria del modelo para pacientes serios

En la figura 10 es posible observar la segunda rama del departamento de emergencia que representa a los pacientes serious, esta rama se estructura de la misma forma que los pacientes moderate, con diferencias únicamente en los parámetros correspondientes a la categoría de pacientes representada.

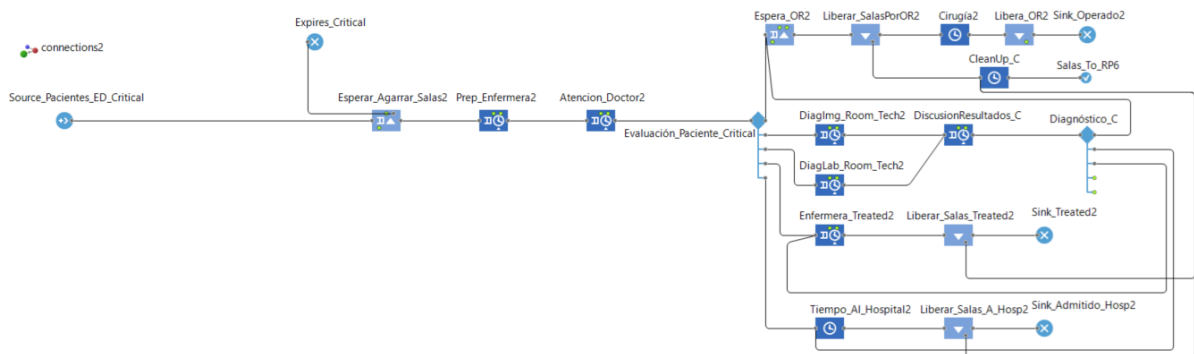


Figura 11: Rama primaria del modelo para pacientes críticos

Finalmente en la rama 3 se representa a los pacientes critical, en este caso la estructura de la rama difiere de las anteriores en que no presenta check in ni registro, ya que es paciente es admitido directamente a una sala si está disponible, si no es así espera a que una lo esté.

Para cada rama se emplean los bloques “resource pool” a partir de los cuales se definen los recursos disponibles en el sistema, estos recursos son asignados a cada rama según la prioridad establecida para cada tarea, siendo los más prioritarios los critical, seguidos por los pacientes internos

con cirugía de emergencia, los pacientes internos y externos de diagnóstico y cirugía (scheduled), luego los pacientes serious y por último los pacientes moderate con la prioridad más baja, las prioridades asignadas son equivalentes a las prioridades establecidas en los datos proporcionados por el enunciado, sin embargo por conveniencia y claridad se multiplicaron por un factor de 200.

- **Pacientes internos y externos:**

Estas dos ramas secundarias están destinadas al procesamiento de pacientes internos y externos al departamento de emergencia, quienes pueden requerir el uso de instalaciones como las de diagnósticos por imágenes, de laboratorio y cirugía; por lo que comparten recursos del hospital.

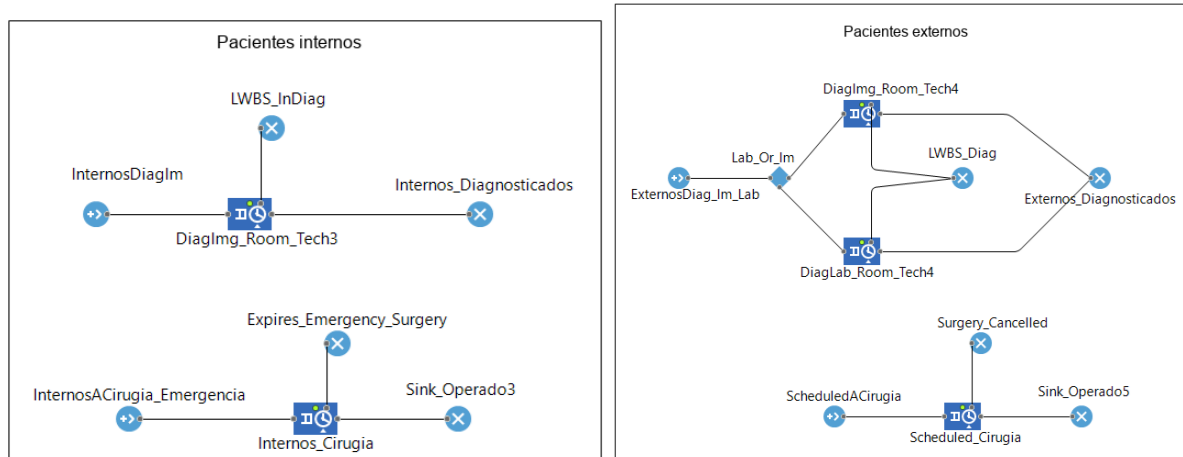


Figura 12: Ramas de pacientes internos y externos

Finalmente, se hizo uso de un parameters variation con el propósito de generar los diferentes escenarios propuestos. De esta manera el simulador va cambiando automáticamente los diferentes casos de variaciones en las variables de decisión para así medir el impacto que estos tienen sobre las variables de referencia.

Dificultades de codificación/Proceso de Debugging

A lo largo de la elaboración del simulador se encontraron varias dificultades en la codificación. Un caso resultó ser de qué manera ingresar las tasas de arribos, para lo cual surgió la solución de los schedules, que se debieron programar en base a los datos establecidos, en un principio se intentó codificar un sistema de prioridades con el fin de establecer las prioridades de los pacientes con mayor urgencia, afortunadamente antes de avanzar, mediante investigación de las funciones de los bloques service se observó que estos ya poseen un sistema de prioridades integrado. Para la variable de referencia “productividad promedio doctor hora” se debieron utilizar 2 eventos en paralelo desfasados entre sí 1h para poder calcular la diferencia de pacientes atendidos entre la hora actual y la hora anterior, en un inicio esto no pareció un desafío, sin embargo una vez puesto en marcha se observó que era necesario establecer variables auxiliares y los eventos anteriormente mencionados.

Otro inconveniente fue el de cómo calcular el tiempo de espera y el tiempo total en sistema de cada tipo de paciente con la finalidad de calcular el VAT (Value Added Time) que representa el porcentaje del tiempo total en sistema en el que los pacientes reciben atención, lo cual se resolvió inicialmente con un time measure start y time measure end, sin embargo optamos por medir el tiempo en el que cada agente entraba o salía de un service y el tiempo que tomaba en queues con agent.*variable en el agent*=time() lo cual nos pareció más flexible para hacer este cálculo y modificar la ejecución de manera que pudiésemos emplear estos tiempos para otros cálculos.

