

DECANATURA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
FORMATO DE ENTREGA TRABAJO DE GRADO

Fecha de entrega: 8 de Julio del 2020

Estudiante: Bryan David Alarcón Medina

Director: Carlos Rodrigo Ruiz

Codirector:

El presente documento avala la entrega del trabajo de grado por parte del director y codirector.

Documentos anexos

Copia digital del Trabajo de Grado (1)

Estudiante

Director

Simheurística para la programación del personal de limpieza y desinfección en el sector hospitalario

Bryan David Alarcón Medina
Ingeniero Industrial

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Decanatura de Ingeniería Industrial
Maestría en Ingeniería Industrial
Bogotá D.C., Colombia
2020

Simheurística para la programación del personal de limpieza y desinfección en el sector hospitalario

Bryan David Alarcón Medina
Ingeniero Industrial

Trabajo de investigación para optar al título de
Magíster en Ingeniería Industrial

Director
Carlos Rodrigo Ruiz
Ingeniero Industrial, M. Sc.

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Decanatura de Ingeniería Industrial
Maestría en Ingeniería Industrial
Bogotá D.C., Colombia
2020

© Únicamente se puede usar el contenido de las publicaciones para propósitos de información. No se debe copiar, enviar, recortar, transmitir o redistribuir este material para propósitos comerciales sin la autorización de la Escuela Colombiana de Ingeniería. Cuando se use el material de la Escuela se debe incluir la siguiente nota “Derechos reservados a Escuela Colombiana de Ingeniería” en cualquier copia en un lugar visible. Y el material no se debe notificar sin el permiso de la Escuela.

Publicado en 2020 por la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Avenida 13 No 205-59 Bogotá. Colombia
TEL: +57 – 1 668 36 00

Agradecimientos

A mi familia por su apoyo y compañía en todo momento. A mi director M.Sc. Carlos Rodrigo Ruiz por sus pautas y consejos durante la formulación de esta tesis, así como por su inagotable paciencia en el desarrollo de este proyecto, su disponibilidad de tiempo en el asesoramiento y guía durante el mismo. A la empresa Compass Group Services Colombia S.A por permitirme realizar este proyecto especialmente a la directora de operaciones Adriana Restrepo y la supervisora de aseo Ana Lopez. Y a la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito por haberme permitido realizar mi maestría y brindarme el conocimiento para lograr cumplir esta meta.

Resumen

Hoy en día las entidades de salud (hospitales y clínicas) se enfrentan a una problemática en la prestación del servicio que se centra en la programación del personal, ya que es afectada por la poca asignación de personas, la alta rotación y los ausentismos de los empleados. El área de limpieza y desinfección, en particular servicios generales, se enfrenta a este entorno de programación que varía según la cantidad de personal y las áreas hospitalarias, donde una buena programación impacta positivamente en la calidad de la asistencia sanitaria. Teniendo en cuenta las diferentes áreas hospitalarias (críticas, semicríticas y no críticas), la ocupación por piso, los protocolos de limpieza y desinfección, y las tareas a desarrollar en cada turno (mañana, tarde y noche), es crucial encontrar una solución adecuada que sirva como herramienta para la programación del personal de aseo hospitalario. Es por ello que se plantea un modelo de optimización para la multinacional Compass Group Services Colombia S.A como outsourcing de servicios para la Clínica la Colina, a partir de una Simheurística combinando la heurística TPB (Tibrewala, Philippe y Browne) para la asignación de personal de aseo hospitalario requerido en cada una de las áreas (hospitalización, cirugía, UCI, entre otras), y la simulación de MonteCarlo teniendo en cuenta los pronósticos de demanda de pacientes para 7 días consecutivos, la cantidad de tareas que de ellas se desprenden y sus respectivos tiempos de ejecución estocásticos; evaluando el nivel de servicio a partir de dos métricas: el porcentaje de cumplimiento y la carga laboral del personal.

Abstract

Nowadays the health entities (hospitals and clinics) face a problem providing the service that focuses on staff programming, as it is affected by the low allocation of people, high turnover and employee absenteeism. The cleaning and disinfection area, in particular general services, faces this programming environment that varies according to the number of personnel and hospital areas, where an adequate programming would have a positive impact on the healthcare's quality. Taking into account the different hospital areas (critical, semi-critical and non-critical), the occupancy by floor, the cleaning and disinfection protocols, and the tasks to be carried out in each shift (morning, afternoon and night), it is crucial to find a suitable solution that serves as a tool for programming hospital toilets. This is why an optimization model is proposed for the multinational Compass Group Services Colombia S.A as outsourcing services for the Clínica la Colina, from a Simheuristic combining the heuristic TPB (Tibrewala, Philippe y Browne) for the assignment of hospital care personnel required in each area (Inpatient, observation, operating room, critical care, among others), and the Monte-Carlo simulation, taking into account patient census forecasts for 7 consecutive days, the number of tasks arising from them and their respective stochastic execution times; assessing the level of service from two metrics: the percentage of compliance and staff workload.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 10 |
| 1.1. PROBLEMÁTICA..... | 10 |
| 1.2. OBJETIVOS | 12 |
| 1.2.1. <i>Objetivo general</i> | 12 |
| 1.2.2. <i>Objetivos específicos</i> | 12 |
| 1.3. ALCANCE | 12 |
| 2. ESTADO DEL ARTE..... | 13 |
| 3. DESCRIPCIÓN PROCESO DE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN HOSPITALARIA | 24 |
| 3.1. LA EMPRESA Y SUS SERVICIOS..... | 24 |
| 3.2. SUBPROCESO SERVICIOS GENERALES PARA CLÍNICA LA COLINA..... | 25 |
| 3.3. PROCEDIMIENTO LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN HOSPITALARIA..... | 27 |
| 4. FORMULACIÓN DEL MODELO | 32 |
| 4.1. SUPUESTOS | 32 |
| 4.2. NOTACIÓN..... | 32 |
| 5. MÉTODO DE SOLUCIÓN | 35 |
| 5.1. GESTIÓN DEMANDA DE PACIENTES..... | 37 |
| 5.2. CODIFICACIÓN Y GENERACIÓN DE SOLUCIONES INICIALES | 41 |
| 5.3. SIMULACIÓN DE MONTECARLO | 43 |
| 6. ANÁLISIS Y RESULTADOS | 56 |
| 6.1. EXPERIMENTOS NUMÉRICOS..... | 56 |
| 6.2. ANÁLISIS DE SALIDA..... | 60 |
| 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 68 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 70 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Servicios de soporte..... | 24 |
| Figura 2. Servicios Clínica la Colina Fuente: Informe de sostenibilidad Clínica La Colina (2018) .. | 25 |
| Figura 3. Clasificación áreas hospitalarias Clínica La Colina | 26 |
| Figura 4. Partes del área de hospitalización | 26 |
| Figura 5. Representación de la microfibra, los protocolos, la auxiliar de aseo y la clínica limpia ... | 28 |
| Figura 6. Flujograma turno mañana hospitalización | 31 |
| Figura 7. Flujograma turno tarde hospitalización | 31 |
| Figura 8. Flujograma turno noche hospitalización..... | 31 |
| Figura 9. Diagrama de flujo del algoritmo Simheurístico | 36 |
| Figura 10. Demanda histórica de cirugías programadas diarias..... | 37 |
| Figura 11. Pronósticos método suavizado exponencial simple para 7 días área cirugía | 38 |
| Figura 12. Pronósticos método suavizado exponencial doble para 7 días área cirugía | 38 |
| Figura 13. Pronósticos método Winters para 7 días área cirugía | 39 |
| Figura 14. Pronósticos método Croston para 7 días área UCI Neonatal..... | 40 |
| Figura 15. Pronósticos método estacionalidad explícita para 7 días área UCI neonatal..... | 40 |
| Figura 16. Pseudocódigo Heurística TPB | 41 |
| Figura 17. Requerimientos iniciales promedio de personal área cirugía turno de la mañana | 42 |
| Figura 18. Codificación solución inicial área cirugía turno mañana. | 42 |
| Figura 19. Esquema general de operaciones por tarea | 43 |
| Figura 20. Formato de estudio de T&M, registro de tiempos por tarea | 44 |
| Figura 21. Numero de muestra necesarias por tarea..... | 45 |
| Figura 22. Prueba de ajuste y bondad desinfección recurrente salas de cirugía | 45 |
| Figura 23. Modelo de simheurística en Excel..... | 48 |
| Figura 24. Hoja de pronósticos de demanda salas de cirugía en Excel | 49 |
| Figura 25. Interfaz de la heurística TPB con datos de entrada..... | 50 |
| Figura 26. Interfaz simulación de MonteCarlo..... | 51 |
| Figura 27. Interfaz con las tareas a desarrollar por turno y tiempos estocásticos área cirugía | 52 |
| Figura 28. Resultados del lunes área de cirugía carga laboral y porcentaje de cumplimiento | 53 |
| Figura 29. Criterios de aceptación según la carga laboral promedio | 54 |
| Figura 30. Pseudocódigo Simheurística | 55 |
| Figura 31. Costos promedio vs Auxiliares de aseo para cirugía lunes turno mañana | 59 |
| Figura 32. Boxplot simheurística carga laboral en salas CX turno mañana. | 62 |
| Figura 33. Porcentaje de cumplimiento de la simheurística en salas cirugía turno mañana. | 63 |
| Figura 34. Costos promedio mano de obra y penalización simheurística cirugía turno mañana. ... | 64 |
| Figura 35. Boxplot método manual carga laboral en salas CX turno mañana..... | 65 |
| Figura 36. Porcentaje de cumplimiento del método manual en salas cirugía turno mañana | 66 |
| Figura 37. Costos promedio mano de obra y penalización Compass Group cirugía turno mañana 67 | |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Revisión de la literatura sobre el NRP..... | 14 |
| Tabla 2. Revisión de la literatura sobre Workforce Scheduling..... | 18 |
| Tabla 3. Revisión en la literatura sobre Simheurísticas..... | 22 |
| Tabla 4. Planta de personal Don Vapor para la Clínica La Colina | 25 |
| Tabla 5. Código de colores paños microfibra | 27 |
| Tabla 6. Protocolo de limpieza y desinfección para todas las áreas..... | 29 |
| Tabla 7. Métricas de previsión área cirugía..... | 39 |
| Tabla 8. Pronósticos cantidad de cirugías | 39 |
| Tabla 9. Métricas de previsión área UCI Neonatal | 40 |
| Tabla 10. Pronósticos salidas UCI Neonatal | 40 |
| Tabla 11. Repartición AAH según pronóstico de demanda en hospitalización turno mañana | 46 |
| Tabla 12. Repartición AAH según pronóstico de demanda en UCIs turno mañana | 47 |
| Tabla 13. Tiempos estocásticos para cada tarea en el área de cirugía | 48 |
| Tabla 14. Definición de parámetros meta en porcentaje de carga para cada zona..... | 53 |
| Tabla 15. Resumen de instancias hospitalización 4 piso con 18 tareas | 56 |
| Tabla 16. Resumen de instancias hospitalización 5 piso con 18 tareas | 57 |
| Tabla 17. Resumen de instancias UCI Adultos con 13 tareas | 57 |
| Tabla 18. Resumen de instancias Cirugía con 20 tareas | 58 |
| Tabla 19. Costos mano de obra y penalización..... | 58 |
| Tabla 20. Muestra de instancias de los costos con diferentes W en cirugía turno mañana | 59 |

1. INTRODUCCIÓN

1.1. PROBLEMÁTICA

La competencia existente en los mercados es cada vez más fuerte, obligando a las empresas a optimizar sus operaciones, generando soluciones que permitan la reducción de costos. Este interés se presenta en los establecimientos sanitarios los cuales, experimentan presiones para reducir sus gastos y, al mismo tiempo, mejorar la atención sanitaria a los pacientes.

De acuerdo con Ozores (2014), la gestión de los hospitales es una parte significativa de las políticas sanitarias y sus gestores tratan de establecer unos parámetros acordes con el concepto de gestión eficiente. La gestión óptima de los suministros y los procesos logísticos hospitalarios son un factor decisivo para alcanzar la calidad en la atención sanitaria y conseguir la reducción de costos.

Ahora, en lo referente al sistema de salud colombiano, este ha avanzado poco en incrementar la productividad y, por tanto, la competitividad de este sector. En los últimos años, la escasa inversión en tecnología e innovación, sumada al mínimo avance en adopción de mejores prácticas empresariales, ha dado lugar a un deterioro de la productividad de los hospitales públicos de todas las regiones del país (Informe Nacional de Competitividad 2015-2016, 2015). En este sentido, el Informe Nacional de Competitividad (INC) 2019-2020, menciona que el sistema de salud se enfrenta a presiones sobre gastos derivados de la transición demográfica y de la complejidad del flujo de recursos que dificulta las labores de vigilancia y control.

En la cadena logística intrahospitalaria, un eslabón de la gestión eficiente de sus operaciones es el área de servicios generales (limpieza y desinfección hospitalaria), este en su mayoría es un servicio externalizado en donde actúan factores decisivos en la calidad de la atención sanitaria cuyo objetivo es garantizar las óptimas condiciones de limpieza para los pisos y superficies, avalando un ambiente seguro, cómodo y confortable para los pacientes, usuarios y colaboradores que circulan en un hospital.

La empresa Compass Group Services Colombia S.A. es una multinacional que presta este servicio de aseo hospitalario, donde la actividad económica es el cumplimiento de los protocolos de limpieza y desinfección junto con la gestión integral de los residuos hospitalarios y similares.

El problema real existente en este eslabón es la asignación del personal el cual consiste en determinar para cada colaborador los siguientes valores: el área asignada de trabajo (crítica, semicrítica y no crítica), los días de trabajo por semana, el tipo de jornada (mañana, tarde o noche) y los días de descanso; con el fin de optimizar el tamaño de la fuerza de trabajo para cada turno.

A partir de la capacidad instalada (infraestructura) de la cual está compuesta una clínica y/o hospital, existen distintas necesidades y diferentes demandas de pacientes que se deben

atender por parte del área de limpieza y desinfección (L&D), para cumplir con todas las actividades de aseo que se desglosan por cada turno y en cada área hospitalaria.

Se ha comprobado un problema en el cumplimiento de dichas tareas donde la entrega oportuna del servicio no es la mejor, dado que, en el último año 2019 el porcentaje de ausentismo por parte del personal ha subido en un poco más del 8%, uno de los factores son las horas extras con que algunas auxiliares de aseo han tenido que doblar turno y al otro día no vienen a trabajar por la fatiga laboral adquirida; en los casos donde se presentan los ausentismos existen las fallas o las no conformidades generando falencias notorias como retrasos en las tareas de cada servicio, reprocesos por incumplimientos de los protocolos, desinfecciones no entregadas a tiempo y desinfecciones no ejecutadas.

Otro problema es el tema de la asignación y la secuenciación de tareas rutinarias para el personal de limpieza y desinfección, estas tareas son dinámicas y depende de la variabilidad de los pacientes que ingresan a cada área hospitalaria, es allí donde el recurso es utilizado de manera inadecuada al momento de equilibrar las cargas de trabajo (Alwaddood, Ayub, & Izzuddin Razali, 2010).

La programación del personal de servicios generales debe ser efectiva equilibrando las necesidades de los interesados, tales como auditoria (interventoría del área de compras), el personal asistencial y los pacientes. La organización utiliza Microsoft Excel para crear y gestionar los turnos, las asignaciones y las preferencias de los colaboradores de manera manual.

En virtud de lo anterior, el presente trabajo se orienta en el análisis del flujo de proceso de limpieza y desinfección que se presenta en una entidad de salud, Clínica la Colina, con el fin de programar el personal necesario, adoptando demandas de pacientes y frecuencias de tareas con naturaleza estocástica; para resolverlo, se propone un algoritmo “simheurístico”, que combina la heurística con la simulación para optimizar el nivel de servicio prestado por la compañía Compass Group Services Colombia S.A. Este puede verse como un caso especial de un enfoque de optimización de simulación (Villarreal & Keskinocak, 2014).

En consecuencia, a lo anterior expuesto, las preguntas de investigación planteadas son las siguientes: ¿Cómo puede un modelo de optimización basado en Simheurística ser concebido para asignar personal de aseo hospitalario en un hospital? ¿Es posible reducir el tiempo muerto en el servicio de limpieza y desinfección hospitalaria? ¿Es esta la metodología adecuada para la toma de decisiones de la compañía objeto de estudio en relación con la programación del personal de limpieza y desinfección, mirando la ocupación de pacientes por cada área hospitalaria? ¿Cuáles son las posibles medidas de desempeño que se requieren para asignar un personal de aseo hospitalario dentro de un sistema de trabajos que varía según el turno y donde los tiempos de ejecución son estocásticos?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

Diseñar un modelo de optimización para la programación del personal de limpieza y desinfección en un hospital por parte de la empresa Compass Group Services Colombia S.A., basado en Simheurística.

1.2.2. Objetivos específicos

- Definir las métricas asociadas a las no conformidades y al desequilibrio operativo del servicio de limpieza y desinfección.
- Caracterizar el sistema de servicios generales (limpieza y desinfección), tiempos de desinfecciones y factores que afectan la programación del personal.
- Desarrollar un modelo simheurístico de programación de personal considerando las variables particularidades del sistema y entorno.
- Evaluar el desempeño del modelo propuesto en relación con las métricas asociadas a los niveles de servicio de cada área hospitalaria.

1.3. ALCANCE

Este proyecto se limita al diseño del modelo de programación de personal de limpieza y desinfección hospitalario para la empresa Compass Group Services Colombia S.A., será decisión de la empresa aplicar el modelo propuesto para sus procesos operacionales.

2. ESTADO DEL ARTE

La logística hospitalaria es un sistema abierto compuesto por varios subsistemas como el aprovisionamiento (adquisición de bienes y servicios), producción (recepción de mercancías, almacenaje, salida de envíos), y distribución (sistemas de aprovisionamiento y transporte interno) (Ozores Massó, 2014). El área de limpieza y desinfección hospitalaria es uno de los proveedores de la cadena logística, este hace parte del aprovisionamiento o departamento de compras, cuya función es la de ofrecer y apoyar al desarrollo de la actividad sanitaria y a las necesidades del personal clínico.

En el sector hospitalario se han desarrollado modelos matemáticos para el departamento de enfermería denominados Nurse Rostering Problem (NRP), la resolución a estos problemas se realiza desde 1950 (Ernst, Jiang, Krishnamoorthy, Owens, & Sier, 2004), con métodos computacionales de resolución para los turnos de personal y la programación de turnos ha sido un tema de investigación continua y de interés comercial.

En una entidad de salud se presentan los siguientes problemas: la congestión del servicio, los cuellos de botella, los largos tiempos de espera y las desequilibradas horas de trabajo. Cada hospital tiene distintas necesidades de personal que cambian de un día para otro, en estos entornos dicho personal fluctúa con el tiempo como lo es el número de enfermeras requeridas durante la semana que suelen ser más, que el número requerido para los fines de semana (Pinedo, 2005).

Debido a su complejidad, sus características desafiantes y su relevancia práctica, la programación de personal ha sido muy investigado en las últimas décadas. Adicionalmente, hay varios estudios con modelos matemáticos aplicados a estos problemas los cuales cubren aspectos específicos de programación del personal asistencial en la literatura. Por otra parte, dichos problemas contienen distintas variables de decisión lo cual cambia su complejidad mediante la identificación de casos especiales que tienen solución polinomial y/o NP-Hard (Brucker, Qu, & Burke, 2011).