Simulación y experimentación

Período de Warm Up

Se debió incluir un tiempo de warm up a fin de eliminar las variaciones del sistema hasta llegar a un funcionamiento estacionario. En este caso, por escasez de tiempo en la realización de la presente entrega, no se lo incluyó. Igualmente se supone que con la toma de cuatro semanas de experimentación, este tiempo resulta poco significativo.

Stress Test

Para el ensayo de estrés se procedió a llevar al sistema a sus estados de funcionamiento más extremos, para esto se procedió analizar en orden decreciente de criticidad los siguientes escenarios y verificar los resultados de las variables de referencia en condiciones de estudio iniciales sin modificación, establecidas en la figura 13 para establecer un punto de comparación:



Figura 13: Resultados del test de estrés de las variables de referencia

- Eliminación de salas de trauma y reducción de salas estándar a 1: se consideró que el escenario en el que las salas de emergencias por cualquier motivo no estuviesen operativas y sólo se contase con 1 sala estándar podría ser especialmente crítico debido a la menor disposición de salas para atender a los pacientes critical, se esperaba un incremento significativo en las tasas de mortalidad del hospital así como una reducción abrumadora del nivel de servicio. Tal como se esperaba, como se puede observar en la figura 14 que representan los gráficos de evolución de las variables de referencia, puede notarse una tasa de mortalidad (expired) del 93% lo cual es extremadamente grave y no se amortigua ni siquiera por el sistema de prioridades en el que los critical reciben la mayor prioridad en el sistema, así mismo el nivel de servicio disminuye a rangos de entre 20% y 30% lo cual nuevamente es inaceptable, los valores finales de estas 2 variables de referencia analizadas fueron de 93% de mortalidad y 25% de nivel de servicio.

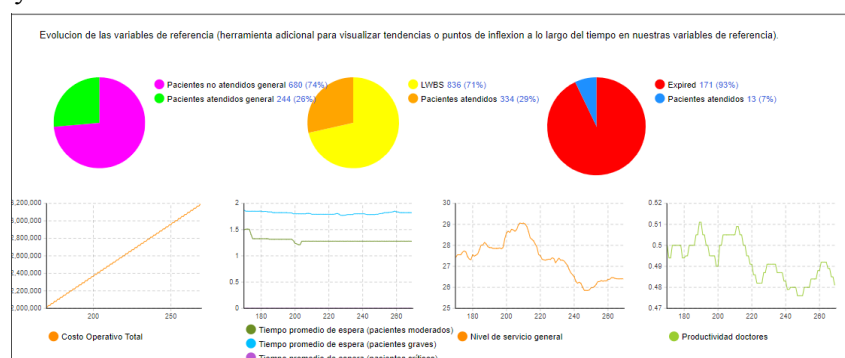


Figura 14: Gráficos de evolución de las variables de referencia

- Disminución de enfermeras en a 1: en este posible escenario se analiza el efecto de tener 1 enfermera en lugar de 2 con la finalidad de determinar qué tan adversos son los efectos, para este escenario se esperaba que no hubiesen cambios significativos debido que al correr el modelo en condiciones iniciales 1 solo doctor representa un cuello de botella importante y tal como se esperaba, si bien hubo una disminución en el nivel de servicio y un incremento en las tasas de mortalidad así como en los pacientes LWBS, para el primer caso la disminución fue de un 1.2% y para el segundo caso de un 2%, lo cual podría deberse a la variabilidad en el modelo y no nos lleva a sospechar que este cambio representa un caso con efectos considerablemente significativos.

Cálculo del número de corridas e intervalos de confianza

Se obtuvieron los resultados de las variables de referencia de 30 simulaciones iniciales que se decidieron realizar, y con ellos se procedió al cálculo del N óptimo para alcanzar un error máximo del 5% a través de la fórmula:

$$n \geq \left(\frac{z_{\frac{\alpha}{2}} * \sigma}{E} \right)^2$$

	Tiempo prom espera Mod	Tiempo prom espera Ser	Tiempo prom espera Crit	Nivel de servicio general	Tasa LWBS	Tasa de mortalidad	Costo operativo total	Productividad promedio
Xbarra	0.741	0.640	0.510	0.661	0.517	0.4	12163270	1.906
S	0.088	0.064	0.040	0.031	0.016	0.083	0.000	0.107
Z a dos colas 95%	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96
E	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
n mínimo	12	7	3	2	1	11	0	18
n min < 30 ?	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Lim. Sup	0.914	0.766	0.588	0.721	0.549	0.6	12163270	2.116
Lim. Inf	0.569	0.515	0.432	0.602	0.485	0.3	12163270	1.696

Tabla 1: Cálculos de Xbarra, desvío, Nmin e intervalos de confianza para cada VR

Cabe destacar que se cumple que todos los n mínimos quedan por debajo de 30, por lo que de esa manera se puede asegurar la muestra de N=10 considerada, es suficiente para lograr el error máximo considerado admisible del 5%.

El cálculo de los intervalos de confianza, se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$I.C = \bar{X} \pm Z_{(1-\frac{\alpha}{2})} * \sigma_x$$

Plan de experimentación

Se generaron una serie de 30 simulaciones para cada alternativa, con los rangos de variación detallados en la siguiente sección a tratar de este informe. A su vez, se determina si esta cantidad de simulaciones permite cubrir la precisión deseada. De no ser suficiente el número de repeticiones, se deberá aumentar el tamaño de la muestra.

En una primera instancia se llevó a cabo la simulación en las condiciones base; los resultados obtenidos permitirán realizar una comparación con los resultados de los diferentes experimentos. A continuación, se procedió a realizar las simulaciones variando los escenarios posibles.

A modo de establecer un parámetro del cual guiarnos y poder definir cual es la mejor solución, se generó un scoring, este scoring consiste en una ponderación basada en tres variables de referencia:

- Costo operativo total
- Tasa de mortalidad
- Nivel de servicio

Se les establecieron coeficientes para establecer la relevancia de la variable de referencia analizada en el scoring final, establecimos mayor relevancia a la tasa de mortalidad (que se busca que sea lo más baja posible), seguida del nivel de servicio (se busca que sea lo más alto posible) y finalmente el costo operativo total, como la variable de referencia de menor importancia en esta ponderación, dado que al tratarse de un hospital son vidas humanas las que están en juego, con lo cual los costos si bien son muy relevantes para mantener la operación lo consideramos el tercer factor más relevante, en la Tabla 2 podemos observar la prioridad ponderada y posteriormente se llevó esta ponderación a un valor de 1000 para el caso óptimo (esto a efectos de facilitar la visualización de diferencias en el scoring para los distintos escenarios).

Prioridad ponderada del 1 al 10			Max
8	10	5	23
Max value to 1000			Max
347.826087	434.7826	217.3913	1000

Tabla 2: Ponderaciones generadas para las variables de referencia.

Finalmente, se realiza un análisis de medias con la finalidad de hacer la selección de la mejor opción a considerar entre la 1, 2 y 3.

Variación de variables de decisión y automatización

Se hizo uso de un parameters variation con el propósito de generar los diferentes escenarios propuestos y de esta manera el simulador vaya realizando automáticamente las diferentes variaciones en las variables de decisión para así medir el impacto que estos tienen sobre las variables de referencia. De esta manera, se reduce al mínimo la cantidad de operaciones manuales a realizar.

Previo a comenzar la etapa de experimentación, se fijaron algunas limitaciones que no estaban estrictamente definidas por el hospital. Por ejemplo, se definió el límite de doctores y enfermeras a diez por cada tipo de profesional. Esta fijación se hace dado que no tendría sentido tener más de diez doctores o enfermeras ya que nunca podría ser requerido un décimo primer doctor debido que primero un paciente tiene que entrar a una sala. Esta secuencia lógico-temporal, hace más restrictivas a las

salas que a los doctores. De requerirse, quedaría siempre un médico ocioso, esto pudimos observar a partir de la utilización de los recursos.

Por otro lado se definió la cantidad de personal máximo según teoría de colas. Si bien comprendemos que la atención al paciente no es exponencial (como se usa en la teoría de colas), se tomaron los peores casos para hacer esta salvedad estadística. Con teorías de colas se determinó que bastaría con una persona en el área de registro para abastecer al hospital incluso en los peores picos de demanda posibles. El horario con el mayor λ que describe la llegada exponencial al sistema es el de las 15 hs a 18 hs donde la suma de los moderate patients y serious patients, que son aquellos que deben pasar por check-in y registro, es de 4 pacientes por hora. Se definió una atención exponencial de 8 minutos/paciente que es el extremo superior de la distribución original. Entonces, acorde a esta máxima llegada y al peor caso de atención, resulta que la probabilidad de que un paciente no sea atendido de inmediato tras llegar al hospital es de tan solo 11,23%.

Lo propio se hizo con el personal en check-in obteniendo un máximo sugerido de dos empleados ya que el tiempo máximo de atención es menor al de registro.

A su vez, se hizo un pequeño análisis por teoría de colas para los outpatients que requieren un análisis de sangre o diagnóstico de imágenes. Dicho análisis arrojó un valor de más de once técnicos para que no colapsara el sistema. Luego, se revisaron los schedules y notamos una aglomeración de los scheduled outpatients, a priori, arbitraria. Por esta razón, se decidió redistribuir equitativamente la programación de turnos de los pacientes externos que necesiten algún análisis de laboratorio. En cualquier caso, si existiera una complicación logística para hacerlo, debería discutirse el compromiso entre el costo logístico y el costo de poner once técnicos de laboratorio (como mínimo).

La tabla a continuación presenta los valores iniciales, medios y finales entre los que se variaron los experimentos:

VD	Min	Max	Step
Salas Estándar	6	8	1
Salas de Trauma	2	4	1
Cantidad de doctores	1	10	1
Cantidad de enfermeras	2	10	1
Técnico de imágenes	1	6	2
Técnico de laboratorio	1	5	2

Tabla 3: Experimentos según los distintos valores tomados por las variables de decisión.

El n obtenido del previo cálculo de tamaño de muestra es 10, pero se utilizó un valor de 30 debido a que es el número mínimo para poder considerar que los datos siguen una distribución normal según el teorema central del límite.

Resultados de la experimentación

Se modificó el schedule de outpatients diagnostics. Consideramos que siendo que todas las llegadas de diagnósticos se centran entre las 9 y las 15 hs de lunes a viernes y solo de 9 a 12 los días sábados (10 pacientes por hora en estos turnos), resulta importante programar dichas consultas a modo

que de lunes a viernes se redistribuye dicha llegada a una tasa de 5 pacientes por hora en un rango horario de 6 a 18 hs (4 turnos en lugar de 2) y los días sábados, trabajando en el mismo rango horario, se obtendría una tasa de arribos de 2.5 pacientes por hora en 4 turnos, esto fue posible gracias a que los outpatients son recibidos con cita previa según los datos del enunciado, de manera que estas citas pueden redistribuirse para disminuir la tasa de llegada de pacientes que estresan el sistema en los turnos ya mencionados.

Del mismo modo, se modificó el schedule de turnos de operación externos y resultó de la siguiente manera:

Scheduled corrected								
Day	0000-0300	0300-0600	0600-0900	0900-1200	1200-1500	1500-1800	1800-2100	2100-2400
Monday	0.2	0.15	0.05	0	0.05	0	0.2	0.2
Tuesday	0.2	0.15	0.05	0	0.05	0	0.2	0.2
Wednesda	0.15	0.15	0.05	0	0.05	0	0.2	0.2
Thursday	0.15	0.15	0.05	0.05	0.05	0.05	0.2	0.2
Friday	0.15	0.15	0.05	0.05	0.05	0.05	0	0
Saturday	0.05	0.05	0.05	0.05	0	0	0	0
Sunday	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.2	0.2

Tabla 4: Schedule obtenido.