Según Batun y Begen (2013), la optimización es una de las metodologías de investigación de operaciones ampliamente utilizadas para modelar y resolver problemas de gestión de operaciones sanitarias. Existe una variedad de estudios basados en la optimización que consideran un problema de toma de decisiones en la prestación de la asistencia sanitaria, como la programación de citas médicas, la programación de quirófanos, la planificación de la capacidad, la planificación de la mano de obra, y algunos otros problemas prácticos.

La Tabla 1 presenta un resumen de los diferentes aportes encontrados en la literatura científica sobre NRP. La columna 2 indica los autores. La columna 3 indica el objetivo del modelo. La columna 4 indica las restricciones o supuestos adicionales. La columna 5 indica el método propuesto de solución de cada artículo.

Tabla 1. Revisión de la literatura sobre el NRP.

| AUTOR(ES) | OBJETIVO DEL MODELO | RESTRICCIONES O SUPUESTOS ADICIONALES | MÉTODO DE SOLUCIÓN | |
|-----------|---|---|--|--|
| 1 | (Burke, Causmaecker, Petrovic, & Vanden Berghe, 2006) | Minimizar los requerimientos y preferencias del personal | <ul style="list-style-type: none"> • Todos los turnos requeridos para el personal del pabellón en cualquier momento deben asignarse a un miembro del personal. • No se puede asignar a una persona al mismo turno el mismo día más de una vez. • Los turnos solo se pueden asignar a personas de la categoría de habilidad requerida. | Búsqueda tabú |
| 2 | (Goodman, Dowsland, & Thompson, 2007) | Minimizar costo de preferencia total | Número de enfermeras asignadas no exceda las disponibles. | GRASP |
| 3 | (Augustine, Faer, Kavountzis, & Patel, 2009) | Minimizar aversión y costo de programar enfermeras | Hard constraints/Soft constraints | Algoritmo genético |
| 4 | (Burke, Curtois, Qu, & Vanden Berghe, 2010) | Minimización de la suma pondera de las soft constraints. | <ul style="list-style-type: none"> • Día laborado/descansado o cambio específico de turno laborado/descansado con prioridades asociadas. • No hay turnos de noche antes de un fin de semana libre. • Número máximo y mínimo de días hábiles consecutivos. • Cantidad máxima y mínima de días no laborables consecutivos. | Heurística búsqueda de dispersión |
| 5 | (Petrovic & Vanden Berghe, 2010) | Comparación de enfoques de listas de enfermeras mediante 7 criterios: poder expresivo, flexibilidad, potencia algorítmica, capacidades de aprendizaje, mantenimiento, capacidades de reprogramación y ajuste de parámetros. | <ul style="list-style-type: none"> • Cobertura. • Máx. (Min) días laborados. • Máx. (Min) horas. • Balance de fin de semana. • Número máximo de asignaciones para cada tipo de turno. • Enfermeras que deberían o no deberían trabajar juntas. | Metaheurística (búsqueda tabú - ANROM) y razonamiento basado en casos (Inteligencia artificial - CABAROST) |

| AUTOR(ES) | OBJETIVO DEL MODELO | RESTRICCIONES O SUPUESTOS ADICIONALES | MÉTODO DE SOLUCIÓN |
|--|---|---|--|
| 6 (Rönnberg & Larsson, 2010) | Dos funciones objetivo: 1) Minimizar la cantidad de turnos atendidos por enfermeras sustitutas. 2) Maximizar el cumplimiento de las solicitudes en los horarios propuestos de manera justa. | Se tiene en cuenta: • La demanda de enfermeras capacitadas, asistentes de enfermería y enfermeras en la clínica; tareas individuales; vacaciones. • Número de horas trabajadas por semana y total; máximo 5 días trabajados en una fila; combinaciones factibles de turnos consecutivos; restricciones especiales para noches | Exacto |
| 7 (Tsai & Lee, 2010) | Minimizar el número de infracciones en los tres turnos para el personal de enfermería | Violación de las regulaciones gubernamentales, los requisitos de administración del hospital y la equidad en la programación. | Algoritmo genético |
| 8 (Yilmaz, 2012) | Minimizar el tiempo total de espera inactivo de las enfermeras durante el horizonte de planificación de una semana. | • El tiempo máximo total de trabajo a la semana por cada enfermera no debe superarse. • Después de que una enfermera trabaje un turno, la enfermera puede ser asignada a otro turno después de dos turnos seguidos por lo menos. Este conjunto de restricciones asegura el descanso de la enfermera después de que la enfermera trabaja un turno. • El número total de enfermeras que trabajan en cada turno debe controlarse con límites máximos y mínimos para el número de enfermeras por turno. | Método branch and bound (B&B) |
| 9 (Bilgin, Demeester, Misir, Wim , & Vanden Berghe, 2012) | Minimizar restricciones blandas | Hard constraints/Soft constraints | Recocido simulado y Gran diluvio |
| 10 (Constantino, y otros, 2013) | Maximizar la satisfacción de las preferencias de las enfermeras y minimizar la violación de las soft constraints | Cada enfermera se le asigna un turno (trabajado o descanso) con un cambio por cada participación (día) | Algoritmo heurístico determinista, llamado MAPA (algoritmo basado en problemas de asignación múltiple) |

| AUTOR(ES) | OBJETIVO DEL MODELO | RESTRICCIONES O SUPUESTOS ADICIONALES | MÉTODO DE SOLUCIÓN |
|--|--|--|--------------------------------------|
| 11 (Lin, Sir, Sisikoglu, Pasupathy, & Steege, 2013) | Multiobjetivo: 1) Minimizar los puntajes de preferencia total para todas las enfermeras. 2) Minimizar los puntajes totales de fatiga basados en encuestas para todas las enfermeras. 3) Minimizar el puntaje total de fatiga basado en la función para todas las enfermeras al final de sus patrones de turno. | Puntuaciones de fatiga | Exacto |
| 12 (Amaya, Velasco, & Aguirre, 2014) | Multiobjetivo: 1) Maximizar la satisfacción de los trabajadores. 2) Maximizar la eficiencia de la asignación. 3) Minimizar los costos de asignación. | <ul style="list-style-type: none"> • Asigne cada tipo de trabajador solo en la actividad requerida. • Cubre la demanda de los trabajadores. • Las enfermeras y asistentes de enfermería deben ser asignadas a una sola actividad por semana. | Exacto |
| 13 (Liogys & Zilinskas, 2014) | Multiobjetivo: 1) El equilibrio de la carga de trabajo de las enfermeras. 2) La minimización de la cantidad de turnos nocturnos sucesivos. 3) La distribución uniforme de turnos nocturnos para enfermeras. 4) La distribución uniforme de turnos de guardia para enfermeras. 5) La minimización de las infracciones a las preferencias de las enfermeras, como los turnos solicitados trabajados / descansados cada día laborable y día libre. | Hard constraints | Metaheurística: Recocido simulado |
| 14 (Villarreal & Keskinocak, 2014) | Minimizar el costo total laboral esperado durante el horizonte de planificación, incluidos los costos del personal permanente, nuevas contrataciones y despidos | <p>Fase I. Decidir la cantidad de horas del personal presupuestada para cada línea de servicio, de acuerdo a las políticas que limitan la acumulación de personal, horas extras, y los diferentes escenarios de demanda.</p> <p>Fase II. Determinar cómo estas horas presupuestarias del personal deberían asignarse a lo largo de posibles días de trabajo y cambios, otorgar requisitos de personal y restricciones de programación relacionadas con los turnos.</p> | Simulación |

| AUTOR(ES) | OBJETIVO DEL MODELO | RESTRICCIONES O SUPUESTOS ADICIONALES | MÉTODO DE SOLUCIÓN |
|--|--|--|--|
| 15 (Faycal, Essaid Riffi, & Ahiod, 2015) | Multiobjetivo minimizar restricciones blandas | <ul style="list-style-type: none"> • La falta o el exceso de personal se debe distribuir de manera uniforme en cada semana. • El número de días hábiles consecutivos debe ser al menos igual a 2. • El número de días hábiles consecutivos debe ser al menos igual a dos. • La demanda diaria de personal todos los lunes y viernes debe ser satisfecha. | Combinación de dos metaheurísticas: Algoritmo genético y GRASP |
| 16 (Mutingi & Mbohwa, 2015) | Multicriterio relacionado con la asignación de horarios de turnos a las enfermeras disponibles en un horizonte de planificación de una semana a un mes | <ul style="list-style-type: none"> • La asignación de visitas de pacientes a enfermeras durante sus turnos. • La asignación de tareas de cuidado diario a las enfermeras durante sus turnos. | Algoritmo de metamorfosis simulada difusa (FSM) |
| 17 (Bagheri, Gholinejad Devin, & Izanloo, 2016) | Minimizar los costos de asignación periódica y de tiempo extra. | Muestra cómo las camas vacías en el turno j en la fecha t se pueden calcular a partir del total de camas disponibles y el número de pacientes que están presentes en el turno j en la fecha t . | Problema de valor esperado (EVP) Aproximación Promedio de Muestra (SAA) Simulación |
| 18 (Jafari, Bateni, Daneshvar, Bateni, & Mahdioun, 2016) | <p>Dos funciones objetivo:</p> <p>1) Maximizar las preferencias de las enfermeras para trabajar en sus turnos favorables.</p> <p>2) Minimizar el total de enfermeras sobrantes para cubrir las demandas de cada día.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Los lunes son considerados el 1 día de la semana. • Los días de licencia solicitados por las enfermeras. | Lógica difusa |
| 19 (Lim, Mobasher, Bard, & Najjarbashi, 2016) | <p>2 modelos:</p> <p>1) Multiobjetivo minimizar la asignación de enfermeras a los casos de cirugía próxima en función de sus especialidades y niveles de competencia.</p> <p>2) Maximizar la cantidad total de enfermeras a las que se les puede dar un descanso durante las horas del almuerzo.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • La enfermera solo puede aliviar a la enfermera en uno y solo uno de los períodos de almuerzo. • Limitan a la enfermera a brindar alivio a lo sumo a una enfermera durante cada uno de los periodos de almuerzo | Algoritmo de generación de columna (CGS) y una heurística de dos fases (SWAP) |
| 20 (Giedelman Lasprilla, 2017) | Minimizar las violaciones a un conjunto deseable de políticas institucionales de un hospital. | Se obliga la prohibición de jornadas laborales de más de tres días consecutivos. | ILS (Iterated Local Search) |

En esta revisión de la literatura sobre el NRP, se encontró que varios autores han resuelto el problema de manera exacta o con el uso de metaheurísticas, cuya función objetivo es la minimización de costo total laboral de las enfermeras, muy similar a nuestra problemática de programación de personal de aseo hospitalario donde la función objetivo es de minimización de costos tanto de mano de obra como de penalización por incumplimiento a tareas no ejecutadas.

Por otra parte, se consideran otros trabajos realizados en la literatura científica en diferentes problemas catalogados con el termino de Workforce Scheduling, Según Pinedo (2005), el Workforce Scheduling tiene diferentes clases de modelos sobre la programación de la fuerza de trabajo, donde aparece la programación de la tripulación en las aerolíneas o en las empresas de transporte. En la Tabla 2 se resumen algunos aportes encontrados en la literatura científica sobre Workforce Scheduling. La columna 2 indica los autores. La columna 3 indica el objetivo del modelo. La columna 4 indica las restricciones o supuestos adicionales. La columna 5 indica el método propuesto de solución de cada artículo.

Tabla 2. Revisión de la literatura sobre Workforce Scheduling.

| | AUTOR(ES) | OBJETIVO DEL MODELO | RESTRICCIONES O SUPUESTOS ADICIONALES | MÉTODO DE SOLUCIÓN |
|---|----------------------------------|--|---|---------------------------|
| 1 | (Musliu, Gartner, & Slany, 2002) | Minimizar el número máximo de fines de semana trabajados | <ul style="list-style-type: none"> • Elegir un conjunto de longitudes de bloques de trabajo (un bloque de trabajo es una secuencia de días consecutivos de turnos de trabajo). • Elegir una secuencia particular de trabajo y bloques de días libres entre estos que tienen características óptimas de fin de semana. • Enumerar posibles secuencias de cambio para el bloque de trabajo elegido sujeto a restricciones y límites de cambio de turno en secuencias de turnos. • Asignación de secuencias de turnos a bloques de trabajo mientras se cumplen los requisitos de dotación de personal. | Algoritmo de retroceso |
| 2 | (Mason, 2002) | Minimizar costos de programar personal | <ul style="list-style-type: none"> • Restricción elástica para generación de columnas. • Restricciones GUB. | Algoritmo de Wedelin |

| AUTOR(ES) | OBJETIVO DEL MODELO | RESTRICCIONES O SUPUESTOS ADICIONALES | MÉTODO DE SOLUCIÓN |
|--|--|---|----------------------------|
| 3 (Mohan, 2008) | Maximizar las preferencias de los empleados teniendo en cuenta su antigüedad y disponibilidad, cumpliendo con los requisitos de demanda para cada turno. | <ul style="list-style-type: none"> • Los horarios se desarrollan utilizando información proporcionada por los empleados a tiempo parcial sobre su disponibilidad y preferencia de turno. • Las longitudes de cambio varían durante un día y durante una semana. • Empleados no disponibles pueden ser contratados para trabajar si es necesario, con una penalización a la función objetivo. • Si un empleado tiene programado al menos un turno en un día, el número de horas asignadas al empleado debe estar dentro de un rango predeterminado. • Los empleados pueden trabajar más de un turno al día y no necesitan ser consecutivos. | Algoritmo branch and bound |
| 4 (Alwadood, Ayub, & Izzuddin Razali, 2010) | Determinar el programa de trabajo óptimo que satisfaga los requisitos de mano de obra a un costo operativo mínimo. | Se determinan las demandas diarias de trabajo por cada hora y por cada día de la semana. | Exacto |
| 5 (Hasani-Goodarzi, Rabbani, & Manavizade, 2012) | Minimizar los costos de asignar trabajadores contingentes para empleados senior y junior. | <ul style="list-style-type: none"> • Cada turno debe recibir exactamente 3 breaks de 15 minutos cada uno. • Para la hora del almuerzo se deben asignar dos períodos consecutivos a cada trabajador para comenzar el tiempo de break. • La tasa de salida de los empleados permanentes se considera como una tasa estándar y la producción de otros trabajadores se compara con ella. | Exacto |
| 6 (Genquan, y otros, 2013) | Minimizar el costo total de horas extras de las instancias de actividad. | <ul style="list-style-type: none"> • Hora de inicio. • Tiempo de instancia por actividad. • Fecha límite. • Tasa de ejecución exitosa (probabilidad). | Algoritmo genético |
| 7 (Ladier, Alpan, & Penz, 2013) | Minimizar la suma ponderada de las 5 penalizaciones | <ul style="list-style-type: none"> • Trabajadores temporales. • Ergonomía. • Calificaciones. • Equidad. • Ausencia no planificadas. | Exacto |

| AUTOR(ES) | OBJETIVO DEL MODELO | RESTRICCIONES O SUPUESTOS ADICIONALES | MÉTODO DE SOLUCIÓN |
|---|---|--|---|
| 8 (Restrepo, Gendron, & Rousseau, 2014) | Minimizar el costo total de personal más la penalización por sobre cubrimiento y encubrimiento de la demanda. | <ul style="list-style-type: none"> • Se cumple con los requisitos del personal por día, intervalo de tiempo y actividad laboral. • Número mínimo y máximo de días hábiles. | Algoritmo Branch and Price |
| 9 (Lin & Ying, 2014) | Minimizar la programación de tareas del personal por turnos (SMPTSP) | <ul style="list-style-type: none"> • El número de tareas, así como sus tiempos de inicio y fin, son fijos y conocidos. • Cada tarea se considera una entidad indivisible, aunque puede estar compuesta por número de unidades individuales. • No hay restricciones de precedencia entre las tareas. • Cada trabajador puede ejecutar, como máximo, una tarea asignada a la vez. • Cada trabajador opera independientemente de otros trabajadores. | Iterated greedy (IG) |
| 10 (Smet, Wauters, Mihaylov, & Berghe, 2014) | Minimizar el número total de trabajadores | Las tareas son realizadas por cada empleado una sola vez sin asignaciones adicionales. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Heurística de primer ajuste y mejor ajuste. 2. Matheurística constructiva. 3. Heurística mejora de ramificación local. |
| 11 (Boenzi, Digiesi, Mossa, Mummolo, & Romano, 2015) | Maximizar el rendimiento global del sistema reduciendo de forma conjunta y equilibrar las cargas de trabajo y los riesgos ergonómicos humanos dentro de límites aceptables. | No aplica | Exacto |
| 12 (Sagnak & Kazancoglu, 2015) | Minimizar el costo laboral total | No aplica | Lógica difusa |
| 13 (Veen, Hans, Post, & Veltman, 2015) | Minimizar el costo total de penalización asociado con las violaciones de un conjunto de restricciones blandas. | <ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidad. • Habilidades. • Descanso entre turnos. • Fines de semana completos. • Cambios consecutivos. • Fines de semana en p semanas. • Número máximo de turnos durante los fines de semana. | Búsqueda local |

| AUTOR(ES) | OBJETIVO DEL MODELO | RESTRICCIONES O SUPUESTOS ADICIONALES | MÉTODO DE SOLUCIÓN |
|---|--|--|--------------------|
| 14 (Brusco, Jacobs, Bongiorno, Lyons, & Tang, 2016) | Minimizar el costo total de programación | <ul style="list-style-type: none"> • Una variedad de horarios de turnos diarios permitidos. • Numerosas combinaciones de días trabajos / días descansados cada semana y rotaciones semanales para proporcionar fines de semana recreativos intermitentes. • Límites en la proporción de trabajadores de tiempo completo (FT) a tiempo parcial (PT). | Recocido simulado |

Ahora, en esta revisión de la literatura se encontró que varios autores resuelven el problema del Workforce Scheduling a partir de métodos exactos o con el uso de metaheurísticas (búsqueda local, recocido simulado o algoritmo genético), donde en la mayoría de artículos la función objetivo es la de minimizar nuevamente el costo total laboral y en algunos casos se incluyen también los costos de penalización al no cumplimiento de algunas restricciones.

Desde la perspectiva de cumplir con la función objetivo de minimizar el costo total del personal y las penalizaciones, un modelo para la programación del personal de limpieza y desinfección hospitalaria que otorgue soluciones para este servicio y apoye la toma de decisiones es de gran importancia, debido a que las personas asignadas deben cumplir con las tareas rutinarias que están vinculadas a los protocolos o listas de adherencias con los cuales se logra la higiene, la sanitización en las áreas hospitalarias, poder brindar la seguridad al paciente y satisfacer la cobertura en la prestación del servicio de una manera óptima y de buena calidad.

Acorde a lo anterior, se requiere desarrollar un modelo de optimización que abarque la asignación de personal por día y turno laboral, y por otro lado que también pueda satisfacer la incertidumbre de la demanda de pacientes y cumplir con la mayoría de las actividades de aseo, para ello existe un método de solución que se ajusta a esta problemática y que se puede utilizar denominado Simheurística. Según (Chica, Juan, Córdón, & Kelton, 2017) un algoritmo simheurístico tiene la simulación para un enfoque de optimización y está orientada de manera eficiente para abordar un problema de optimización que involucra componentes estocásticos. También proponen tres ventajas por las cuales esta metodología es un método de primer recurso para tratar los problemas de optimización bajo incertidumbre las cuales son: abrazar la realidad mediante una simheurística validada, la evaluación de riesgos en soluciones alternativas con análisis de sensibilidad y la comprensión del sistema junto con el análisis de salida.