La suma de llegadas a cirugía (sin contar cirugías de pacientes moderate que son despreciables) pasó entonces de la distribución que se muestra en la tabla 5 a la que se muestra en la tabla 6:

Day	0000-0300	0300-0600	0600-0900	0900-1200	1200-1500	1500-1800	1800-2100	2100-2400
Monday	0.054	0.054	0.182	0.204	0.160	0.203	0.054	0.054
Tuesday	0.054	0.054	0.982	1.004	0.160	0.203	0.054	0.054
Wednesda	0.054	0.054	0.982	1.004	0.160	0.203	0.054	0.054
Thursday	0.054	0.054	0.982	1.004	0.160	0.203	0.054	0.054
Friday	0.054	0.054	0.182	0.204	0.160	0.203	0.263	0.263
Saturday	0.201	0.201	0.182	0.204	0.424	0.467	0.263	0.263
Sunday	0.199	0.199	0.182	0.204	0.204	0.204	0.054	0.054

Tabla 5: Schedule original del sistema de llegadas a cirugía

Day	0000-0300	0300-0600	0600-0900	0900-1200	1200-1500	1500-1800	1800-2100	2100-2400
Monday	0.254	0.204	0.232	0.204	0.210	0.203	0.254	0.254
Tuesday	0.254	0.204	0.232	0.204	0.210	0.203	0.254	0.254
Wednesda	0.204	0.204	0.232	0.204	0.210	0.203	0.254	0.254
Thursday	0.204	0.204	0.232	0.254	0.210	0.253	0.254	0.254
Friday	0.204	0.204	0.232	0.254	0.210	0.253	0.263	0.263
Saturday	0.251	0.251	0.232	0.254	0.424	0.467	0.263	0.263
Sunday	0.249	0.249	0.232	0.254	0.254	0.254	0.254	0.254

Tabla 6: Schedule final del sistema de llegadas a cirugía

Esto se hizo de manera tal, de reducir las desviaciones de los tiempos medios de llegada a cirugía de todos los horarios.

A su vez, se observó que si bien la consigna nos restringe por motivos de espacio físico una cantidad máxima de 10 salas, en caso de poderse superar dicha cantidad la tasa de mortalidad bajaría significativamente con la siguiente configuración: Si se aumenta la cantidad de doctores a 10, 10 enfermeras, 1 personal de registro, 1 en check-in, 6 técnicos de imágenes y 5 técnicos de laboratorio y

la cantidad de salas estándar a 10 y 10 las de trauma, el nivel de servicio ronda entre el 97% y 100% (para esto utilizamos parameter variation) y la tasa de mortalidad cae a valores inferiores al 3%, por supuesto los costos se ven incrementados significativamente con esta cantidad de recursos pero se considera importante comprender para qué niveles de recursos se alcanza un nivel de servicio y tasa de mortalidad dentro de lo requerido.

Considerando los coeficientes presentados anteriormente para la realización del scoring entre los 3 escenarios propuestos, y dándole mayor relevancia a la tasa de mortalidad, luego al nivel de servicio y por último al costo operativo, como ya se ha mencionado, se obtuvieron los siguientes resultados:

Opción	Salas STD	Salas Trauma	Doctores	Enfermeras	Técnico Img	Técnico Lab	Nivel de servicio general	Tasa de mortalidad	Costo operativo total	Puntaje
Corrida base	6	2	1	2	1	1	66,1%	40%	12.163.270	651,08
1	6	4	2	2	3	1	80,91%	15,58%	17.635.515	763,87
2	7	3	2	2	3	1	83,99%	25,06%	16.525.565	754,06
3	6	4	3	3	3	3	81,78%	15,31%	18.573.349	750,60

Tabla 7: Resultados obtenidos de las experimentaciones.

La tabla 7 muestra las opciones con el mayor scoring de todas las opciones analizadas, para este caso elegimos los 3 mejores escenarios. A su vez, se discutió la injerencia del agregado de doctores en la tasa de mortalidad, pero rápidamente se notó que no mejoraba, incluso si se duplica o triplica la cantidad de doctores y enfermeras, cabe destacar que realizamos la experimentación automatizando parameters variation pero corriendo el modelo para una cantidad fija e igual de doctores y enfermeras de 1 a 10 con un incremento de 1, en primera instancia esto se realizó para disminuir la cantidad de experimentos necesarios basándose en que al realizar un análisis de regresión lineal múltiple para los efectos de doctores y enfermeras sobre las variables de referencia se encontró que no había interacción entre dichas variables de decisión, de manera que es posible variarlas de forma independiente, el motivo por el que mantuvimos el número de doctores y enfermeras iguales se debe a que atienden aproximadamente el mismo rate de pacientes con tiempos de atención similares y al correr varias veces el experimento se observa que agregar una cierta cantidad de unidades de enfermeras por encima de la cantidad de doctores no hace una diferencia significativa, igualmente para el caso contrario.

La siguiente tabla muestra la estagnación de la tasa de mortalidad a pesar de un aumento importante de profesionales.

Opción	Salas STD	Salas Trauma	Doctores	Enfermeras	Técnico Img	Técnico Lab	Nivel de servicio general	Tasa de mortalidad	Costo operativo total	Puntaje
Mejor opción con siete doctores y enfermeras	6	4	7	7	3	1	81,70%	16,26%	18.572.815,00 €	746,17

Tabla 8: Los mejores resultados con siete doctores y enfermeras.

Análisis de resultados en condiciones iniciales

Al realizar la simulación para un $n=30$ una vez se verificó que el mismo era suficiente para obtener resultados lo suficientemente confiables se obtuvieron los resultados de las medias y los límites de confianza referenciados en la tabla 1 para las variables de referencia con las condiciones iniciales de estudio (con valores de parámetros y variables de decisión con valores por defecto establecidos en el enunciado del problema), en primera instancia al observar algunos de los principales indicadores de la calidad del servicio ofrecido por rocksoft podemos ver que el nivel de servicio general (pacientes atendidos vs pacientes que arribaron) es del 66% con límites inferior y superior de 60.2% y 72% lo cual resulta inaceptable dada la criticidad del servicio ofrecido inclusive si se observa el límite superior únicamente, así mismo la tasa de mortalidad (por causas de servicio ineficiente) es de media 40% con límites inferior y superior de 30% y 60%.

Esto, claramente es inaceptable y representa una situación crítica, que si bien está representada en el nivel de servicio general nos ofrece detalles sobre la cantidad de pacientes que fallecen por no ser atendidos a tiempo, lo cual nos brinda un panorama más claro de qué tan grave es la situación de rocksoft, así mismo observando otras variables de referencia como lo son la tasa de pacientes LWBS observamos claras deficiencias en el servicio, los tiempos de espera promedio tienen una media de 0.741, 0.640 y 0.510 con los intervalos de confianza especificados en la tabla 8, si bien no podemos asegurar que las medias sean diferentes entre sí sin realizar un test de comparación de medias, los valores observados nos dan un indicio de que los tiempos de espera mayores podrían atribuirse a los pacientes moderate, posteriormente a los serious y por último a los critical, lo cual se condice con las prioridades establecidas, estos tiempos de espera son especialmente sensibles para los pacientes critical que por el grado de urgencia tendrían que ser atendidos sin espera alguna, por último la productividad promedio por hora por doctor nos brinda una primera visión de las tasas de atención inicial de los pacientes, con una media de 1.906 pacientes por doctor por hora, con los intervalos de confianza establecidos, lo cual a priori nos brinda un indicador importante para conocer y comparar las tasas de atención entre el personal estudiado pero que sin más análisis no nos brinda certeza sobre el estado general del servicio brindado por Rocksoft, por lo mencionado anteriormente podemos tener una idea inicial bastante clara de que Rocksoft no está cumpliendo con los estándares de atención esperada para una institución con tal nivel de importancia, de manera que a partir de la modificación de las variables de decisión se espera realizar nuevos experimentos para establecer las soluciones con mejores resultados para llevar a rocksoft a niveles de servicio estándar y de ser posible, ejemplares para la industria.

Análisis de resultados con las modificaciones realizadas

Los resultados obtenidos, considerando el tamaño de muestra de $N=30$ obtenido fueron los siguientes:

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias		EE de IC de 95%	Valor p	
				Valor T	ajustado
2 - 1	3.079	0.808	(1.153, 5.005)	3.81	0.001
3 - 1	0.865	0.808	(-1.061, 2.791)	1.07	0.535
3 - 2	-2.214	0.808	(-4.140, -0.288)	-2.74	0.020

Nivel de confianza individual = 98.06%

Tabla 9: Resultados obtenidos del test One way ANOVA para el NS.

Se realizó un análisis ANOVA de la variable nivel de servicio (NS). Los resultados pueden verse en la tabla 5A. El p-value del ANOVA otorgó un valor de 0.000. Por otro lado, las pruebas simultáneas de Tukey para las diferencias de las medias otorgan un nivel ajustado de p menor a 0.05 entre la opción 1 y 2, y entre la 3 y 2. Se puede decir que las medias de los niveles de servicios son diferentes entre la opción 2 y 1 y la 2 y 3 al 95% de confianza. En lo que refiere al nivel de servicio, la mejor opción a considerar es la opción 2. Se recuerda que el caso base tenía una media de nivel de servicio de 0.661 ± 0.059 .

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
2 - 1	0.0948	0.0162	(0.0562, 0.1334)	5.85	0.000
3 - 1	-0.0028	0.0162	(-0.0414, 0.0359)	-0.17	0.984
3 - 2	-0.0975	0.0162	(-0.1362, -0.0589)	-6.02	0.000

Nivel de confianza individual = 98.06%

Tabla 10: Resultados obtenidos del test One way ANOVA para el TM.

De igual manera se realizó un análisis one way ANOVA para comparación de medias de las tasas de mortalidad de las 3 mejores opciones establecidas inicialmente, podemos observar que para las opciones 3 y 1 el test es no significativo, por lo que no existe evidencia suficiente para asegurar que las medias de las tasas de mortalidad para los escenarios 3 y 1 son distintas entre sí, por otra parte el test dio significativo entre las opciones 1-2 y 3-2, de manera que podemos descartar la opción 2 en el contexto del análisis de la tasa de mortalidad, no nos sería posible concluir en base a este análisis que las opciones 3 y 1 sean distintas entre sí, por lo que podemos seguir considerándolas.

Conclusiones y recomendaciones

Terminada la experimentación y análisis de resultados, se puede concluir que las mejores opciones son la uno y la tres por sobre la dos en lo que respecta a la priorización de una minimización de la tasa de mortalidad. A su vez, no comprometen el nivel de servicio y el costo de operación. Sin embargo, la opción uno es la mejor debido a que por más que no se puede concluir, significativamente, que su nivel de servicio es mejor que la tres, su costo de operación si es significativamente menor.

De todas maneras, todas las opciones de recursos a modificar tienen que ser acompañados por un cambio del schedule de los outpatients para análisis por imágenes y de laboratorio.

Con respecto a los objetivos establecidos, para disminuir el tiempo *until first seen* de los pacientes critical a 12 minutos, al realizar la experimentación y los correspondientes análisis estadísticos, llegamos a la conclusión de que es necesario superar el límite físico establecido para la cantidad de salas de trauma (exclusiva para los pacientes critical) a 5 junto con un incremento de doctores y enfermeras a 6, de esta manera es posible disminuir el tiempo until first seen por debajo de los 12 minutos con un nivel de confianza del 95%.

Sobre la modificación de los schedules de diagnóstico y cirugía, con el modelo base se observó que una redistribución de schedules no hacía una diferencia estadísticamente significativa, esto se debe a que los cuellos de botella eran tan significativos para el modelo base que una modificación del horario de llegada no hacía una diferencia, tanto el nivel de servicio como la tasa de

mortalidad no presentaron un cambio de media estadísticamente significativa, sin embargo, una vez establecido el modelo con la mejor ponderación, al realizar el cambio de schedule sí se observaron cambios estadísticamente significativos y además bastante importantes en la media tanto del nivel de servicio como de las tasas de mortalidad

Bibliografía

- IIE/RA Contest Problems - Twelfth Annual Contest: Rocksoft City Hospital
- Tutoriales de Anylogic, cátedra de Investigación de Operaciones II, ITBA (2022)
- Anylogic help: <https://anylogic.help/anylogic/data>
- Soporte de microsoft sobre la utilización de funciones <https://support.microsoft.com/es-es/office>
- Apuntes tomados en clase Investigación de Operaciones II, ITBA (2022)

Anexo

Table 1. Treatment Priority and Waiting Tolerance by Patient Type

Patient Type	Treatment Priority (1=most important)	Waiting Tolerance (minutes)	Action After Waiting Tolerance
Moderate-ED	5	120-180	LWBS
Serious-ED	2	90-240	LWBS
Critical-ED	1	60-120	Expires
Inpatient Diagnostic	4	180-360	LWBS
Outpatient Diagnostic	4	45-120	LWBS
Emergency Surgery	1	60-120	Expires
Scheduled Surgery	4	180-360	Surgery cancelled