Los componentes estocásticos que se presentan en los problemas de optimización que se quieren representar imitando la realidad o acercarse a ella se pueden escribir en una función objetivo (por ejemplo, las actividades que dependen de la demanda de pacientes, los tiempos de procesamiento aleatorios, entre otros) o en el conjunto de restricciones. Por lo tanto, cuando se trata de problemas de

optimización NP-Hard a gran escala en los que existe incertidumbre, los investigadores deberían considerar la simheurística como un método de primer recurso, ya que permiten enfoques heurísticos y metaheurísticos para hacer frente a modelos estocásticos más realistas a partir de la simulación.

Elegir el método de Simheurística para resolver el problema de programación de personal de aseo hospitalario en una entidad de salud es adecuado, dado que el área de servicios generales cuenta con tareas que poseen estos componentes estocásticos en sus tiempos de procesamiento así como la incertidumbre diaria de pacientes que es dinámica y que se debe atender en cada área hospitalaria.

En la Tabla 3 se resumen algunos aportes a problemas resueltos con Simheurística en diferentes sectores económicos. La columna 2 indica los autores. La columna 3 indica el objetivo del modelo. La columna 4 indica las restricciones o supuestos adicionales. La columna 5 indica el método propuesto de solución de cada artículo.

Tabla 3. Revisión en la literatura sobre Simheurísticas.

| | AUTOR(ES) | OBJETIVO DEL MODELO | RESTRICCIONES O SUPUESTOS ADICIONALES | MÉTODO DE SOLUCIÓN |
|---|--|---|---|--|
| 1 | (Marseguerra, Zio, & Podofilini, Condition-based maintenance optimization by means of genetic algorithms and Monte Carlo simulation, 2002) | Multiobjetivo: <ul style="list-style-type: none"> • Maximizar la disponibilidad media del sistema X, sobre el tiempo de misión TM. • Maximizar el beneficio neto que puede alcanzar el sistema durante el tiempo de la misión, G. | <ul style="list-style-type: none"> • El nivel de degradación de cada componente se conoce continuamente. • La probabilidad de falla de cada componente es una función conocida del estado de degradación. • El mantenimiento preventivo "basado en la condición", es decir, el mantenimiento basado en el estado de degradación del componente se realiza en cada componente cuando el nivel de degradación está más allá de un umbral dado. | Cadenas de Markov. Algoritmo genético. Simulación de MonteCarlo (GA MC). Técnica gota a gota. |
| 2 | (Marseguerra, Zio, & Podofilini, 2005) | Multiobjetivo: <ul style="list-style-type: none"> • Maximizar los ingresos al sistema. • Minimizar el volumen total de repuestos. | Cada componente tiene una tasa de falla característica. | Algoritmo genético. Simulación de MonteCarlo (GA MC). |
| 3 | (Juan, Grasman, Caceres-Cruz, & Bektas, 2014) | Minimizar los costos totales de inventario y ruta | Considera varias políticas de reabastecimiento para cada centro minorista. | Heurística de ruteo IRP estocástico. Simulación de MonteCarlo. |
| 4 | (Constantino De La Espriella, y otros, 2018) | Minimizar los costos asociados a la localización de instalaciones y manejo de inventario. | Logística humanitaria: <ul style="list-style-type: none"> • Una cantidad determinada de albergues. • Un único centro de distribución (CD). • Inventario de Kits de cocina, aseo, mercado y medicamentos. | Algoritmo genético. Silver Meal. Clark and Wright Simulación de MonteCarlo |

| AUTOR(ES) | OBJETIVO DEL MODELO | RESTRICCIONES O SUPUESTOS ADICIONALES | MÉTODO DE SOLUCIÓN |
|--|--|--|--|
| 5 (Lam, Masek, Kelly, Papisimeon, & Benke, 2019) | Identificar nuevas tácticas de combate novedosas en operaciones militares. | <ul style="list-style-type: none"> • Maniobras de combate específicas. • Propiedades cinemáticas de 2 aviones (azul y rojo): posición, velocidad y aceleración. | Algoritmo genético. Simulación basada en agentes. |
| 6 (Lopes, Michels, Lüders, & Magatão, 2020) | Maximizar el rendimiento de una línea de montaje de modelos mixtos. | <ul style="list-style-type: none"> • Numero de estaciones conocidas. • Ritmo de la línea asincrónico. • Tiempos de procesamiento determinísticos. • Secuencias de productos estocástica. | Simulador tiempo de ciclo (CTS). Búsqueda Local Iterativa (ILS). |

En esta última revisión sobre problemas resueltos con Simheurísticas se encontraron funciones multiobjetivo de maximización en el uso de recursos así como de minimización de costos logísticos, algunos aspectos encontrados en esta revisión de literatura científica que se pueden usar en nuestro modelo de optimización es tener en cuenta las características estocásticas como es la variabilidad en el número de actividades conocidas, los tiempos de procesamiento estocásticos y la secuencia del proceso en términos probabilísticos.

Algunas similitudes encontradas en estos artículos con respecto al modelo propuesto de programación de personal de aseo hospitalario basado en simheurística, son el tener una función objetivo de minimización de costos asociaciones a recursos de personal así como el manejo de la incertidumbre en escenarios no determinísticos y el uso de la simulación de MonteCarlo para evaluar los diferentes escenarios y las soluciones. Algunas diferencias son, por ejemplo, el uso de metaheurísticas como algoritmo genético o búsqueda local iterativa con el uso de la simulación basada en agentes, donde acá ya se basan en una población de entidades autónomas llamadas agentes que se comportan de acuerdo con unas reglas y la interacción con otros agentes.

En conclusión, existe una gran variedad de literatura científica sobre el problema de programación de turnos de enfermería, programación de fuerza de trabajo y Simheurísticas aplicada en diferentes sectores; no se encontró en la literatura un trabajo asociado a metodologías para programar personal de aseo hospitalario. Por lo tanto, se abre un nuevo horizonte de investigación aplicando Simheurísticas como un modelo de optimización que contemple las asignaciones de auxiliares de aseo hospitalario según la demanda de pacientes para así realizar las tareas de ejecución estocástica que varían según el área hospitalaria donde se encuentren, con el fin de buscar un buen nivel de servicio en los diferentes escenarios de la logística intrahospitalaria.

3. DESCRIPCIÓN PROCESO DE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN HOSPITALARIA

3.1. LA EMPRESA Y SUS SERVICIOS

Compass Group Services Colombia S.A. es una multinacional líder en food services & support services en el mundo, fundada en Londres en el año 1941, tiene presencia en 50 países en los 5 continentes. Mantiene un posicionamiento de liderazgo en los mercados de Gran Bretaña, Europa Continental, Australia, Estados Unidos, Europa del Este, Asia y Latinoamérica; cotiza en la bolsa de valores de Londres y cuenta con la certificación Dow Jones Sustainability (índice mundial que valora las buenas prácticas de las empresas bajo criterios sociales, medioambientales y económicos).

La actividad económica de Compass Group Services Colombia S.A, se divide en dos segmentos operativos denominados FOOD (alimentos) y SUS (aseo y mantenimiento – servicios de soporte). El enfoque de ejecución operativo es mediante la cadena de suministros con la gestión de costos de alimentos y mano de obra respectivamente para cada segmento. Dichos segmentos están divididos en categorías, para el caso de alimentos son: Eurest (servicios de alimentación para el sector industria), Medirest (Servicios de alimentación para el sector salud) y Scolarest (Servicios de alimentación para el sector educativo). Ahora, para el caso de aseo y mantenimiento es identificada con el nombre de “Don Vapor” donde el campo de acción se divide en: Business & Industry (empresas de producción y centros de distribución), grandes superficies (Centros comerciales), laboratorios (fármacos e industria química) y Healthcare (clínicas y hospitales).

3.1.1. Servicios de soporte - Don Vapor

Los servicios de soporte que brinda Compass Group Services Colombia S.A, con la marca “Don Vapor” son los que se observan en la Figura 1.



Figura 1. Servicios de soporte

Fuente: <https://www.compass-group.com.co/sectores/>

3.1.2. Don Vapor en el sector hospitalario

Compass Group Services Colombia S.A. adquirió el contrato con la Clínica La Colina en el año 2015. Actualmente en el 2020 esta unidad de negocio cuenta con un personal total de 64 personas en operación como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Planta de personal Don Vapor para la Clínica La Colina

| RESUMEN DE PERSONAL | |
|----------------------|----------------------|
| TURNOS | CANTIDAD DE PERSONAL |
| TURNO MAÑANA | 25 |
| TURNO TARDE | 21 |
| TURNO NOCHE | 7 |
| CUBRE COMPENSATORIOS | 4 |
| CUBRE NOVEDADES | 3 |
| SUPERVISORES | 2 |
| ADMINISTRATIVOS | 2 |
| TOTAL | 64 |

3.2. SUBPROCESO SERVICIOS GENERALES PARA CLÍNICA LA COLINA

El área de servicios generales “Don Vapor” hace parte de la Subgerencia de compras y suministros de la Clínica La Colina, Los servicios que ofrece la Clínica La Colina son los que se observan en la Figura 2.



Figura 2. Servicios Clínica la Colina
Fuente: Informe de sostenibilidad Clínica La Colina (2018)

3.2.1. Clasificación de áreas hospitalarias

Cada uno de estos servicios están repartidos por áreas hospitalarias donde se valora el nivel de riesgo y criticidad, dichas áreas son identificadas en 3 tipos donde la limpieza y

desinfección se desarrolla con prácticas operativas esenciales y varían según la capacidad instalada. En la Figura 3 se observa la clasificación de las áreas o zonas con la cual está constituida la Clínica La Colina.

| Áreas críticas | Áreas semi críticas | Áreas no críticas |
|--|--|--|
| <input type="checkbox"/> Quirófanos (Cirugía) | <input type="checkbox"/> Hospitalización | <input type="checkbox"/> Admisión y parqueadero |
| <input type="checkbox"/> Urgencias | <input type="checkbox"/> Radiología | <input type="checkbox"/> Baños publicos y zonas comunes |
| <input type="checkbox"/> UCI (Unidad de cuidados intensivos) | <input type="checkbox"/> Consulta externa | <input type="checkbox"/> Escaleras |
| <input type="checkbox"/> Centro de diagnostico | <input type="checkbox"/> Centro de investigación | <input type="checkbox"/> Pasillos |
| <input type="checkbox"/> Habitaciones pacientes aislados | <input type="checkbox"/> Gastroenterología | <input type="checkbox"/> Despachos |
| <input type="checkbox"/> Laboratorio | <input type="checkbox"/> Resonancia | <input type="checkbox"/> Oficinas administrativas |
| <input type="checkbox"/> Esterilización | | <input type="checkbox"/> Archivos clínicos y administrativos |
| <input type="checkbox"/> Unidad de recién nacidos | | |

Figura 3. Clasificación áreas hospitalarias Clínica La Colina

La clasificación de las áreas es lo primero que se necesita para identificar que tan grande es la clínica, como está constituida en términos de infraestructura o distribución en planta, con el fin de poder analizar de manera independiente la operatividad del personal de aseo hospitalario y ver como son las actividades en cada área de manera individual.

3.2.2. Capacidad instalada

En cuanto a instalaciones se refiere, Clínica La Colina está compuesta de manera general de la siguiente forma:

- **Hospitalización.** La clínica cuenta con un total de 128 camas y 120 habitaciones.

Adicionalmente, esta área de hospitalización consta de las siguientes partes como se observa en la Figura 4.

| 3 Piso | 4 Piso | 5 Piso | 6 Piso |
|---|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • 1 Recepción • 2 Centrales de enfermería. • 2 Pasillos. • 2 Baños privados (Damas y caballeros). • 1 Zona común. • 2 Oficinas. • 1 Cuarto de alimentos | <ul style="list-style-type: none"> • 1 Recepción • 2 Centrales de enfermería. • 2 Pasillos. • 2 Baños privados (Damas y caballeros). • 1 Zona común. • 2 Oficinas. • 1 Cuarto de alimentos | <ul style="list-style-type: none"> • 1 Recepción • 2 Centrales de enfermería. • 2 Pasillos. • 2 Baños privados (Damas y caballeros). • 1 Zona común. • 2 Oficinas. • 1 Cuarto de alimentos | <ul style="list-style-type: none"> • 1 Recepción • 2 Centrales de enfermería. • 2 Pasillos. • 2 Baños privados (Damas y caballeros). • 1 Zona común. • 2 Oficinas. • 1 Cuarto de alimentos |

Figura 4. Partes del área de hospitalización

- **Cirugía.** Consta de 6 salas de cirugía general, salas de parto y cesáreas. 9 salas de recuperación y 6 áreas dedicadas a la preparación y recuperación de los pacientes de cirugía ambulatoria. Con 2000 m² de instalaciones quirúrgicas.
- **Unidad de cuidados intensivos (UCI).** La UCI está dividida en UCI adultos y UCI Neonatal (Unidad de recién nacidos), las cuales cuentan con 15 cubículos respectivamente en cada unidad.
- **Urgencias.** Está constituida por 24 estaciones de observación, 22 estaciones de hidratación totalmente independientes, 20 consultorios de atención, 9 salas de cuidado respiratorio, 4 cubículos de central de traumatología, 2 cubículos de reanimación y salas de procedimientos y cirugía menor de urgencias.
- **Consulta externa.** Cuenta con 3 salas de radiología, 2 salas de gastroenterología, 2 salas de ginecología, 1 sala de fisioterapia, 1 sala de ecografía y 1 sala de nutrición.
- **Áreas no críticas.** Cuenta con 8 baños públicos para dama y caballero, escaleras por los 8 pisos, 2 ascensores, barandas, vidrios por piso, oficinas administrativas y 2 parqueaderos.

3.3. PROCEDIMIENTO LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN HOSPITALARIA

El proceso de limpieza y desinfección hospitalario se realiza de lo menos contaminado a lo más contaminado, de arriba hacia abajo y de adentro hacia fuera.

3.3.1. Códigos de colores paños microfibra limpieza y desinfección

Los paños de microfibra son usados únicamente dentro del servicio asignado durante las 24 horas, luego de su uso son llevado al área de lavandería para ser desinfectados y al siguiente día usarlos nuevamente. En la Tabla 5, se identifican los paños de microfibra y su respectivo uso.

Tabla 5. Código de colores paños microfibra

| ACTIVIDAD | COLOR | OBSERVACIONES |
|--|----------|---|
| LIMPIAR (Aplicar y retirar el detergente) | Azul | » Áreas, superficies y equipos de toda la clínica. » De uso exclusivo por servicio, no compartir con otros servicios. |
| DESINFECTAR (Aplicar desinfectante) | Verde | » Áreas, superficies y equipos de toda la clínica. » De uso exclusivo por servicio, no compartir con otros servicios. |
| DESINFECTAR (Aplicar desinfectante de turno) | Amarillo | » Áreas, superficies horizontales con excepción del piso y verticales y equipos de toda la clínica. |
| Limpiar y desinfectar | Rosado | » Únicamente para el baño de las habitaciones (techos paredes, espejo, lavamanos). » Baños públicos (espejo y lavamanos). |
| Limpiar y desinfectar | Rojo | » Taza de baños de pacientes y taza de baños públicos. » Cuartos temporales de almacenamiento de residuos, canecas y carros de transporte. |

3.3.2. Protocolos de limpieza y desinfección

Cada área cuenta con distintos procedimientos en relación con la seguridad desde el punto de vista de la asepsia. Los protocolos de limpieza y desinfección están basados en técnicas de limpieza las cuales son el barrido, el trapeado, el refregado de superficies con jabón, la aplicación de desinfectante, la remoción de polvo y el mantenimiento de pisos.

Existen tres tipos de técnicas de limpieza las cuales son: Técnicas de arrastres, técnicas en ZIG-ZAG y técnicas de limpieza y desinfección.

En la figura 5, se observa primero el simbolo de la microfibra como elemento de aseo, segundo un listado que representa el protocolo (el paso a paso), tercero la auxiliar de aseo hospitalaria quien es la que realiza la actividad y cuarto la clínica limpia y desinfectada. Todo unido para cumplir con los estándares de higiene y sanitización de toda la clínica.



Figura 5. Representación de la microfibra, los protocolos, la auxiliar de aseo y la clínica limpia

Los protocolos de limpieza y desinfección para áreas críticas se muestran en la Tabla 6. Los pasos para las áreas semicríticas y no críticas son los mismos.

La limpieza y desinfección rutinaria también llamada desinfección recurrente corresponde a la actividad de limpieza de la habitación o cubículo según corresponda (Hospitalización o UCI) donde los pacientes se encuentran hospitalizados y se debe hacer la desinfección diaria en la jornada de la mañana.

La desinfección de aislamiento hace referencia a una desinfección donde el paciente tiene una patología específica de alto grado de severidad y/o contagio, acá la desinfección se hace con un Kit de aislamiento único y específico, con paños desechables llamados Wypall, un trapeo de madera y bolsas de residuos hospitalarios que se usan para desechar todos estos elementos.

La desinfección terminal es cuando le dan de alta al paciente y se debe hacer limpieza total de la habitación desde la unidad paciente que es techo, paredes, canecas, mobiliario, cama, baño privado, limpieza de piso con su respectivo sellante y tendido de cama con dotación higiénica.

Tabla 6. Protocolo de limpieza y desinfección para todas las áreas

| DEFINICIONES | ÁREAS | DESCRIPCIÓN DEL PROCESO |
|---|--|--|
| <p><i>Se consideran <u>áreas críticas</u> aquellas donde se realizan procedimientos invasivos y por lo tanto hay riesgo de gran exposición a fluidos corporales. En estas áreas los pacientes por su condición están más expuestos a contraer una infección. Incluye áreas donde se realiza el lavado del material contaminado.</i></p> <p><i>Se consideran <u>áreas semicríticas</u> aquellas áreas donde los pacientes pueden permanecer largos períodos o bien estar de manera transitoria. Durante su estancia pueden tener contacto con elementos y mobiliario a través de la piel intacta.</i></p> <p><i>Se consideran <u>áreas no críticas</u> aquellas donde las personas están de paso y no tienen contacto directo con los Elementos hospitalarios.</i></p> | <p>*Cirugía *Salas de recuperación *UCI Adultos. *UCI Neonatal *Urgencias *Salas de aislamiento *Laboratorio *Esterilización *Hospitalización *Consulta externa *Radiología *Resonancia *Gastroenterología</p> | <p>LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN RUTINARIA. Limpieza: Uso detergente neutro, líquido, biodegradable. Desinfección: Amonio cuaternario de V generación. Pasos. Alistar EPP y elementos para la Limpieza y desinfección. 1. Retirar residuos 2. Barrer. 3. Limpieza. Limpiar todos los elementos, superficies y áreas de lo menos contaminado a lo más contaminado, incluyendo los equipos. 4. Enjuagar 5. Desinfección. En el mismo orden de la limpieza, aplicar el producto desinfectante. 6. Para los pisos: Remover suciedad del piso con fricción. 7. Trapear el piso con solución jabonosa, retirar, permitir secado y aplicar desinfectante. 8. Lavar y desinfectar el baño, incluyendo patos y pisingos, asegurar dotación.</p> <p>Recomendaciones para paciente en Aislamiento</p> <ul style="list-style-type: none"> · Utilice sobre el uniforme bata y la mascarilla que indique el código de colores, confirme con el personal de enfermería del servicio. · Use únicamente guantes de látex o de nitrilo. · Utilizar bolsa roja para todas las canecas y ropa. · Manejar el desinfectante de turno · Los materiales para la limpieza y desinfección son de uso exclusivo para cada área. · Los productos químicos se entregan a diario. · Lavar las manos al finalizar el proceso de limpieza y desinfección. · Se utiliza el Kit de aislamiento (guantes látex, traperos verde, traperos mango verde, Wypall blanco y rojo). <p>LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN TERMINAL.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Inspeccionar el área, verificar presencia de medicamentos o pertenencias del paciente informar a enfermería. 2. Correr cortinas y abrir ventanas. 3. Retirar desechos y lavar canecas. 4. Revisar el funcionamiento de tv. Teléfono, cisterna, cama eléctrica, colchón, timbre. 5. Retirar ropa sucia 6. En caso de cubículo cambiar cortina. 7. Trasladar patos y pisingos para lavarlos y desinfectarlos en el baño con ducha pato o área destinada para tal fin. 8. Realizar el mismo procedimiento de Limpieza y desinfección rutinaria incluyendo techos y paredes. 9. Realizar tendido de cama. 10. Asegurar la dotación de la habitación. <p>Para salas de cirugía contaminada: Realice el mismo procedimiento de áreas críticas, pero utilice elementos de aseo desechables, deposite todo en bolsa roja; utilice el uniforme asignado para este tipo de procedimiento, el cual es diferente al de uso diario dentro de la sala.</p> |

3.3.3. Rutinas y secuencias de aseo hospitalario

Las rutinas de aseo son la base para realizar las distintas actividades y tareas de la limpieza y desinfección hospitalaria, aquí se usan distintos utensilios de aseo o elemento como lo son los baldes, las escobas, los traperos, el recogedor, la esponjilla, el cepillo de mano, el cepillo de dientes, las mopas, los avisos, en la Anexo 1, se observa el KIT para la limpieza de habitaciones para el área de hospitalización tanto rutinaria como terminal y zonas comunes.