Table 2. Moderate ED Patient Arrival Rates

Day of Week	Arrival Rate (Patients per Hour) During Time Period					
	0000-0600	0600-0900	0900-1200	1200-1500	1500-1800	1800-2400
Monday-Thursday	0.1	1	2	1	2	0.1
Friday	0.1	1	2	1	2	1
Saturday	0.5	1	2	1	2	1
Sunday	0.5	1	2	1	1	0.1

Table 3. Serious ED Patient Arrival Rates

Day of Week	Arrival Rate (Patients per Hour) During Time Period					
	0000-0600	0600-0900	0900-1200	1200-1500	1500-1800	1800-2400
Monday-Thursday	0.5	0.5	1	1	2	0.5
Friday	0.5	0.5	1	1	2	1.5
Saturday	1.2	0.5	1	1	2	1.5
Sunday	1.1	0.5	1	1	1	0.5

Table 4. Critical ED Patient Arrival Rates

Day of Week	Arrival Rate (Patients per Hour) During Time Period					
	0000-0600	0600-0900	0900-1200	1200-1500	1500-1800	1800-2400
Monday-Thursday	0.3	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3
Friday	0.3	0.5	0.5	0.3	0.3	2.0
Saturday	1.5	0.5	0.5	1.5	1.5	2.0
Sunday	1.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3

Table 5. ED Processing Data

Patient Type	Nurse Prep Time (minutes)	Doctor Exam Time (minutes)	Cleanup Time (minutes)
Moderate-ED	5-10	5-10	2-8
Serious-ED	5-7	5-15	3-9
Critical-ED	3-7	5-25	5-20

Table 6. Patient Treatment Plan/Disposition after Doctor Consultation

Disposition After Doctor Consult	ED Moderate		ED Serious		ED Critical		Notes
	Initial Service	Final Service	Initial Service	Final Service	Initial Service	Final Service	
Diagnostic Images	20%	n/a	25%	NA	40%	NA	Returns to same room after completion.
Diagnostic Lab Work	15%	n/a	20%	NA	40%	NA	Returns to same room after completion.
Surgery	0%	1%	3%	3%	10%	15%	Patient enters first available OR and follows normal surgical procedure.
Admitted to Hospital	2%	7%	8%	14%	6%	75%	Patient leaves room (and model) after an average wait of 45 minutes (exponential distribution).
Treated and Discharged	63%	92%	44%	83%	4%	10%	Patient leaves room after treatment time by nurse of 10-30 minutes.

Table 7. Emergency Surgery Arrival Rates

Day of Week	Arrival Rate (Patients per Hour) During Time Period					
	0000-0600	0600-0900	0900-1200	1200-1500	1500-1800	1800-2400
All	0.02	0.05	0.05	0.05	0.05	0.02

Table 8. Scheduled Surgery Arrival Rates

Day of Week	Arrival Rate (Patients per Hour) During Time Period					
	0000-0600	0600-0900	0900-1200	1200-1500	1500-1800	1800-2400
Tuesday	0	0.8	0.8	0	0	0
Wednesday	0	0.8	0.8	0	0	0
Thursday	0	0.8	0.8	0	0	0
Other Days	0	0	0	0	0	0

Table 9. Inpatient Diagnostics Arrival Rates

Day of Week	Arrival Rate (Patients per Hour) During Time Period					
	0000-0600	0600-0900	0900-1200	1200-1500	1500-1800	1800-2400
Monday-Friday	0	5	3	2	0	0
Saturday	0	1	1	1	0	0
Sunday	0	1	1	1	0	0

Table 10. Outpatient Diagnostics Arrival Rates

Day of Week	Arrival Rate (Patients per Hour) During Time Period					
	0000-0600	0600-0900	0900-1200	1200-1500	1500-1800	1800-2400
Monday-Friday	0	0	10	10	0	0
Saturday	0	0	10	0	0	0
Sunday	0	0	0	0	0	0

Table 11. Monday through Sunday Staffing

Position	Personnel on Duty During Time Period					
	0000-0600	0600-0900	0900-1200	1200-1500	1500-1800	1800-2400
ED Doctors	1	1	1	1	1	1
ED Nurses	2	2	2	2	2	2
Lab Tech	1	1	1	1	1	1
Imaging Tech	1	1	1	1	1	1
Registration	1	1	1	1	1	1

Table 12. Facility Operating and Capital Costs

Room Type	Operating Costs/Hr	Capital Costs (new)
Registration	\$25	\$20,000
Standard Room	\$450	\$175,000
Trauma Room	\$1400	\$600,000
Operating Room	\$3400	\$1,000,000
Imaging	\$360	\$750,000
Lab	\$285	\$125,000

Table 13. Staff Hourly Cost Including Overhead

Staff Type	Burdened Costs/Hr
Doctor	\$175
Nurse	\$85
Image Technician	\$75
Lab Technician	\$62
Registration	\$43

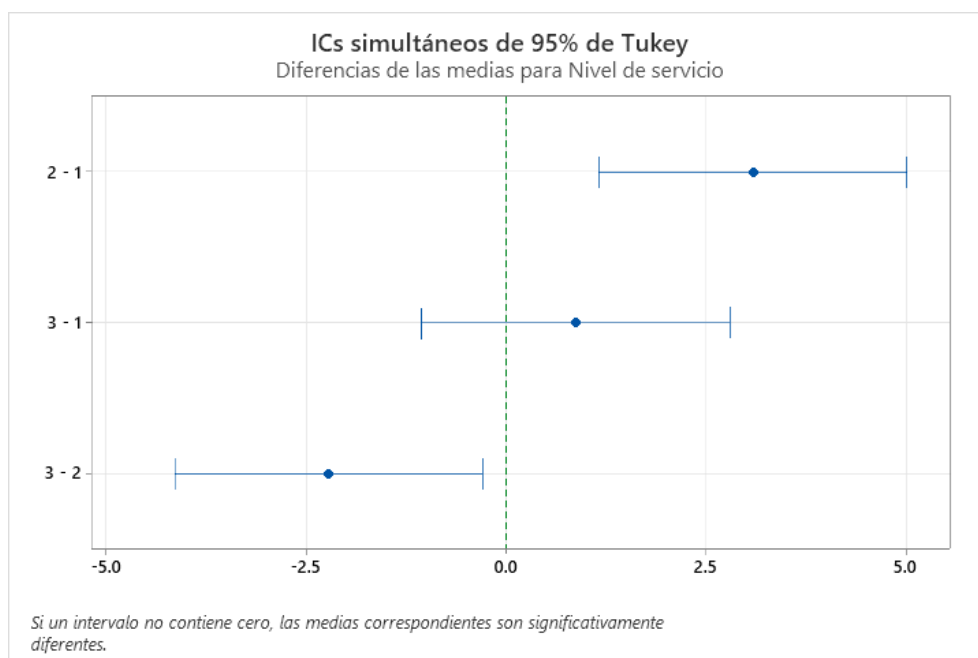


Tabla 1A: One way ANOVA para comparación de medias del nivel de servicio.