Las rutinas de aseo hospitalario tienen en cuenta los siguientes aspectos:

- Cantidad de tareas.
- Protocolos de limpieza y desinfección.
- Turnos de trabajo.
- Tipos de desinfecciones (Rutinaria, Aislamiento y Terminal).
- Frecuencias de actividades.
- Capacidad instalada y distribución en planta.

En la Figura 6, se describe el flujograma de proceso actual para el área de hospitalización en el turno de la mañana con las actividades y tareas, en la Figura 7 corresponde al turno de la tarde y la Figura 8 al flujo del turno de la noche.

En este proyecto, se realizó el levantamiento de tareas realizada en cada turno para hospitalización, UCI (adultos y neonatal), cirugía, urgencias, consulta externa y áreas no críticas.

En el anexo 2, se describe el flujograma de proceso actual para el área de UCI Adultos en el turno de la mañana, la tarde y la noche con las actividades y tareas; así como para UCI Neonatal, Cirugía, Urgencias, consulta externa y áreas no críticas.



Figura 6. Flujograma turno mañana hospitalización



Figura 7. Flujograma turno tarde hospitalización



Figura 8. Flujograma turno noche hospitalización

4. FORMULACIÓN DEL MODELO

A continuación, se detalla el modelo matemático propuesto de Simheurística para programar personal de aseo hospitalario.

4.1. SUPUESTOS

Los supuestos del modelo Simheurístico propuesto son los siguientes:

- Se considera que ninguna auxiliar de aseo hospitalario puede trabajar 2 turnos seguidos.
- Cada auxiliar de aseo hospitalario debe tener 2 días libres consecutivos luego de trabajar 5 días seguidos.
- Los tiempos de procesamiento para cada tarea son estocásticos y están dados por una distribución de probabilidad discreta.
- Cada tarea se considera una entidad unida que puede estar compuesta por un número de pasos individuales según protocolo.
- No se permite la prioridad entre las tareas a ejecutar por turno.
- Cada auxiliar de aseo puede ejecutar, como máximo, una tarea asignada a la vez.
- Cada auxiliar de aseo opera independientemente de las demás auxiliares.
- Una vez que una auxiliar de aseo comienza a realizar una tarea, está continuamente ocupada durante toda la finalización del trabajo, y no hay interrupciones debido al tiempo de descanso (15 minutos) u otras causas similares.
- Una vez que una tarea es iniciada por una auxiliar de aseo, no puede ser transferida a otra auxiliar ya que toda la operación debe ser completada por la misma auxiliar.
- Los tiempos de transporte entre tareas, de alistamiento y de lavado de utensilios están incluidos en los tiempos de procesamiento.

4.2. NOTACIÓN

Clínica La Colina cuenta con un número total de auxiliares de aseo hospitalario (AAH) repartidas por las áreas hospitalarias, y cada AAH es asignada en uno de los turnos laborales (mañana, tarde y noche) por una semana, descansando 2 días seguidos cumpliendo con la legislación colombiana en un horizonte de planeación de 7 días. Dicha asignación de personal debe satisfacer la demanda de pacientes pronosticada para cada día de la semana de lunes a domingo de acuerdo con un número de actividades dinámicas y unos tiempos de procesamiento estocástico, con el fin de minimizar los costos de mano de obra diaria y los costos de penalización por el incumplimiento de actividades de limpieza y desinfección.

Índices

i: índice de Auxiliares de Aseo Hospitalario (AAH).

z: índice de zona hospitalaria.

a: índice de área hospitalaria.

s : índice de turno laboral.

k : índice del día de la semana.

j : índice de tarea.

Conjuntos

I : Conjunto de AAH, indexado por $i \in \{1, \dots, 60\}$.

Z : Conjunto de zonas hospitalarias, indexado por $z \in \{1: \text{Crítica}, 2: \text{Semicrítica}, 3: \text{No crítica}\}$.

A : Conjunto de áreas hospitalarias, indexado por $a \in \{1: \text{Hospitalización}, 2: \text{UCIs}, 3: \text{Cirugía}, 4: \text{Urgencias}, 5: \text{Consulta externa}, 6: \text{áreas no críticas}\}$.

S : Conjunto de turnos, indexado por $s \in \{1: \text{mañana}, 2: \text{tarde}, 3: \text{noche}\}$.

K : Conjunto de días del horizonte de planeación, indexado por $k \in \{1: \text{Lunes}, 2: \text{Martes}, 3: \text{Miércoles}, 4: \text{Jueves}, 5: \text{Viernes}, 6: \text{Sábado}, 7: \text{Domingo}\}$.

J : Conjunto de tareas, indexado por $j \in \{1, \dots, |J|\}$.

Parámetros

$D_{a,k}$: Pronóstico demanda de pacientes del área hospitalaria a en el día k .

$FTE_{I_{a,s,k}}$: Requerimiento inicial promedio de AAH del área hospitalaria a en el turno s del día k .

L_a : Porcentaje de repartición de AAH por área hospitalaria, donde $a \in \{1, 2\}$.

CMO : Costo de mano de obra fijo diario. [\\$]

CP : Costo de penalización por segundo del incumplimiento de tareas. [\\$]

Variables de decisión de la primera etapa

$X_{(i,a,s,k)} = \begin{cases} 1 & \text{si la AAH } i \text{ es asignada al área } a \text{ en el turno } s \text{ del día } k \\ 0 & \text{de lo contrario} \end{cases} \quad \forall i \in I, \forall s \in S, \forall k \in K, \forall a \in A$

$W_{(i,a,s,k)} = \text{Número total de AAH } i \text{ del área hospitalaria } a \text{ del turno } s \text{ en el día } k.$

Variable de decisión de la segunda etapa

$T_{FTE_{(a,s,k)}} = \text{Tiempo total asignado para el área hospitalaria } a \text{ del turno } s \text{ en el día } k.$

Variables contributivas al modelo

$Q_{(j,a,s)}$: Cantidad de tareas j del área hospitalaria a en el turno s .

$P_{(j,a,s)}$: Tiempo de procesamiento variable de la tarea j del área hospitalaria a en el turno s .

Función objetivo

$$\begin{aligned} \text{Minimizar } f(x) = & \sum_{\forall i} \sum_{\forall a} \sum_{\forall s} \sum_{\forall k} W_{(i,a,s,k)} * CMO \\ & + \sum_{\forall j} \sum_{\forall a} \sum_{\forall s} \sum_{\forall k} [(Q_{(j,a,s)} * P_{(j,a,s)}) - T_FTE_{(a,s,k)}] * CP \end{aligned}$$

Este modelo representa el costo total promedio de una asignación, dado que el algoritmo de simheurística es de búsqueda por fuerza bruta probará un conjunto amplio de combinaciones de las variables $W_{(i,a,s,k)}$, $Q_{(j,a,s)}$, $P_{(j,a,s)}$ y $T_FTE_{(a,s,k)}$ usando la simulación y al final reportará los indicadores que se ajuste a unos criterios de salida, siendo este la asignación de mejor solución.

Las variables contributivas al modelo son aquellas que tienen un rango fluctuante probabilístico que afecta al modelo, el cual fue obtenido por medio del análisis de datos de entrada y salida previos al modelo.

Criterios de salida posteriores al modelo

α_z : Porcentaje de cumplimiento meta zona crítica. [99%]

β_z : Porcentaje de cumplimiento meta zona semicrítica. [95%]

γ_z : Porcentaje de cumplimiento meta zona no crítica. [90%]

Indicadores nivel de servicio

$$\text{Carga laboral (\%)} = \frac{\text{Tiempo total requerido}}{\text{Tiempo total asignado}} = \frac{\sum_{\forall j} \sum_{\forall a} \sum_{\forall s} (Q_{(j,a,s)} * P_{(j,a,s)})}{\sum_{\forall a} \sum_{\forall s} \sum_{\forall k} T_FTE_{(a,s,k)}}$$

$$\text{Porcentaje de cumplimiento (\%)} = \frac{\text{Número de veces que cumple con todas las tareas}}{100}$$

Estos indicadores se explican en el siguiente capítulo.

5. MÉTODO DE SOLUCIÓN

La Simheurística propuesta permite lidiar con la incertidumbre de la vida real de una manera natural al integrar varios supuestos en un modelo analítico prescriptivo manejable de dos fases: una determinística y otra estocástica. Esta integración combina ambas técnicas que proporcionan un análisis estadístico y de visualización basados en los datos de salida de la ejecución por medio de corridas (Juan, Faulin, Grasman, Rabe, & Figueira, 2015).

El método simheurístico propuesto tiene un enfoque híbrido que combina la heurística de Tibrewala, Philippe y Browne - TPB (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2008, pág. 677) y la simulación de MonteCarlo (Saldarriaga Restrepo, 2014, pág. 609), la cual se compone de los siguientes elementos: gestión de la demanda, codificación y generación de soluciones iniciales, y simulación de MonteCarlo. En la Figura 9, se presenta el diagrama de flujo del algoritmo simheurístico propuesto.

A continuación, se describe el diagrama de flujo del algoritmo simheurístico propuesto por fases y cada uno de sus componentes:

Fase 1: Diseño determinístico.

Inicia con el cálculo de los pronósticos de demanda de pacientes para 7 días de planeación por área hospitalaria así como con los requerimientos promedio de personal de aseo hospitalario que se necesitan de acuerdo con un histórico de datos de 1 año. Posteriormente estos requerimientos son los datos iniciales para desarrollar la Heurística TPB con el fin de asignar los días de descanso de cada AAH que serán de 2 días consecutivos cumpliendo con la legislación colombiana donde se genera la primera solución factible: Esquemas de descansos por turno y área hospitalaria.

Fase 2: Diseño estocástico.

Luego se distribuye la flota de AAH de acuerdo con unos criterios de repartición porcentuales a partir del pronóstico de demanda de pacientes ya calculado (aplica únicamente para hospitalización y UCI, ya que estas áreas se dividen en niveles o pisos), seguido de ello se arranca con la simulación de MonteCarlo donde los parámetros de entrada son las distribuciones de probabilidad que se ajustan a los tiempos de proceso de cada tarea, se define también una cantidad de tareas a realizar por turno y día, realizando corridas y/o iterando 100 escenarios para evaluar y validar 2 métricas planteadas que son: la carga laboral y el porcentaje de cumplimiento, donde la decisión es que si no se cumple con la meta definida de cumplimiento por zona hospitalaria se debe reprogramar el personal ya sea aumentando recursos o disminuyendo los mismos volviendo a la fase 1 determinística para generar un nuevo esquema de descansos y así volver a evaluar el tiempo del personal asignado hasta encontrar la mejor solución estocástica.

Inputs: I : Cantidad total de AAH, A : Áreas hospitalarias, $D_{a,k}$: Pronósticos de demanda de pacientes, $FTE_{Ja,s,k}$: Requerimiento inicial promedio de AAH, $Q_{j,a,s}$: Cantidad de tareas por área hospitalaria y turno, $P_{j,a,s}$: Tiempos estocásticos por tarea, L_a : Porcentaje de repartición, α : Porcentaje meta cumplimiento zona crítica, β : Porcentaje meta cumplimiento zona semicrítica, γ : Porcentaje meta cumplimiento zona no crítica.

Outputs: (1) Total costos por área hospitalaria, (2) Programación auxiliares de aseo hospitalario según área hospitalaria ($X_{i,a,s,k} - W_{i,a,s,k}$), (3) Porcentaje de cumplimiento, (4) Porcentaje de carga laboral de las auxiliares de aseo.

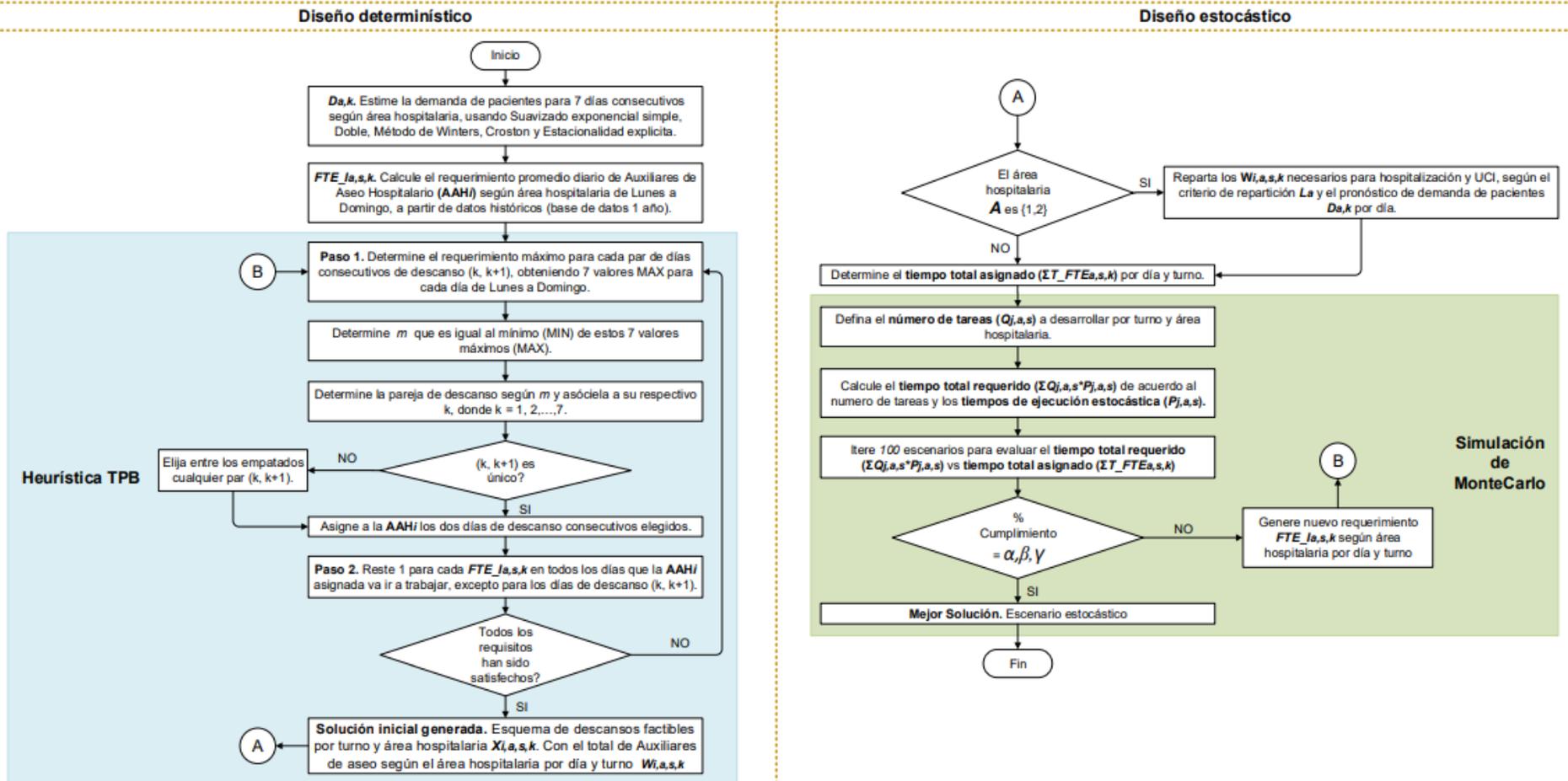


Figura 9. Diagrama de flujo del algoritmo Simheurístico

5.1. GESTIÓN DEMANDA DE PACIENTES

De acuerdo con Saldarriaga (2014), los modelos de series de tiempo se basan en la premisa de que los datos del pasado pueden predecir con cierta exactitud el comportamiento del futuro, para pronosticar la demanda de pacientes se tiene como base de información el histórico de salidas diarias de pacientes para el año 2017 en Hospitalización y UCI, así como la demanda de ocupación diaria por piso; en Cirugía se cuenta con la cantidad diaria de salas de cirugía programadas y para Urgencias la cantidad de ingresos de pacientes diarios.

En la Figura 10, se observa el comportamiento de los datos históricos en el área de cirugía respecto al número de cirugías que se realizaron por día, esta es una demanda que presenta picos y estacionalidad.

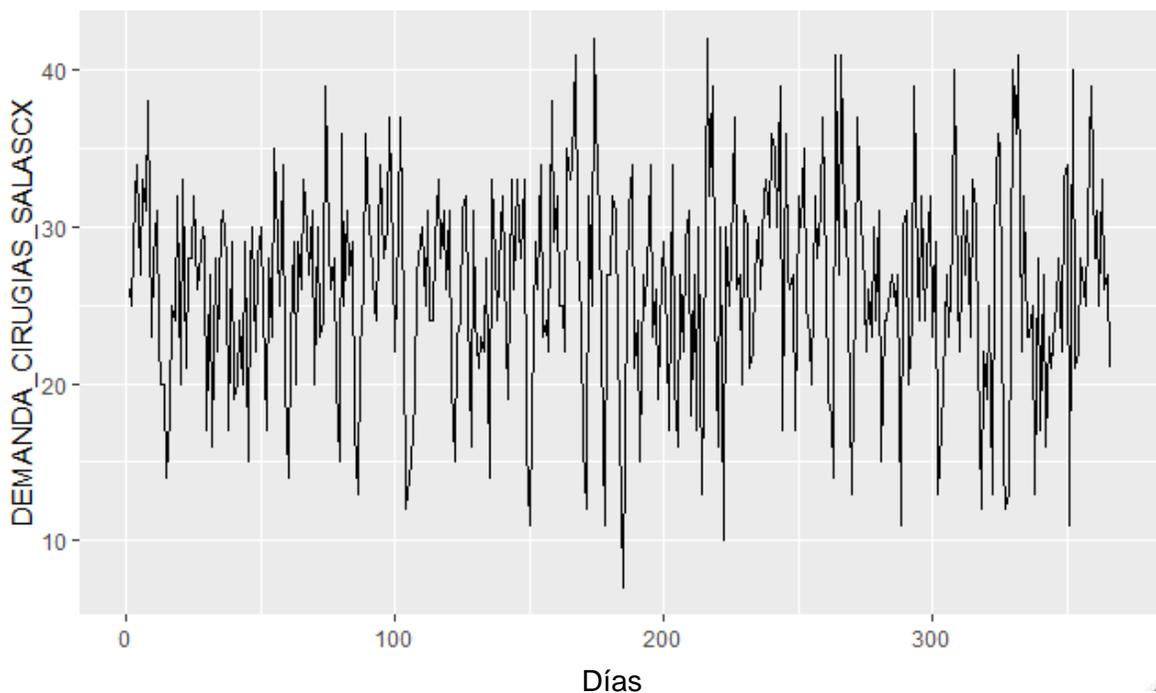


Figura 10. Demanda histórica de cirugías programadas diarias

5.1.1. Estimación demanda de pacientes

$D_{a,k}$: Pronóstico demanda de pacientes del área a en el día k .