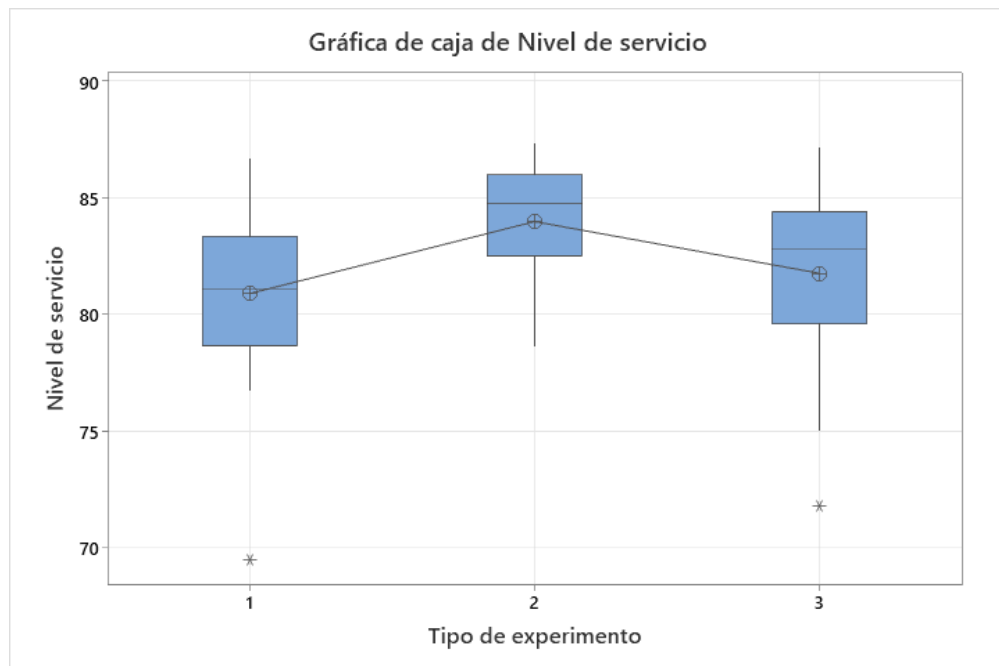


Tabla 2A: One way ANOVA para el nivel de servicio.

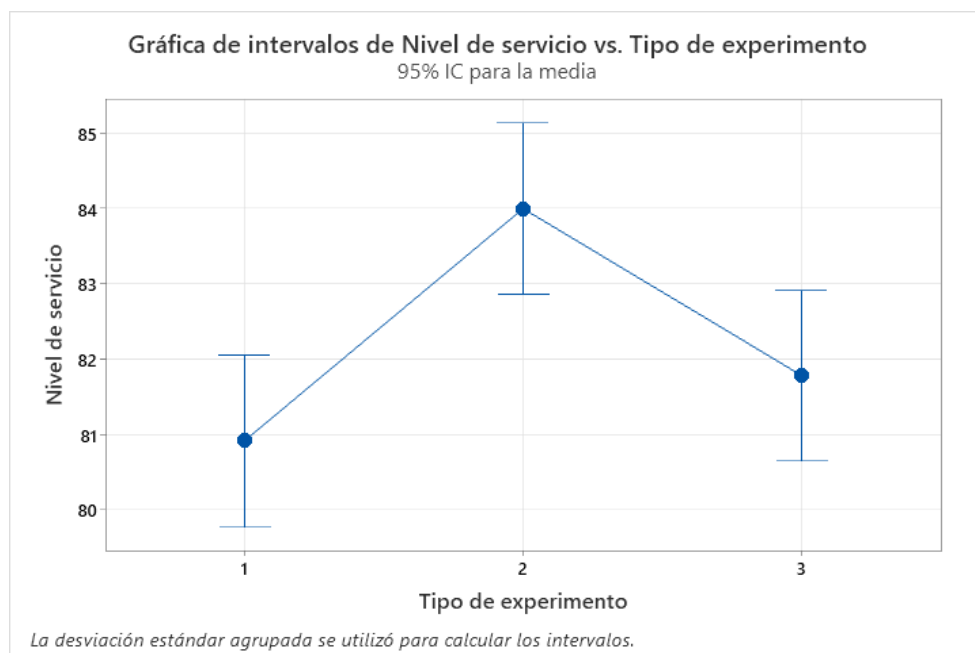


Tabla 3A: One way ANOVA para comparación de medias entre NS vs tipo de experimento.

Medias

Tipo de experimento	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	30	80.915	3.354	(79.779, 82.051)
2	30	83.994	2.473	(82.858, 85.130)
3	30	81.780	3.468	(80.644, 82.916)

Desv.Est. agrupada = 3.13026

Tabla 4A: Resultados obtenidos del test One way ANOVA para el NS.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia		Diferencia		Valor p	
Diferencia de niveles	de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T ajustado	
2 - 1	3.079	0.808	(1.153, 5.005)	3.81	0.001
3 - 1	0.865	0.808	(-1.061, 2.791)	1.07	0.535
3 - 2	-2.214	0.808	(-4.140, -0.288)	-2.74	0.020

Nivel de confianza individual = 98.06%

Tabla 5A: Resultados obtenidos del test One way ANOVA para el NS.