Los métodos que se usaron para determinar la demanda de pacientes fueron: suavizado exponencial simple, suavizado exponencial doble, método de Winters para demandas que presentan tendencia, y estacionalidad; por otro lado, se usaron los métodos de Croston y estacionalidad explícita para demandas erráticas. Se usaron las bibliotecas “*forecast*” y “*tsintermittent*” del software R y RStudio.

I. Suavizado exponencial simple, suavizado exponencial doble y Método Winters

Se usaron estos tipos de pronósticos en las áreas de Hospitalización, UCI adultos, Cirugía y Urgencias. Para estas áreas se calculó la demanda futura para los siguientes 7 días consecutivos de acuerdo con el horizonte de planeación planteado de una semana. de la semana En la Figura 11, se presenta los resultados del método de suavizado exponencial simple en el área de cirugía. En la Figura 12, se muestran los resultados del método de suavizado exponencial doble en el área de cirugía y en la Figura 13, se muestran los resultados del método de winter en el área de cirugía.

```

Error measures:
                ME      RMSE      MAE      MPE      MAPE      MASE
Training set 0.000336442 6.75004 5.361203 -9.002575 25.00725 0.7415078
                ACF1
Training set 0.1357667

Forecasts:
Point Forecast  Lo 80      Hi 80      Lo 95      Hi 95
367      26.11243 17.43817 34.78669 12.8463 39.37856
368      26.11243 17.43817 34.78669 12.8463 39.37856
369      26.11243 17.43817 34.78669 12.8463 39.37856
370      26.11243 17.43817 34.78669 12.8463 39.37856
371      26.11243 17.43817 34.78669 12.8463 39.37856
372      26.11243 17.43817 34.78669 12.8463 39.37856
373      26.11243 17.43817 34.78669 12.8463 39.37856

```

Figura 11. Pronósticos método suavizado exponencial simple para 7 días área cirugía

```

Error measures:
                ME      RMSE      MAE      MPE      MAPE      MASE
Training set -0.06219375 6.857966 5.434285 -9.286504 25.32078 0.7516158
                ACF1
Training set 0.1423575

Forecasts:
Point Forecast  Lo 80      Hi 80      Lo 95      Hi 95
367      25.99693 17.15967 34.83419 12.48150 39.51235
368      25.99377 17.15400 34.83355 12.47451 39.51304
369      25.99062 17.14831 34.83292 12.46748 39.51376
370      25.98746 17.14261 34.83232 12.46042 39.51451
371      25.98431 17.13688 34.83174 12.45333 39.51529
372      25.98115 17.13113 34.83118 12.44621 39.51610
373      25.97800 17.12536 34.83064 12.43905 39.51694

```

Figura 12. Pronósticos método suavizado exponencial doble para 7 días área cirugía

| Error measures: | | | | | | | |
|-----------------|-------------|----------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| | ME | RMSE | MAE | MPE | MAPE | MASE | ACF1 |
| Training set | -0.09109571 | 6.742411 | 5.272919 | -8.824665 | 24.419 | 0.7611491 | 0.1147688 |
| Forecasts: | | | | | | | |
| Point | Forecast | Lo 80 | Hi 80 | Lo 95 | Hi 95 | | |
| 53.28571 | 25.34584 | 16.57225 | 34.11944 | 11.92778 | 38.76390 | | |
| 53.42857 | 26.62176 | 17.83503 | 35.40849 | 13.18362 | 40.05991 | | |
| 53.57143 | 27.21434 | 18.41444 | 36.01423 | 13.75606 | 40.67261 | | |
| 53.71429 | 28.34280 | 19.52971 | 37.15588 | 14.86435 | 41.82124 | | |
| 53.85714 | 28.91216 | 20.08586 | 37.73846 | 15.41350 | 42.41082 | | |
| 54.00000 | 25.28450 | 16.44495 | 34.12404 | 11.76557 | 38.80342 | | |
| 54.14286 | 23.79444 | 14.94162 | 32.64727 | 10.25522 | 37.33367 | | |

Figura 13. Pronósticos método Winters para 7 días área cirugía

En cirugía, el método que tuvo menor desviación absoluta media (MAD) fue el método de Winters (MW) con un MAD de 5,27, el método de suavización exponencial simple (SES) se encuentra en segundo lugar con un MAD de 5,36 y tercer lugar suavización exponencial doble (SED) con un MAD de 5,43. En la tabla 7, se observan las métricas de la calidad de cada método de pronósticos para el área de cirugía.

Tabla 7. Métricas de previsión área cirugía

| CIRUGIA | SES | SED | MW |
|-------------|--------|--------|--------|
| MAD | 5,36 | 5,43 | 5,27 |
| MSE | 6,75 | 6,85 | 6,74 |
| MAPE | 25,00% | 25,32% | 24,41% |

De acuerdo con estos resultados, se eligen los pronósticos del método winters para el área de cirugía, ya que presentan menos error en comparación con el SES y SED. En la tabla 8, se muestran los pronósticos de salas de cirugía a desinfectar de lunes a domingo.

Tabla 8. Pronósticos cantidad de cirugías

| PRONÓSTICOS CANTIDAD DE CIRUGIAS | | | | | | | |
|----------------------------------|----------|----------|-----------|---------|----------|---------|----------|
| DÍA | LUNES | MARTES | MIÉRCOLES | JUEVES | VIERNES | SÁBADO | DOMINGO |
| Media | 25,34584 | 26,62176 | 27,21434 | 28,3428 | 28,91216 | 25,2845 | 23,79444 |
| Desviación estándar | 2,59662 | 2,59662 | 2,59662 | 2,59662 | 2,59662 | 2,59662 | 2,59662 |

II. Método Croston y estacionalidad explícita

Se usaron estos métodos únicamente para UCI Neonatal ya que se presentan días en los que no hay salida de recién nacidos, sino que se encuentran aún en observación (demanda errática). En la figura 14, se presenta los resultados del método de croston y en la figura 15 los resultados del método de estacionalidad explícita (STLF) usado en UCI Neonatal para pronosticar la cantidad de salidas de recién nacidos en los siguientes 7 días.

| Error measures: | | | | | | | |
|-----------------|------------|----------|-----------|------|------|-----------|------------|
| | ME | RMSE | MAE | MPE | MAPE | MASE | ACF1 |
| Training set | 0.01999092 | 1.036568 | 0.8588233 | -Inf | Inf | 0.7778425 | 0.03984182 |
| Forecasts: | | | | | | | |
| | Point | Forecast | | | | | |
| 367 | | 1.746365 | | | | | |
| 368 | | 1.746365 | | | | | |
| 369 | | 1.746365 | | | | | |
| 370 | | 1.746365 | | | | | |
| 371 | | 1.746365 | | | | | |
| 372 | | 1.746365 | | | | | |
| 373 | | 1.746365 | | | | | |

Figura 14. Pronósticos método Croston para 7 días área UCI Neonatal

| Error measures: | | | | | | | |
|-----------------|--------------|-----------|-------------|----------|-------------|-----------|------------|
| | ME | RMSE | MAE | MPE | MAPE | MASE | ACF1 |
| Training set | 0.0003623753 | 0.9295776 | 0.756402 | -Inf | Inf | 0.6588017 | 0.02756549 |
| Forecasts: | | | | | | | |
| | Point | Forecast | Lo 80 | Hi 80 | Lo 95 | Hi 95 | |
| 9.714286 | | 1.4922306 | 0.29766066 | 2.686801 | -0.33470647 | 3.319168 | |
| 9.738095 | | 1.2575616 | 0.06299162 | 2.452132 | -0.56937552 | 3.084499 | |
| 9.761905 | | 1.7068312 | 0.51226125 | 2.901401 | -0.12010589 | 3.533768 | |
| 9.785714 | | 1.2244234 | 0.02985338 | 2.418993 | -0.60251376 | 3.051360 | |
| 9.809524 | | 1.4244851 | 0.22991513 | 2.619055 | -0.40245201 | 3.251422 | |
| 9.833333 | | 1.6750989 | 0.48052896 | 2.869669 | -0.15183819 | 3.502036 | |
| 9.857143 | | 1.1256214 | -0.06894863 | 2.320191 | -0.70131578 | 2.952558 | |

Figura 15. Pronósticos método estacionalidad explicita para 7 días área UCI neonatal

En UCI Neonatal, el método que tuvo menor desviación absoluta media (MAD) fue el método de estacionalidad explicita (STLF) con un MAD del 0,75 y el método de croston (MC) se encuentra en segundo lugar con un MAD de 0,858. En la tabla 9, se observan las métricas de la calidad de cada método de pronósticos para el área de UCI Neonatal.

Tabla 9. Métricas de previsión área UCI Neonatal

| UCI Neonatal Error | MC | STLF |
|--------------------|-------|-------|
| MAD | 0,858 | 0,756 |
| MSE | 1,04 | 0,93 |
| MAPE | INF | INF |

Se eligen los pronósticos del método estacionalidad explicita para el área de UCI Neonatal, ya que presenta menos error en comparación con el MC. En la tabla 10, se muestran los pronósticos de salida de recién nacidos para esta área de lunes a domingo.

Tabla 10. Pronósticos salidas UCI Neonatal

| PRONOSTICO SALIDAS UCI NEONATAL | | | | | | | |
|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| DÍA | LUNES | MARTES | MIÉRCOLES | JUEVES | VIERNES | SÁBADO | DOMINGO |
| Media | 1,4922306 | 1,2575616 | 1,7068312 | 1,2244234 | 1,4244851 | 1,6750989 | 1,1256214 |
| Desviación estándar | 0,96415 | 0,96415 | 0,96415 | 0,96415 | 0,96415 | 0,96415 | 0,96415 |

5.2. CODIFICACIÓN Y GENERACIÓN DE SOLUCIONES INICIALES

$$X_{(i,a,s,k)} = \begin{cases} 1 & \text{si la AAH } i \text{ es asignada al área } a \text{ en el turno } s \text{ del día } k \\ 0 & \text{de lo contrario} \end{cases} \quad \forall i \in I, \forall s \in S, \forall k \in K, \forall a \in A$$

$W_{(i,a,s,k)}$ = Número total de AAH i del área hospitalaria a del turno s en el día k .

La solución inicial se calcula usando el algoritmo TPB (Sule, 2008), definiendo previamente el FTE (Full-Time Equivalent) por área hospitalaria y turno laboral $FTE_{I_{a,s,k}}$. La codificación establece que los requerimientos por cada día de la semana varían según el histórico del personal de aseo hospitalario programado en 1 año, estos valores serán el promedio de dichos datos históricos. Los descansos serán programados para dos días consecutivos cumpliendo con la legislación colombiana. En la figura 16, se encuentra el pseudo-código de la heurística TPB.

Pseudocódigo Heurística TPB

```

Inicializar datos {0}
Seleccionar Area hospitalaria -a-
Seleccionar Turno -s-
Generar requerimientos de personal iniciales para cada día -k- FTE_I(a,s,k)
Crear lista de personal L_AAHA, vacía
Mientras Requerimientos iniciales insatisfechos - SUMA(FTE_I(a,s,.))>0
    Crear AAH con todos los días laborando
    Para cada día -k- de la semana
        Calcular M(k) = max(FTE_I(a,s,k),FTE_I(a,s,k+1))
    Fin Para
    Calcular Mmin=min(M(.))
    Seleccionar cualquier día j tal que M(j)=Mmin
    Al AAH actual, asignar los días j y j+1 como días de descanso
    Para cada día -k- de la semana
        Si k<>j y k <>j+1
            Disminuya 1 a FTE_I(a,s,k) - FTE_I(a,s,k)= FTE_I(a,s,k)-1
        Fin Si
    Fin Para
    Agregar AAH a lista de personal
Fin Mientras
Inicializar lista de personas trabajando -W- y lista de personas descansando -OFF-
Para cada persona -p- en L_AAHA
    Para cada día -k- de la semana
        Si p(k) labora
            W(k)=W(k)+1
        Fin Si
        Si p(k) descansa
            OFF(k)=OFF(k)+1
        Fin Si
    Fin Para
Fin Para
Retornar W

```

Figura 16. Pseudocódigo Heurística TPB

La Figura 17, presenta un ejemplo de un área hospitalaria en este caso cirugía con unos requerimientos iniciales de personal promedio de lunes a domingo $FTE_{a,s,k}$ y el turno laboral que en este caso es el de la mañana.

| | | | | | | | | | |
|---|--|--------|---|----|---|---|---|---|-------|
| 1 | | | | | | | | | |
| 2 | TURNO | MAÑANA | | | | | | | |
| 3 | FTE INICIAL | 3 | | | | | | | |
| 4 | Requerimientos iniciales promedio por día de la semana | | | | | | | | |
| 5 | Día | L | M | MR | J | V | S | D | TOTAL |
| 6 | Requerimiento | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 19 |
| 7 | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | |

Figura 17. Requerimientos iniciales promedio de personal área cirugía turno de la mañana

La Figura 18, muestra la solución factible en el área de cirugía en el turno de la mañana usando la heurística TPB, con un FTE inicial de 3 auxiliares de aseo hospitalario (AAH) y 7 días de planeación, donde se observa que el FTE requerido para este caso es de 4 AAH y no de 3 AAH como inicialmente se calculó con el promedio histórico, esta cuarta persona se conoce con el rol de cubre novedades o cubre compensatorios. La eficiencia de la asignación de personal es de un 95% inicialmente.

| | | | | | | | | | |
|--|--------------|---------------|------------------|---------------|----------------|---------------|----------------|--------------|-------------------|
| TURNO | MAÑANA | | | | | | | | |
| FTE INICIAL | 3 | | | | | | | | |
| Día | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes | Sábado | Domingo | | |
| Requerimiento | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | | |
| Auxiliar de aseo | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes | Sábado | Domingo | | |
| 1 | LIBRE | X | X | X | X | X | LIBRE | | |
| 2 | X | X | X | X | X | LIBRE | LIBRE | | |
| 3 | X | LIBRE | LIBRE | X | X | X | X | | |
| 4 | X | X | X | LIBRE | LIBRE | X | X | | |
| <i>Disponibilidad diaria y requerimientos basados en la asignación de personal</i> | | | | | | | | | |
| Día | L | M | MR | J | V | S | D | Total | Eficiencia |
| Capacidad, C | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 20 | 95% |
| Requisitos, R | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 19 | |
| Holgura, C-R | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | |
| OFF,W-C | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | | |

Figura 18. Codificación solución inicial área cirugía turno mañana.

Los resultados de este primer esquema de descanso y solución factible establecen que se satisface el total de requerimientos por día y que los descansos de 2 días consecutivos se cumplen asiendo la asignación correspondiente a la variable de decisión $X_{(i,a,s,k)}$; la disponibilidad diaria de las AAH se resume al final de la figura 17 donde la capacidad (C) es el total de AAH programado por cada día equivalentes a la segunda variable de decisión $W_{(i,a,s,k)}$, los requisitos (R) son los mismos requerimientos iniciales, la Holgura (C-R) equivale a la diferencia entre el total de AAH programadas por día y el requerimiento promedio diario por día, para este caso se tiene una única holgura (C-R) de 1 persona el

día jueves y OFF (W-C) es la diferencia entre las personas que descansan el día correspondiente respecto al total de FTE requerido según la heurística.

Este método reduce la cantidad de capacidad de holgura asignada a los días cuyos requisitos son bajos y obliga a programar primero los días que tienen requisitos altos. El método reconoce también algunos de los aspectos contractuales y de comportamiento de la programación de la fuerza de trabajo en las reglas para romper los empates. Es necesario aplicar reglas diferentes para encontrar las parejas de días libres y decidir cómo romper los empates, a fin de asegurar que la capacidad de holgura total sea mínima.

5.3. SIMULACIÓN DE MONTECARLO

Para realizar la simulación de MonteCarlo se requiere conocer las distribuciones de probabilidad que se ajusten a los tiempos de cada tarea por área hospitalaria, para ello se realizó un estudio de tiempos y movimientos (T&M) (Cruelles Ruiz, 2013), en la Clínica La Colina para conocer los tiempos de respuesta y la cantidad de actividades con sus respectivas frecuencias.

El estudio de T&M se desarrolló en un tiempo de 6 meses donde se realizó un muestreo por turno y área hospitalaria utilizando la técnica de medición de tiempos con cronometraje. A continuación se describe la técnica utilizada:

I. Toma de tiempos y análisis de datos

Esta toma de datos se compone de tres pasos. a) *desglose de la tarea hospitalaria por área y turno laboral en operaciones y delimitación según el protocolo de limpieza y desinfección*, b) *determinación del número de mediciones de la tarea* y c) *cronometraje: registro de la tarea en relación con el tiempo de proceso*.

- a. *Desglose del proceso en operaciones y delimitaciones.* En el trabajo de campo se identificaron tareas con operaciones como el alistamiento de implementos de aseo, transporte a la actividad, ejecución del protocolo, inspección de finalización del protocolo, transporte a la pileta y el lavado de utensilios. En la figura 19, se observa el esquema general de las operaciones que compone cada tarea con sus operaciones.



Figura 19. Esquema general de operaciones por tarea

Las operaciones de espera y break son los tiempos de proceso de demoras (tiempo muerto) y el tiempo de descanso de la persona en el turno respectivamente, el tiempo de break establecido por la clínica es de 15 minutos de descanso.

Se diseñó un formato de registro de tareas con el desglose de este, delimitando claramente un hito inicial (donde inicia la tarea con la primera operación) y un hito final (donde termina la última operación de la tarea), como se observa en la figura 20.

| Formato de toma de datos para tareas con un interviniente | | | | | | | | | | |
|---|----------------|------------------------------------|-----------------------------|----------------------|--------|--------------------|-------------------|-------------|----|-----|
| Jornada Mañana | Diagrama | Proceso de Limpieza y Desinfección | | RESUMEN | | | | | | |
| | Servicio | Don Vapor | | Actividad | Actual | | %tarea | | | |
| | Trabajo | 3 piso - Hospitalización | | Operación | 18953 | 65,81% | | | | |
| | Método | Actual | Propuesto | Transporte | 3040 | 617 | 10,56% | 2,14% | | |
| | Lugar: | Clinica La Colina | | Espera | | | 0,00% | | | |
| | | | | Inspección-operación | 1443 | | 5,01% | | | |
| | Operarios: | 1 | | Almacenamientos | 2342 | 950 | 8,13% | 3,30% | | |
| | Compuesto por: | Controller de T&M | | Distancia (metros) | 3035 | | | | | |
| | Aprobado por: | | | Tiempo (Min-Hombre) | 480 | | | | | |
| | | | | Costo | | | | | | |
| | | | Break (Sin almuerzo) | 1455 | | | | | | |
| | | | % Break | 5,05% | | | | | | |
| | | | Total | 100,00% | | | | | | |
| PP | Nº | Actividad | Descripción de la operación | Lugar | Tipo | Distancia (metros) | Tiempo (segundos) | % Operación | VA | NVA |
| | 1 | Alistar | | | | | 62 | 0,22% | | |
| | 2 | Transporte | | | | | 165 | 0,57% | | |
| | 3 | Actividad multiple | Recoger insumos | | | | 2191 | 7,61% | | |
| | 4 | Inspección | | | | | 114 | 0,40% | | |
| | 5 | Transporte | | | | | 149 | 0,52% | | |
| | 6 | Lavado de utensilios | | | | | 133 | 0,46% | | |

Figura 20. Formato de estudio de T&M, registro de tiempos por tarea

- b. *Determinación del número de mediciones de la tarea.* Consiste en el cálculo del número de mediciones necesarias para obtener un tiempo normal de cada operación con un determinado grado de precisión, en el anexo 4 se observa la tabla de Mundel que fue la utilizada para calcular este valor ya que tiene la desviación del 5% y un 95% de probabilidad de ocurrencia.

Inicialmente por tarea se realizaron 10 mediciones aleatorias con los tiempos de la tarea, con el fin de aplicar la fórmula del cociente del valor mayor (A) y el valor menor (B), la fórmula es la siguiente:

$$\frac{A - B}{A + B}$$

El resultado de esta fórmula indicara, según la tabla de Mundel, el número de observaciones necesarias para una muestra representativa, como se observa en la figura 21, el resultado de las 10 mediciones iniciales por cada tarea con las operaciones respectiva, en el ejemplo se observa que en cirugía la actividad de limpieza de pasillo se requieren 108 datos para establecer el tiempo de esta tarea y para baños de enfermería se requieren 120 datos para establecer el tiempo de la tarea.

- c. *Cronometraje.* Registro de actividad y tiempo, acá se estableció los datos necesarios para el análisis y procesamiento de datos.

| NÚMERO DE OBSERVACIONES NECESARIAS PARA OBTENER EL TIEMPO NORMAL | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|----------|---------------------------------------|-----|-----|-----|-----|---------------------|-----|---|---------------|-----|
| Operación | Servicios generales | | | Empresa | Compass Group Services Colombia S.A | | | | | TABLA DE MUNDEL | |  | | |
| Fecha | 15/08/2017 | | | Proceso | Protocolos de Limpieza & Desinfección | | | | | 95% de Probabilidad | | | | |
| Analista | Bryan David Alarcón Medina | | | Área | Cirugía | | | | | | | | | |
| Operario | Auxiliar de aseo hospitalario | | | Producto | Limpieza y desinfección hospitalaria | | | | | | | | | |
| P | Nro | Descripción de la Operación | Toma de Tiempos (segundos) | | | | | | | | | | (A-B) / (A+B) | n |
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | | |
| Pasillo | 1 | Alistamiento de elementos de aseo | 554 | 864 | 454 | 812 | 745 | 848 | 995 | 664 | 424 | 755 | 0,40 | 108 |
| | 2 | Transporte al pasillo | | | | | | | | | | | | |
| | 3 | Moppear | | | | | | | | | | | | |
| | 4 | Trapear | | | | | | | | | | | | |
| | 5 | Inspección | | | | | | | | | | | | |
| | 6 | Transporte a la piletta | | | | | | | | | | | | |
| | 7 | Lavado de utensilios | | | | | | | | | | | | |
| Baños enfermería | 8 | Alistamiento de elementos de aseo | 735 | 986 | 964 | 763 | 512 | 752 | 605 | 807 | 716 | 398 | 0,42 | 120 |
| | 9 | Transporte al baño de enfermería | | | | | | | | | | | | |
| | 10 | Limpiar baño según protocolo | | | | | | | | | | | | |
| | 11 | Desinfectar baño según protocolo | | | | | | | | | | | | |

Figura 21. Numero de muestra necesarias por tarea

5.3.1. Análisis de entrada

$P_{j,a,s}$: Tiempo de procesamiento aleatorio de la tarea j del área hospitalaria a en el turno s .

Mediante el estudio de tiempos y movimientos realizado en cada área hospitalaria, se obtuvieron los tiempos por cada actividad de aseo mediante la toma de tiempos en campo con cada auxiliar de aseo, así como de la revisión de los formatos de registro.

Se utilizó el software R con las bibliotecas “*fitdistrplus*” y “*logspline*” para realizar el análisis estadístico y determinar los parámetros de las distintas distribuciones de probabilidad con las cuales se comportan los tiempos estocásticos de las tareas de aseo hospitalario $P_{j,a,s}$. En el Anexo 4 se encuentra el resumen de todos los parámetros y las pruebas estadísticas (ajuste y bondad) de las áreas de Hospitalización, UCI adultos, UCI neonatal, Cirugía y Urgencias.

En la mayoría de los tiempos, las tareas de aseo hospitalario se ajustan a distribuciones Uniforme, Normal y Log normal.

En la figura 22, se observa un ejemplo de la actividad de desinfección recurrente en salas de cirugía (CX), en donde los tiempos de proceso se ajustaron a una distribución uniforme con parámetros máximos y mínimos entre 1600 y 1003 segundos. El histograma refleja la distribución de los datos y muestra una simetría uniforme.

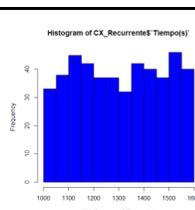
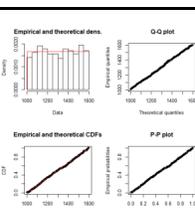
| Tarea | Histograma | Gráfica q - q | Distribución | Parámetros | Prueba | | | | |
|---------------|---|---|--------------|------------|--------------------|-------------------------------|-------|------------|-------|
| | | | | | Kolmogórov-Smirnov | | | | |
| CX recurrente |  |  | Uniforme | MAX | 1.600 | Tamaño de la muestra | 469 | Rechazo? | No |
| | | | | | | D | 0,037 | | |
| | | | | MIN | 1.003 | valor-p | 0,539 | | |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_α | 0,075 |

Figura 22. Prueba de ajuste y bondad desinfección recurrente salas de cirugía

5.3.2. Modelo de simulación

Se considera para el modelo de simulación lo siguientes pasos:

i. Criterio de repartición AAH según área hospitalaria

Para la repartición del personal de aseo hospitalario se tiene como base si el área hospitalaria se divide o no en niveles o subáreas. Si se divide en niveles, se inicia de la solución factible de la versión determinista (heurística TPB), donde se le ingresa el pronóstico de la demanda de pacientes por día y por nivel, para evaluar en que piso se podría encontrar con menor o mayor demanda de pacientes para los 7 días de planeación.

Esta repartición solo aplica para el área de hospitalización y UCI, ya que estas áreas se dividen en pisos.

Tratando de imitar la realidad, en el área semicrítica de Hospitalización en Clínica La Colina, esta se divide con cuatro niveles distribuidos desde el 3 piso hasta el 6 piso, donde la asignación de AAH se da de acuerdo con la siguiente expresión:

$$L_a: \left\{ \begin{array}{l} \text{Impar,} \quad \text{si } W_{(i,a,s,k)} = 7 \text{ el \% de repartición es } (L_3 = 0.1, L_4 = 0.3, L_5 = 0.3, L_6 = 0.3) \\ \text{Par,} \quad \text{si } W_{(i,a,s,k)} = 8 \text{ el \% de repartición es } (L_3 = 0.25, L_4 = 0.25, L_5 = 0.25, L_6 = 0.25) \end{array} \right\}$$

A partir de esta repartición porcentual se estableció que si el $W_{(i,a,s,k)}$ es impar, se evalúa los 4 pronósticos de demanda por piso y el menor de los 4 el porcentaje de repartición es del 10% y los 3 pisos restantes del 30%; si el $W_{(i,a,s,k)}$ es par, el porcentaje para cada uno de los pisos será equitativo con un porcentaje del 25%. En la Tabla 11, se observa la repartición de AAH en hospitalización para el turno de la mañana según el criterio.

Tabla 11. Repartición AAH según pronóstico de demanda en hospitalización turno mañana

| TURNO MAÑANA HOSPITALIZACIÓN | | | | | | | |
|------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Día | L | M | MR | J | V | S | D |
| W | 7 | 7 | 7 | 7 | 8 | 7 | 7 |
| 3 PISO | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 4 PISO | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 5 PISO | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 6 PISO | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |

Por ejemplo, para el lunes el número total de AAH $W_{(i,a,s,k)} = 7$, por lo tanto, la menor demanda en estos 4 pisos fue la del 3 piso por consiguiente se asigna 1 persona que representa el 10% de los 7 programados y los demás pisos (4-5-6 piso) se reparten de a 2 AAH por piso que representa el 30% individual. Y Cuando el número total es par $W_{(i,a,s,k)} = 8$, como es el viernes, sin importar el pronóstico los porcentajes son equitativos del 25% que equivalen a 2 personas por piso.

Ahora bien, para el área crítica UCI en Clínica La Colina, esta se divide en dos niveles: UCI Adultos y UCI Neonatal, por consiguiente, se definió otro tipo de criterio de repartición ya que se reduce el número de pisos o niveles, donde el criterio de asignación de AAH se establece en la siguiente expresión:

$$L_a: \begin{cases} \text{Impar,} & \text{si } W_{(i,a,s,k)} = 3 \text{ el \% de repartición es } (L_7 = 0.6, L_8 = 0.4) \\ \text{Par,} & \text{si } W_{(i,a,s,k)} = 2 \text{ el \% de repartición es } (L_7 = 0.5, L_8 = 0.5) \end{cases}$$

A partir de esta repartición porcentual se estableció que si el $W_{(i,a,s,k)}$ es impar, se evalúa los 2 pronósticos de demanda por piso y el piso que tenga la menor de los 2 piso el porcentaje de repartición es del 40% y para el de mayor demanda es del 60%. si el $W_{(i,a,s,k)}$ es par, el porcentaje para cada uno de los pisos será equitativo con un porcentaje del 50%

En la Tabla 12, se observa la repartición de AAH en UCI para el turno de la mañana según el criterio.

Tabla 12. Repartición AAH según pronóstico de demanda en UCIs turno mañana

| TURNO MAÑANA UCIS | | | | | | | |
|---------------------|---|---|----|---|---|---|---|
| Día | L | M | MR | J | V | S | D |
| W | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 |
| UCI ADULTOS | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| UCI NEONATAL | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Por ejemplo, para el lunes el número total de AAH es $W_{(i,a,s,k)} = 2$, por lo tanto, en cada piso de UCI se asigna 1 persona que representa el 50% de las 2 programados. Y Cuando el número total AAH es $W_{(i,a,s,k)} = 3$, se evalúa el pronóstico de demanda y el que tiene menor demanda el porcentaje de repartición es del 40% para este piso y el 60% para el presenta mayor demanda de pacientes según el pronóstico, como es el caso del viernes donde se reparten 2 AAH en UCI adultos y 1 AAH en UCI neonatal.

ii. Parámetros de tiempos estocásticos para cada tarea como variables aleatorias.

De acuerdo con el estudio de tiempo y movimientos y el análisis de entrada para establecer los parámetros de estos tiempos de proceso, las tareas siguen distribuciones de probabilidad Uniforme, Normal y Log normal, ver anexo 4 para ver los resultados de los datos.

Para obtener los valores de tiempos estocásticos es necesario generar números aleatorios que correspondan a la distribución de probabilidad que se estima de los datos y así generar varios escenarios de tiempos de respuesta para cada tarea.

La Tabla 13, se muestra un ejemplo sobre las variables de tiempos estocásticos en el área de cirugía, donde las tareas de limpieza y desinfección son cafetería, vestieres, sala de partos, cuarto médico, salas CX, pasillo, lavamanos, baños pacientes, pileta, cuarto temporal de residuos, camillas y salas de recuperación. En esta tabla también se observa una columna de cantidad que equivale a la cantidad de veces que se debe realizar la tarea, por ejemplo, para la cafetería es 1 vez al día, el Vestier H-M (Hombres- Mujeres) la cantidad es 2 porque son 2 vestieres distintos, la sala de partos es 1 vez al día, el cuarto medico son 2 porque son 2 cuartos médicos en esta área, la entrega de dotación y la tarea rutinaria de salas CX son tareas dinámicas que depende del pronóstico y son cambiantes por día y turno laboral, así como las de aislamiento salas CX que también dependen de la demanda, la recepción se hace 2 veces al día por la higienización del área, el pasillo es único (1), los lavamanos son en total 3 repartidos en el área, los baños de enfermería son 2 así como los

baños de pacientes, hay una pileta, una sala de espera, un cuarto temporal de residuos, las desinfecciones terminales son 2 por día y se hacen por la noche, las salas de recuperación así como las camillas también son tareas dinámicas y varían según el pronóstico.

Tabla 13. Tiempos estocásticos para cada tarea en el área de cirugía

| TAREA | DISTRIBUCIÓN | PARÁMETROS | CANTIDAD |
|--------------------------|--------------|-----------------------------------|----------|
| Cafetería | Uniforme | MIN 905 MAX 1200 | 1 |
| Vestier H-M | Uniforme | MIN 1200 MAX 1500 | 2 |
| Sala de partos | Normal | μ 1774,035 σ 402,746 | 1 |
| Cuarto de médicos | Normal | μ 1188,074 σ 287,178 | 2 |
| Entregar dotación médica | Uniforme | MIN 100 MAX 200 | 23 |
| Rutina Salas CX | Uniforme | MIN 1003 MAX 1600 | 23 |
| Aislamiento Salas CX | Uniforme | MIN 2900 MAX 3699 | 3 |
| Recepción de CX | LogNormal | μ 6,4098 σ 0,4365 | 2 |
| Pasillo | Uniforme | MIN 622 MAX 945 | 1 |
| Lavamanos | Uniforme | MIN 300 MAX 500 | 3 |
| Baños pacientes | LogNormal | μ 6,79381 σ 0,45475 | 2 |
| Baños de enfermería | Normal | μ 883,6271 σ 203,8696 | 2 |
| Pileta | Uniforme | MIN 1800 MAX 2199 | 1 |
| Sala de espera | Uniforme | MIN 1104 MAX 1479 | 1 |
| Cuarto temporal residuos | Normal | μ 1776,4558 σ 402,2534 | 1 |
| Desinfección terminal CX | Uniforme | MIN 5500 MAX 9197 | 2 |
| Salas de recuperación | Uniforme | MIN 602 MAX 800 | 15 |
| Camillas | Normal | μ 148,96202 σ 35,16687 | 11 |

iii. Modelo de simheurística en Excel que representa la problemática.

En la Figura 23, se ha construido la propuesta del modelo de simheurística para los datos y las variables que intervienen en el proceso de limpieza y desinfección hospitalaria. Primero la etapa del cálculo de los pronósticos, luego la asignación y programación del personal de AAH con la heurística TPB y por último la simulación de escenarios con la técnica de MonteCarlo donde se evalúan las métricas asociadas a la carga laboral y al porcentaje de cumplimiento.

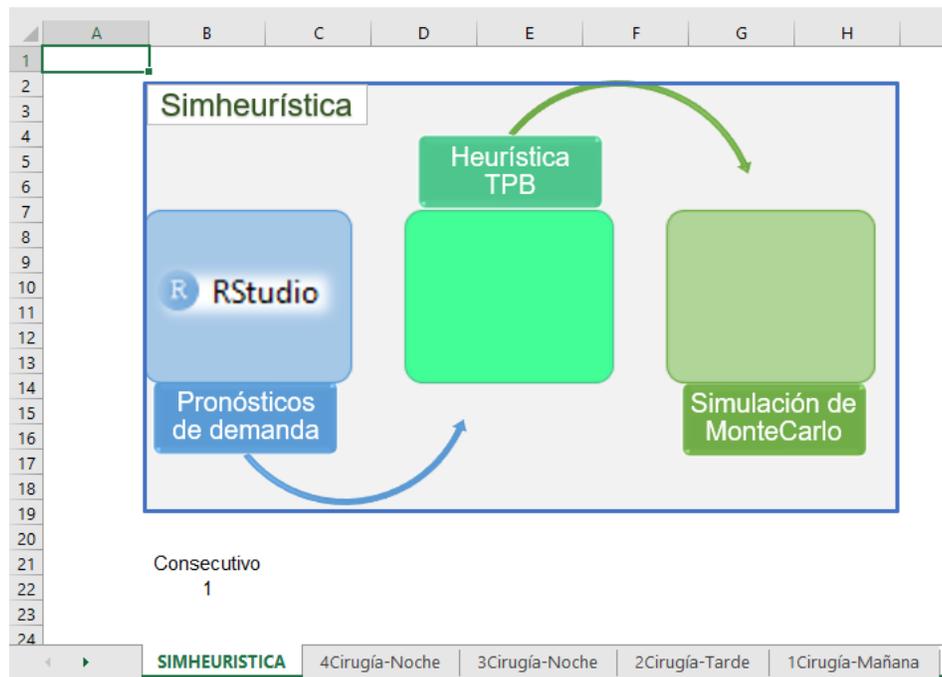


Figura 23. Modelo de simheurística en Excel

En la primera parte se calcula los pronósticos de demanda en el software RStudio en este caso el área de cirugía y dichos resultados se transfieren a una hoja denominada “Pronósticos salas CX”, como se observa en la figura 24.

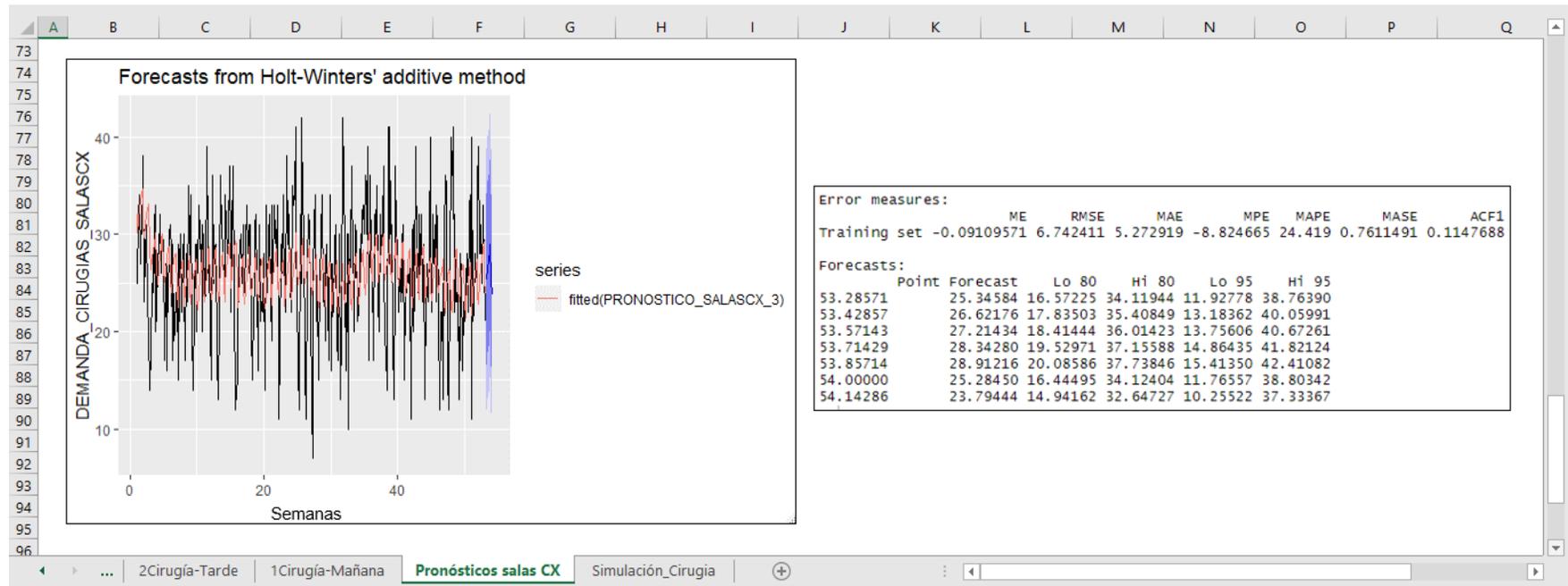


Figura 24. Hoja de pronósticos de demanda salas de cirugía en Excel

En la segunda parte se aplica la heurística TPB donde lo primero es seleccionar el área hospitalaria en este caso se seleccionó el área de cirugía, se colocan los requerimientos promedio de lunes a domingo los cuales son: el lunes se requieren 3 AAH, el martes se requieren 3 AAH, el miércoles se requieren 3 AAH, el jueves se requieren 2 AAH, el viernes se requieren 3 AAH, el sábado se requieren 3 AAH y el domingo se requieren 2 AAH, posteriormente se selecciona el turno laboral en este caso el turno de la mañana es el seleccionado, como se observa en la figura 25.