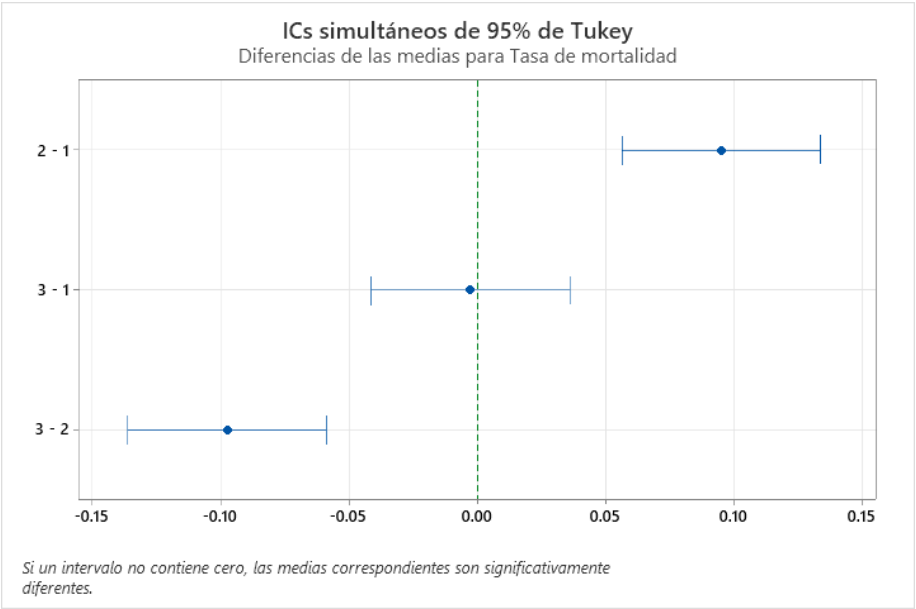


Tabla 6A: One way ANOVA para comparación de medias de la tasa de mortalidad.

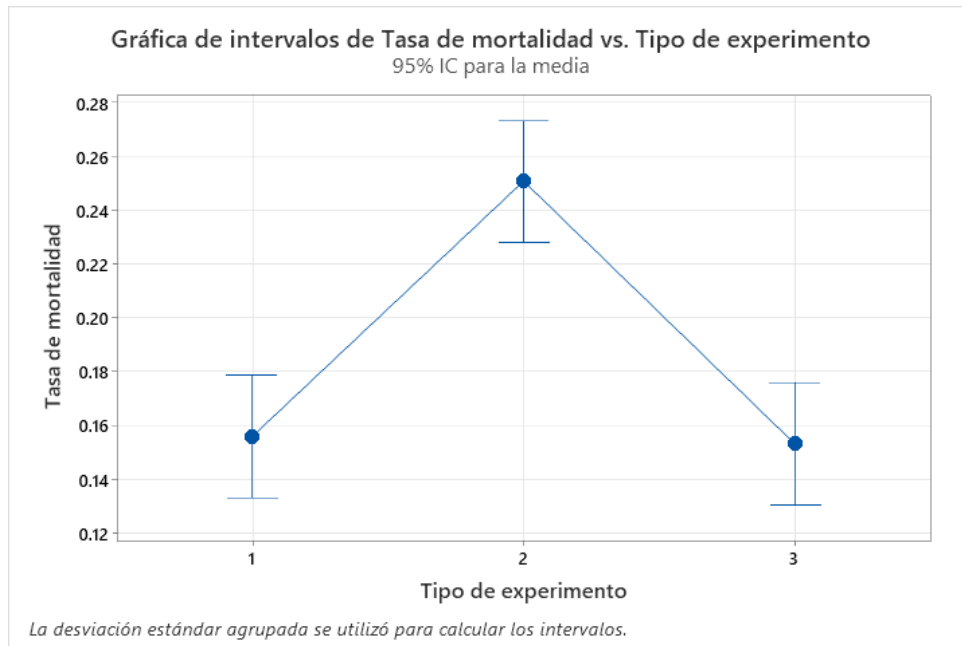


Tabla 7A: One way ANOVA para comparación de medias entre TM vs tipo de experimento.

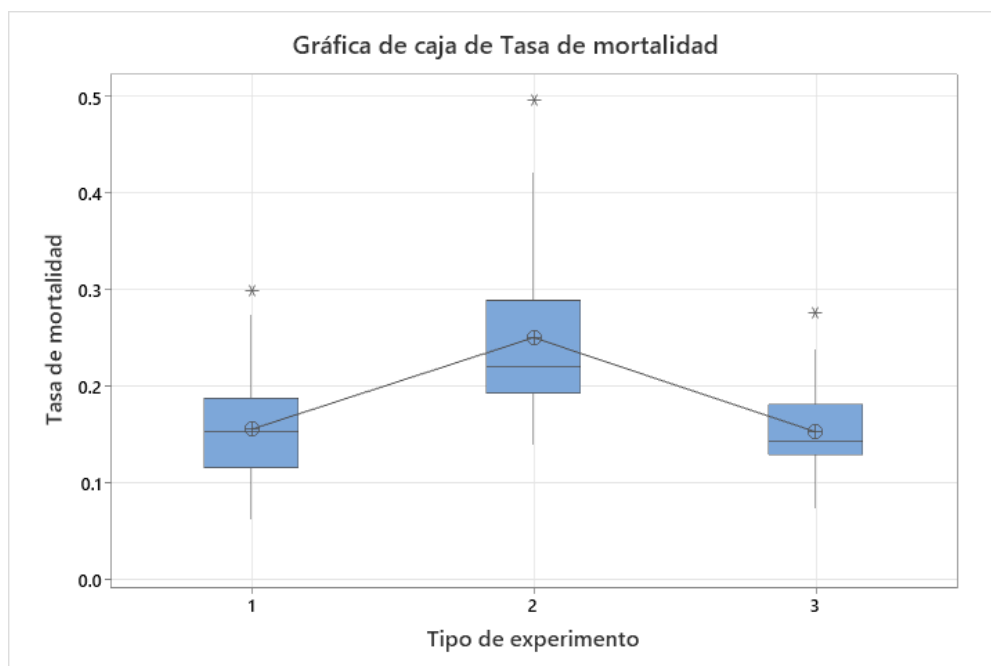


Tabla 8A: One way ANOVA para la tasa de mortalidad.

Medias

Tipo de experimento	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	30	0.15584	0.05327	(0.13305, 0.17862)
2	30	0.2506	0.0837	(0.2278, 0.2734)
3	30	0.15307	0.04448	(0.13029, 0.17585)

Desv.Est. agrupada = 0.0627842

Tabla 9A: Resultados obtenidos del test One way ANOVA para la TM.

Costo operativo total
17.635.515,00 €
16.525.565,00 €
18.573.349,00 €

Tabla 10A: Costos operativos totales para los 3 tipos de experimentos realizados.