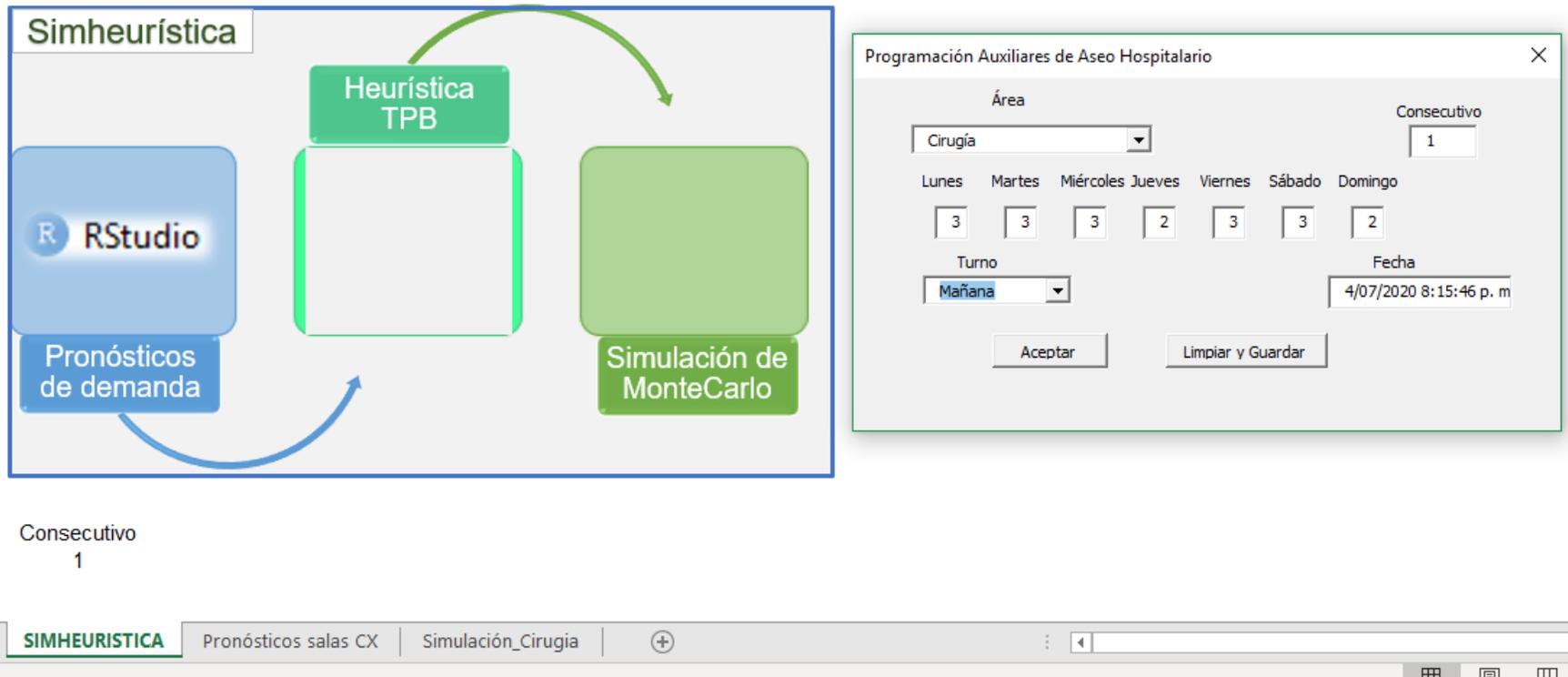


Figura 25. Interfaz de la heurística TPB con datos de entrada

En la tercera parte, los resultados de la heurística TPB que son los $W_{(i,a,s,k)}$ se enlazan con la simulación de MonteCarlo para que el total de AAH que se requieren de lunes a domingo se tomen por día para así simular los diferentes escenarios, estos $W_{(i,a,s,k)}$ se encuentran en la parte superior derecha de la figura 26, al lado izquierdo se encuentran las tareas de aseo que hay que desarrollar, posteriormente se encuentran los pronósticos sobre la cantidad de cirugías que se presentarán de lunes a domingo. Teniendo 3 botones para correr la macro el primero es la *formulación* con la que replica la fórmula de carga laboral y porcentaje de cumplimiento para cada escenario, el segundo botón se denomina *corridos* donde se generan los escenarios del modelo y el último botón denominado *imputar resultados* es el validador para chequear uno a uno los resultados y dejar únicamente los valores que corresponden por escenario y eliminar los datos que no corresponden en la iteración.

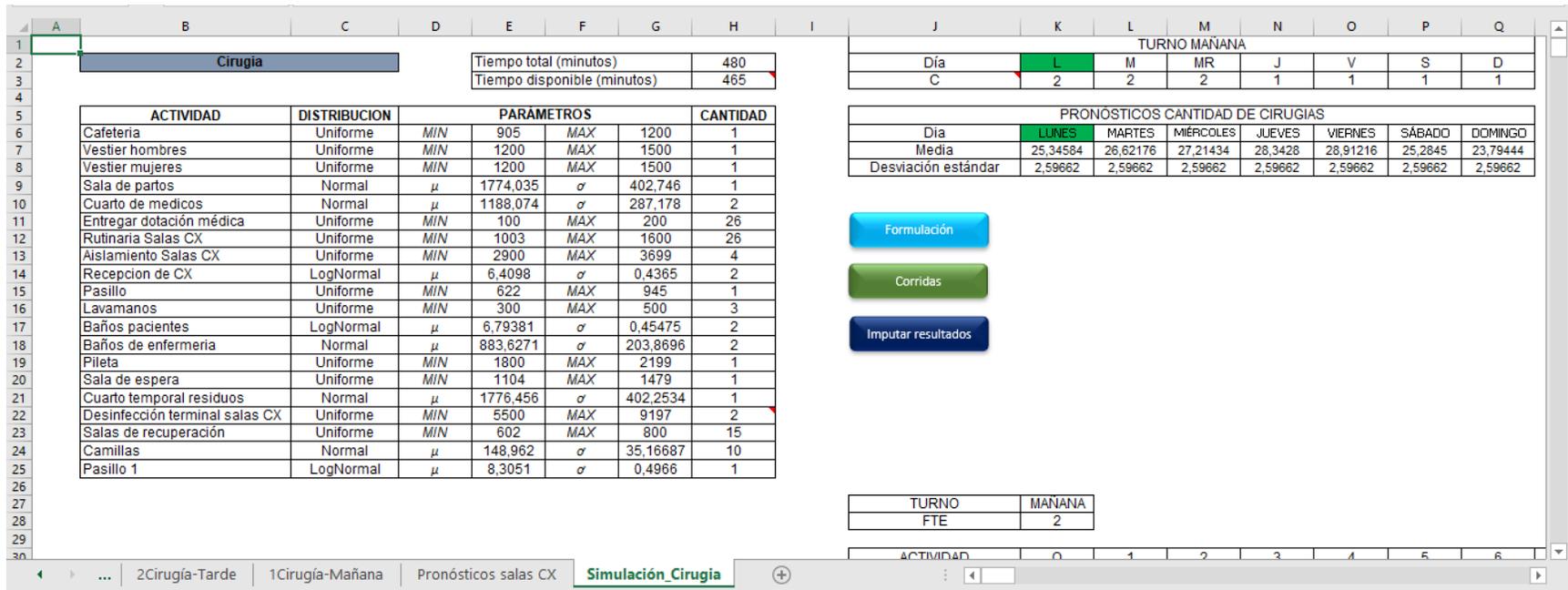


Figura 26. Interfaz simulación de MonteCarlo

En esta misma interfaz en la hoja denominada “Simulación Cirugía” se encuentran también las tareas que se desarrollan por turno (mañana, tarde o noche), sus respectivos tiempos estocásticos por tarea en segundos y la sumatoria del tiempo requerido vs el tiempo asignado en segundos. Como se observa en la figura 27.

| | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S | T | U | V | W | X | Y | Z | AA | AB | AJ | |
|----|--------------------------|--------|---------|---------|--------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|----|----------|
| 27 | TURNO | MAÑANA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 28 | FTE | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 29 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 30 | ACTIVIDAD | Q | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | Σ | |
| 31 | Cafeteria | 1 | 1025 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1025 |
| 32 | Vestier hombres | 1 | 1217 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1217 |
| 33 | Vestier mujeres | 1 | 1302 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1302 |
| 34 | Sala de partos | 1 | 2052,79 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2052,79 |
| 35 | Cuarto de medicos | 2 | 1054,02 | 1147,6 | | | | | | | | | | | | | | | | | 2201,62 |
| 36 | Entregar dotación médica | 11 | 141 | 116 | 175 | 159 | 158 | 112 | 137 | 188 | 122 | 161 | 124 | 157 | 184 | 102 | 127 | 120 | 163 | | 2446 |
| 37 | Rutinaria Salas CX | 9 | 1169 | 1480 | 1023 | 1109 | 1207 | 1410 | 1041 | 1487 | 1548 | 1339 | 1133 | 1424 | 1595 | 1423 | | | | | 18388 |
| 38 | Aislamiento Salas CX | 2 | 3532 | 3565 | 3545 | | | | | | | | | | | | | | | | 10642 |
| 39 | Recepcion de CX | 2 | 806,16 | 345,17 | | | | | | | | | | | | | | | | | 1151,33 |
| 40 | Pasillo | 1 | 882 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 882 |
| 41 | Lavamanos | 9 | 361 | 387 | 431 | 444 | 450 | 453 | 353 | 305 | 475 | | | | | | | | | | 3659 |
| 42 | Baños pacientes | 4 | 748,09 | 1102,84 | 519,88 | 875,19 | | | | | | | | | | | | | | | 3246 |
| 43 | Baños de enfermería | 4 | 892 | 1275 | 1362 | 614 | | | | | | | | | | | | | | | 4143 |
| 44 | Salas de recuperación | 8 | 638 | 653 | 672 | 667 | 704 | 791 | 648 | 659 | | | | | | | | | | | 5432 |
| 45 | Camillas | 6 | 111 | 155 | 187 | 108 | 203 | 159 | 210 | 104 | | | | | | | | | | | 1237 |
| 46 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 47 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 59024,74 |
| 48 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 55800 |
| 49 | TURNO | TARDE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 50 | FTE | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 51 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 52 | ACTIVIDAD | Q | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | Σ | |
| 53 | Entregar dotación | 12 | 180 | 191 | 183 | 106 | 168 | 115 | 148 | 186 | 124 | 106 | 139 | 162 | 163 | 189 | 198 | 118 | 171 | | 2897 |
| 54 | Rutinaria CX | 10 | 1072 | 1076 | 1410 | 1396 | 1584 | 1586 | 1279 | 1292 | 1137 | 1470 | 1375 | 1573 | 1358 | 1120 | 1320 | | | | 20048 |
| 55 | Aislamiento CX | 2 | 3216 | 3646 | | | | | | | | | | | | | | | | | 6862 |
| 56 | Lavamanos | 9 | 456 | 303 | 436 | 378 | 309 | 361 | 380 | 478 | 438 | | | | | | | | | | 3539 |

Figura 27. Interfaz con las tareas a desarrollar por turno y tiempos estocásticos área cirugía

Como se quiere analizar el nivel de servicio por área hospitalaria a partir de la incertidumbre de demanda y el cumplimiento de las tareas que se presentan por día y turno, esta se analizara en las tres zonas: Crítica, semicrítica y no crítica. En cada zona se define una meta de cumplimiento mínima a partir de un porcentaje y para cada nivel de variabilidad se genera un número determinado de simulaciones, donde cada una de estas contempla la combinación de un escenario de demanda de pacientes por área hospitalaria y un escenario de tareas por turno. Cada escenario de demanda es evaluado a partir del porcentaje meta, en la Tabla 14 se muestran los parámetros meta definidos por cada zona. $Z = \text{zona} \{crítica, semicrítica, no crítica\}$

α_z : Porcentaje meta de cumplimiento zona crítica. [99%]

β_z : Porcentaje meta de nivel de cumplimiento zona semicrítica. [95%]

γ_z : Porcentaje meta de cumplimiento zona no crítica. [90%]

Tabla 14. Definición de parámetros meta en porcentaje de carga para cada zona.

| ZONA | PARÁMETRO META | % DE CARGA |
|--------------------|----------------|------------|
| Crítica | α_z | 99% |
| Semicrítica | β_z | 95% |
| No Crítica | γ_z | 90% |

iv. *Correr la simulación.*

El modelo de simulación construido representa las variables, los parámetros y las consideraciones de cada área hospitalaria como caso particular, en donde la cantidad de iteraciones o corridas es $n = 100$, permitiendo crear muchas demandas de pacientes y diferentes tiempos aleatorios para cada tarea con el fin de evaluar el nivel de carga laboral y el porcentaje de cumplimiento para todas las tareas que se deben realizar por día y turno laboral. El cálculo de las iteraciones se encuentra en el capítulo 6

Este modelo de simulación hace posible lograr repeticiones múltiples de escenarios, obteniendo la media y la desviación estándar de esas iteraciones para dar como resultados el personal que cumple o no con el total o la mayoría de las tareas en condiciones normales de trabajo.

En la figura 28, se observa el primer resultado del lunes, donde se observa en la parte superior derecha la carga laboral promedio por turno, donde para el turno de la mañana da como resultado el 87% con 2 personas, en la tarde es del 79% con 2 personas y en la noche 45% con 2 personas (esta última refleja tiempo ocioso). Y la parte inferior izquierda de la figura está el resultado del porcentaje de cumplimiento en donde observamos que con la asignación anteriormente mencionada se cumple con el total de tareas por cada turno teniendo un nivel de servicio del 100%.

| | AJ | AK | AL | AM | AN | AO | AP | AQ | AR | AS | AT | AU | AV |
|------|----|-------------------------|----|------|------|----------|----------------------|-------|-------|--|--------|--------|--------|
| 7581 | | | | | | | Carga laboral | | | Costo de incumplimiento promedio | | | |
| 7582 | | | | | | | MAÑANA | TARDE | NOCHE | MAÑANA | TARDE | NOCHE | |
| 7583 | | | | | | μ | 87% | 79% | 45% | -7424 | -11987 | -30810 | |
| 7584 | | | | | | σ | 4% | 4% | 5% | | | | |
| 7585 | | | | | | | | | | Costo de incumplimiento min y max | | | |
| 7586 | | NO CUMPLE | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | max | -810 | -3960 | -18158 |
| 7587 | | | | | | | | | | min | -12895 | -18527 | -35720 |
| 7588 | | | | | | | | | | | | | |
| 7589 | | | | | | | | | | | | | |
| 7590 | | CUMPLE | 1 | 100 | 100 | 100 | | | | | | | |
| 7591 | | | | | | | | | | | | | |
| 7592 | | TURNOS LABORALES | | | | | | | | | | | |
| 7593 | | NO CUMPLE | 0 | 0% | 0% | 0% | | | | | | | |
| 7594 | | CUMPLE | 1 | 100% | 100% | 100% | | | | | | | |
| 7595 | | | | | | | | | | | | | |
| 7596 | | | | | | | | | | | | | |
| 7597 | | | | | | | | | | | | | |
| 7598 | | | | | | | | | | | | | |
| 7599 | | | | | | | | | | | | | |

Figura 28. Resultados del lunes área de cirugía carga laboral y porcentaje de cumplimiento

Para poder comprender mejor el comportamiento de esta técnica y evaluar la función objetivo de minimización de costos, se analizaron indicadores que miden el desempeño de las soluciones en el contexto estocástico, los indicadores que se consideraron fueron:

Costo total (1): Promedio del costo total en las simulaciones. En cada simulación se calcula el costo de mano de obra y el costo de penalización por incumplimiento a tareas no ejecutadas.

Nivel de servicio (2): Definido en dos indicadores porcentaje de carga personal y porcentaje de cumplimiento.

Porcentaje de carga laboral (2.1): Promedio del tiempo requerido vs tiempo total asignado. Este indicador mide la cantidad de actividades de aseo hospitalario que se desarrollan por turno por su respectivo tiempo de proceso y se compara con el tiempo disponible o asignado de acuerdo con el total de auxiliares de aseo programadas en el turno. Dicho tiempo de disponibilidad es igual al número de AAH programadas por 27900 segundos (que equivalen a 8 horas – 15 minutos de break).

$$Carga\ laboral\ (\%) = \frac{T_iempo\ total\ requerido}{T_iempo\ total\ asignado} = \frac{\sum_{\forall j} \sum_{\forall a} \sum_{\forall s} (Q_{(j,a,s)} * P_{(j,a,s)})}{\sum_{\forall a} \sum_{\forall s} \sum_{\forall k} T_FTE_{(a,s,k)}}$$

Porcentaje de cumplimiento (2.2): Medir el cumplimiento de todas las tareas por turno a partir de cada corrida de simulación en porcentaje. Este indicador mide el total de escenarios factibles de acuerdo con la cantidad de AAH asignados por turno.

$$Porcentaje\ de\ cumplimiento\ (\%) = \frac{Número\ de\ veces\ que\ cumple\ con\ todas\ las\ tareas}{100}$$

$$Porcentaje\ de\ cumplimiento\ (\%) = \frac{\sum Tareas\ Cumplidas}{100}$$

Con el total de corridas de la simulación se mira también el resultado de la carga laboral promedio y se definen unos criterios de aceptación que se encuentran en la figura 29.

| MARCO DE CUMPLIMIENTO | | |
|-----------------------|------------|--|
| CARGA | [0,75 - 1] | Cumple. Se mantiene la solución |
| LABORAL | (1 - ∞) | No cumple. Sobre carga laboral |
| PROMEDIO | [0 - 0,75) | No cumple. Tiempo ocioso |

Figura 29. Criterios de aceptación según la carga laboral promedio

En el capítulo 6, se observa los resultados de dichas métricas y los costos totales para una semana según el horizonte de planeación de 7 días con un ejemplo del área de cirugía.

En la figura 30, se observa el pseudo-código completo del algoritmo simheurístico propuesto.

Pseudocódigo Algoritmo Simheurística

Crear lista de indicadores de carga laboral
Crear lista de indicadores de cumplimiento
Para cada turno
 Definir lista de tareas diarias
 Asignar distribución de probabilidad al tiempo de ejecución de cada tarea
 Calcular tiempo total disponible
 Desde i=1 hasta 100
 Asignar tiempo de ejecución a cada tarea, basado en Distribución de probabilidad
 Calcular tiempo de ejecución total
 Fin Desde
 Calcular indicador de carga laboral
 Calcular indicador de cumplimiento
 Almacenar indicador de carga laboral en lista
 Almacenar flag de cumplimiento
Fin Para
Calcular media y desviación de indicador de carga laboral - ICL-
Calcular % cumplimiento -Cmpl-
Si área crítica
 Si Cmpl >= 99%
 Satisfactorio=True
 Si No
 Satisfactorio=False
Si área semicrítica
 Si Cmpl >= 95%
 Satisfactorio=True
 Si No
 Satisfactorio=False
Si área no crítica
 Si Cmpl >= 90%
 Satisfactorio=True
 Si No
 Satisfactorio=False
Fin Si
Si Satisfactorio==False
 Ejecutar **Heurística TPB** con nuevos requerimientos de personal
Si No
 Estimar Costo_Total = Costo Mano de obra empleados + Costo de Penalizaciones
Fin Si
Retornar Costo_Total

Figura 30. Pseudocódigo Simheurística

6. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Para el caso de la técnica simheurística propuesta tal como se detalló en la sección anterior, se analiza el comportamiento promedio del contexto estocástico.

6.1. EXPERIMENTOS NUMÉRICOS

La estación de trabajo fue un computador con procesador Intel® Core™ i5-8250U 1.6GHz con memoria RAM de 4 GB DDR4.

Para los experimentos numéricos se empleó en cada área hospitalaria el modelo de simheurística propuesto con 7 días de planeación, donde los tiempos de procesamiento estocástico $P_{j,a,s}$ siguen distribuciones de tipo Uniforme, Normal y LogNormal, aunque pueden seguir cualquier distribución de probabilidad que se ajuste a los tiempos de cada tarea. El uso de distribuciones continuas para modelar demandas estocásticas es una práctica razonable en la arena de programar personal.

Desde la tabla 15 hasta la tabla 18, se presentan los tiempos computacionales obtenidos del modelo simheurístico para las áreas de hospitalización del 4 piso, 5 piso, UCI adultos y cirugía de acuerdo con el turno de trabajo y el día de la semana. Cabe aclarar, que, para este cálculo de los tiempos, se tuvo en cuenta todas las corridas generadas.

Tabla 15. Resumen de instancias hospitalización 4 piso con 18 tareas

| ÁREA | HOSPITALIZACIÓN | SUB-ÁREA | | | 4 PISO |
|---|-----------------|----------|--------|--------|--------------------------|
| ITERACIONES | 100 | MÉTRICA | | | CARGA LABORAL |
| DIA | Medida | Mañana | Tarde | Noche | Tiempo computacional (s) |
| Lunes | Promedio | 72,68% | 51,65% | 87,70% | 308 |
| | Desviación | 6,95% | 9,41% | 5,82% | |
| Martes | Promedio | 75,00% | 55,22% | 88,30% | 307 |
| | Desviación | 6,68% | 7,82% | 4,81% | |
| Miércoles | Promedio | 76,57% | 63,32% | 87,83% | 309 |
| | Desviación | 5,26% | 7,65% | 5,62% | |
| Jueves | Promedio | 75,79% | 62,76% | 89,08% | 309 |
| | Desviación | 5,91% | 8,68% | 4,54% | |
| Viernes | Promedio | 75,09% | 62,46% | 89,08% | 308 |
| | Desviación | 5,96% | 8,43% | 5,13% | |
| Sábado | Promedio | 73,42% | 60,50% | 88,11% | 307 |
| | Desviación | 6,05% | 7,54% | 5,18% | |
| Domingo | Promedio | 76,58% | 63,55% | 88,33% | 309 |
| | Desviación | 5,38% | 9,03% | 5,01% | |
| Tiempo Computacional Total (s) | | | | | 2157 |
| Tiempo Computacional Total (min) | | | | | 35,95 |

En la tabla 15, se observan unas cargas laborales en el turno de la mañana del 75% en promedio, en la tarde en un 62% en promedio y en la noche en un 88% en promedio. Donde se aceptan esta solución ya que la carga laboral se cumple en la mayoría de los turnos y en cada día.

Tabla 16. Resumen de instancias hospitalización 5 piso con 18 tareas

| ÁREA | HOSPITALIZACIÓN | SUB-ÁREA | | | 5 PISO |
|---|-----------------|----------|--------|---------------|--------------------------|
| ITERACIONES | 100 | MÉTRICA | | CARGA LABORAL | |
| DIA | Medida | Mañana | Tarde | Noche | Tiempo computacional (s) |
| Lunes | Promedio | 84,96% | 66,63% | 100,46% | 307 |
| | Desviación | 4,60% | 10,07% | 5,03% | |
| Martes | Promedio | 81,82% | 62,14% | 101,98% | 307 |
| | Desviación | 4,84% | 9,59% | 4,67% | |
| Miércoles | Promedio | 85,01% | 68,26% | 101,37% | 308 |
| | Desviación | 4,52% | 9,46% | 4,95% | |
| Jueves | Promedio | 82,01% | 66,03% | 100,99% | 309 |
| | Desviación | 4,49% | 8,50% | 5,31% | |
| Viernes | Promedio | 83,76% | 71,61% | 101,37% | 308 |
| | Desviación | 4,36% | 8,35% | 5,03% | |
| Sábado | Promedio | 83,82% | 69,76% | 101,08% | 308 |
| | Desviación | 5,07% | 9,44% | 4,99% | |
| Domingo | Promedio | 83,15% | 67,26% | 101,51% | 307 |
| | Desviación | 5,53% | 8,83% | 4,88% | |
| Tiempo Computacional Total (s) | | | | | 2154 |
| Tiempo Computacional Total (min) | | | | | 35,90 |

En la tabla 16, se observan unas cargas laborales en el turno de la mañana del 83% en promedio, en la tarde en un 65% en promedio y en la noche en un 100% en promedio, se aceptan esta solución ya que la carga laboral se cumple en la mayoría de los casos.

Tabla 17. Resumen de instancias UCI Adultos con 13 tareas

| ÁREA | UCI ADULTOS | SUB-ÁREA | | | ADULTOS |
|---|-------------|----------|--------|---------------|--------------------------|
| ITERACIONES | 100 | MÉTRICA | | CARGA LABORAL | |
| DIA | Medida | Mañana | Tarde | Noche | Tiempo computacional (s) |
| Lunes | Promedio | 64,86% | 64,87% | 45,44% | 214 |
| | Desviación | 10,03% | 12,46% | 7,51% | |
| Martes | Promedio | 65,39% | 66,74% | 47,40% | 291 |
| | Desviación | 10,67% | 11,64% | 9,07% | |
| Miércoles | Promedio | 68,63% | 35,94% | 49,81% | 216 |
| | Desviación | 9,79% | 6,29% | 8,19% | |
| Jueves | Promedio | 69,42% | 66,34% | 46,91% | 215 |
| | Desviación | 10,27% | 12,57% | 7,24% | |
| Viernes | Promedio | 34,21% | 67,43% | 47,30% | 214 |
| | Desviación | 5,42% | 11,92% | 7,89% | |
| Sábado | Promedio | 68,90% | 70,80% | 50,85% | 216 |
| | Desviación | 11,43% | 13,20% | 8,97% | |
| Domingo | Promedio | 62,04% | 61,57% | 44,92% | 216 |
| | Desviación | 10,91% | 11,95% | 8,81% | |
| Tiempo Computacional Total (s) | | | | | 1582 |
| Tiempo Computacional Total (min) | | | | | 26,37 |

En la tabla 17, se observan unas cargas laborales en el turno de la mañana del 67% en promedio, en la tarde en un 65% en promedio y en la noche en un 47% en promedio, se aceptan esta solución ya que la carga laboral se cumple en la mayoría de los casos.

Tabla 18. Resumen de instancias Cirugía con 20 tareas

| ÁREA | CIRUGIA | | SUB-ÁREA | | 7 PISO |
|---|------------|---------|----------|---------------|----------------------|
| ITERACIONES | 100 | MÉTRICA | | CARGA LABORAL | |
| DIA | Medida | Mañana | Tarde | Noche | Tiempo computacional |
| Lunes | Promedio | 87,32% | 79,36% | 45,39% | 168 |
| | Desviación | 2,35% | 2,86% | 10,58% | |
| Martes | Promedio | 89,45% | 80,61% | 89,43% | 170 |
| | Desviación | 3,41% | 2,94% | 9,37% | |
| Miércoles | Promedio | 90,71% | 81,35% | 44,19% | 169 |
| | Desviación | 3,89% | 2,79% | 4,77% | |
| Jueves | Promedio | 81,53% | 76,48% | 45,17% | 170 |
| | Desviación | 4,10% | 4,19% | 5,32% | |
| Viernes | Promedio | 81,76% | 76,70% | 45,31% | 168 |
| | Desviación | 3,78% | 3,61% | 5,62% | |
| Sábado | Promedio | 89,30% | 80,45% | 89,66% | 168 |
| | Desviación | 3,65% | 2,32% | 9,70% | |
| Domingo | Promedio | 85,97% | 78,85% | 89,04% | 169 |
| | Desviación | 4,09% | 2,53% | 9,41% | |
| Tiempo Computacional Total (s) | | | | | 1182 |
| Tiempo Computacional Total (min) | | | | | 19,7 |

En la tabla 18, se observan unas cargas laborales en el turno de la mañana del 85% en promedio, en la tarde en un 79% en promedio y en la noche en un 75% en promedio, se aceptan esta solución ya que la carga laboral se cumple en la mayoría de los casos.

Se encuentra que los tiempos de ejecución no aumentan de manera exponencial cuando cambia la cantidad de actividades a realizar por área hospitalaria. Para la misma cantidad de actividades los tiempos computacionales son estables así cambien los días de la semana y el área hospitalaria.

Se consideran rangos aceptables para tiempos de cómputo al comprobar que el modelo permite aumentar la cantidad de actividades y frecuencias sin afectar exponencialmente los tiempos, sino con aumentos razonables.

En lo que respecta a los costos de mano de obra (MO) *CMO* y de penalización *CP*, se hacen las siguientes estimaciones de acuerdo con los valores suministrados por la empresa, como se observa en la Tabla 19.

Tabla 19. Costos mano de obra y penalización

| Variables | Costos | Valor mes | Valor día | Valor hora | Valor minuto | Valor segundo |
|------------|--------------|--------------|-----------|------------|--------------|---------------|
| CMO | Mano Obra | \$ 1.274.854 | \$ 42.495 | \$ 5.312 | \$ 89 | \$ 1,48 |
| CP | Penalización | \$ 2.592.000 | \$ 86.400 | \$ 10.800 | \$ 180 | \$ 3,00 |

En la Tabla 19, se muestra la información que se utilizara para los dos costos de la función objetivo (mano de obra y penalización), son datos aproximados, ya que por políticas de privacidad y confidencialidad de la Compañía Compass Group y Clínica La Colina, no se logró obtener los datos actuales. Estos datos fueron suministrados directamente por la administración de “Don Vapor” en la clínica, sin embargo, para este cálculo se tuvo en cuenta características como días de vacaciones, aportes de la seguridad social (EPS, pensión, ARL), cesantías, prima, dotación, reportes de nómina de cada auxiliar de aseo, entre otros. Para el costo de penalización este dato fue el promedio de notas créditos por parte de la clínica hacia Compass Group como el descuento a la facturación del mes.

El valor de los costos de mano de obra CMO es el costo diario de \$42.495 pesos y para el costo de penalización CP es el costo en segundos de \$3 pesos.

Par identificar el personal necesario, se desarrollaron corridas del número de AAH requeridos según la variable de decisión $W_{(i,a,s,k)}$, desde 0 hasta 4 AAH para cada caso, por ejemplo, en el área de cirugía en el turno de la mañana, los valores son los de la Tabla 20 y la Figura 29.

Tabla 20. Muestra de instancias de los costos con diferentes W en cirugía turno mañana

| TURNO MAÑANA | | | | | | | | |
|--------------|------------|----------------|----------------|----------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| W | Costo MO | Ci promedio | Ci máximo | Ci mínimo | $T\mu$ | $T\sigma$ | TMAX | TMIN |
| 0 | \$ - | \$ 144.745,57 | \$ 165.776,37 | \$ 132.026,52 | 48248,523 | 2024,023 | 55258,79 | 44008,84 |
| 1 | \$ 42.495 | \$ 61.045,57 | \$ 82.076,37 | \$ 48.326,52 | 20348,523 | 2024,023 | 27358,79 | 16108,84 |
| 2 | \$ 84.990 | -\$ 22.654,43 | -\$ 1.623,63 | -\$ 35.373,48 | -7551,477 | 2024,023 | -541,21 | -11791,16 |
| 3 | \$ 127.485 | -\$ 106.354,43 | -\$ 85.323,63 | -\$ 119.073,48 | -35451,477 | 2024,023 | -28441,21 | -39691,16 |
| 4 | \$ 169.981 | -\$ 190.054,43 | -\$ 169.023,63 | -\$ 202.773,48 | -63351,477 | 2024,023 | -56341,21 | -67591,16 |

La Tabla 20 muestra los costos de mano de obra, y los costos de penalización mínimos, máximos y promedio que se pueden asumir con cada posible $W_{(i,a,s,k)}$.

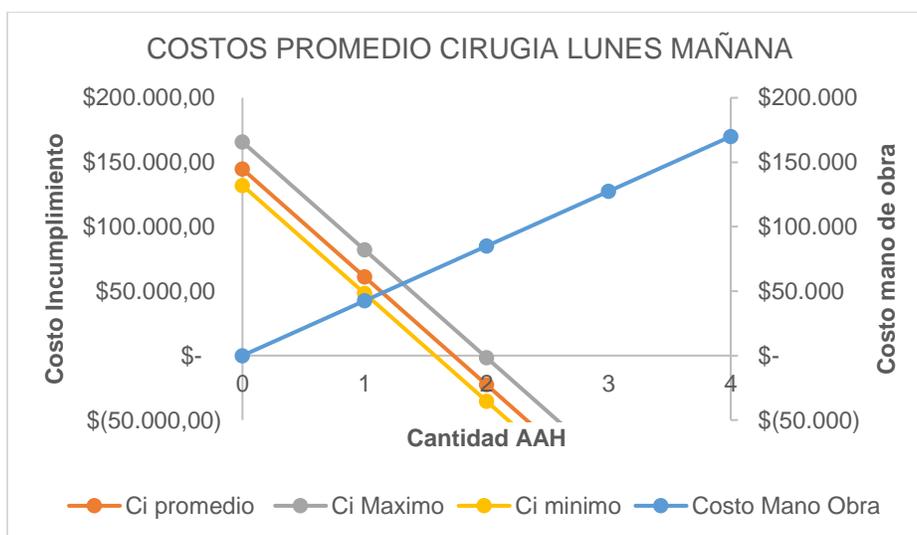


Figura 31. Costos promedio vs Auxiliares de aseo para cirugía lunes turno mañana

En la figura 31, se observa una gráfica de costos promedio para cirugía del lunes, donde variando la asignación de recursos es decir, el número de servidores que en este caso son las Auxiliares de Aseo Hospitalarias (AAH) se observa el impacto que tienen los costos respecto a cada asignación, donde gracias a un diseño de experimentos podemos establecer cual sería la mejor asignación, por ejemplo si no se asigna ninguna persona (0) ya se tiene unos costos de penalización por un valor de \$150.000 pesos, y si asignamos 2 personas en este turno ya se tiene cero costos de penalización y únicamente costos de mano de obra, esta asignación es la más adecuada, ya que si se asignan 3 personas se me suben los costos de mano de obra.

6.2. ANÁLISIS DE SALIDA

Para el análisis de salida se calculó el número de replicas necesarias para validar que la simulación este acorde con la representación de la realidad con respecto a los resultados en carga laboral de las 100 corridas por área hospitalaria y turno.

La fórmula que se utilizo fue la siguiente:

$$\text{numero de corridas } (n) = \left(\frac{\sigma * Z}{e * \mu} \right)^2$$

Donde n es el número de corridas, σ es la desviación estándar de la variable respuesta a analizar con 100 corridas, μ es el promedio de la variable respuesta a analizar con las 100 corridas y Z es igual a 1.96 (para un nivel de confianza del 95%). Para el error estándar (e) se calculó con la siguiente formula:

$$\text{error estandar } (e) = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Dando como resultado un error entre el 0.01 hasta un 0.0242 siendo estos los valores asignados para calcular el número de replicas requeridas para la simulación. Por ejemplo, para el área de cirugía en el turno de la mañana se requieren 85 corridas, para el turno de la tarde 92 corridas y para el turno de la noche el resultado fue 87 corridas. De acuerdo con lo anterior, se estableció dejar 100 corridas para cada turno y cada área hospitalaria. Dichos resultados anteriormente mencionados se calcularon con unas replicas iniciales de 35 donde el cálculo fue el siguiente

LUNES - MAÑANA

| | |
|--------------------|-----------|
| Promedio | 0,8654738 |
| Desv. Estándar | 0,0407487 |
| Nivel de confianza | 95% |
| R ₀ | 35 |
| S ₀ | 0,053278 |
| ε | 0,0100404 |

Replicas 85

CARGA LABORAL

| | | |
|------------------------|-----|--------|
| INTERVALO DE CONFIANZA | MIN | 0,8652 |
| | MAX | 0,8657 |

LUNES - TARDE

| | |
|--------------------|-----------|
| Promedio | 0,8894383 |
| Desv. Estándar | 0,1048931 |
| Nivel de confianza | 95% |
| R_0 | 35 |
| S_0 | 0,0903164 |
| ϵ | 0,0100404 |

Replicas 92

CARGA LABORAL

| | | |
|------------------------|-----|--------|
| INTERVALO DE CONFIANZA | MIN | 0,8888 |
| | MAX | 0,8901 |

LUNES – NOCHE

| | |
|--------------------|-----------|
| Promedio | 0,7861123 |
| Desv. Estándar | 0,0445993 |
| Nivel de confianza | 95% |
| R_0 | 31 |
| S_0 | 0,0558232 |
| ϵ | 0,0106686 |

Replicas 87

CARGA LABORAL

| | | |
|------------------------|-----|--------|
| INTERVALO DE CONFIANZA | MIN | 0,7858 |
| | MAX | 0,7864 |

Los resultados obtenidos para resolver el problema de programación del personal de limpieza y desinfección en la Clínica La Colina con el uso de la simheurística propuesta se presentan en la sección 6.2.1.

6.2.1. Comparación Simheurística propuesta vs método manual Compass Group

Resultados simheurística propuesta

De manera puntual, los resultados arrojados por la simheurística para el área de cirugía en el turno de la mañana están presentados en la Figura 32, donde se muestra una gráfica de cajas y bigotes múltiple que representa las brechas porcentuales de la carga laboral de las AAH asignadas por cada día de la semana, donde se evidencia que la carga laboral promedio es del 86%, excepto el martes que es del 59% de carga laboral promedio.

El gráfico permite afirmar que el indicador de carga laboral (medida en porcentaje %), de acuerdo con las AAH asignadas por día se encuentra en el marco de aceptación, donde el lunes la carga laboral está entre 78% y 94%, y que el 50% de la carga laboral está entre 84% (primer cuartil) y 88% (tercer cuartil), existiendo 3 datos atípicos o anormales (outliers), ya que en la figura se observan 3 puntos alineados con el bigote de la parte superior. La distribución de la carga laboral es asimétrica hacia arriba, ya que la zona de arriba en el área central del diagrama de caja y bigotes del lunes es mayor que la de abajo, y la mediana corresponde aproximadamente a 86% y siendo la media 87% aproximadamente.

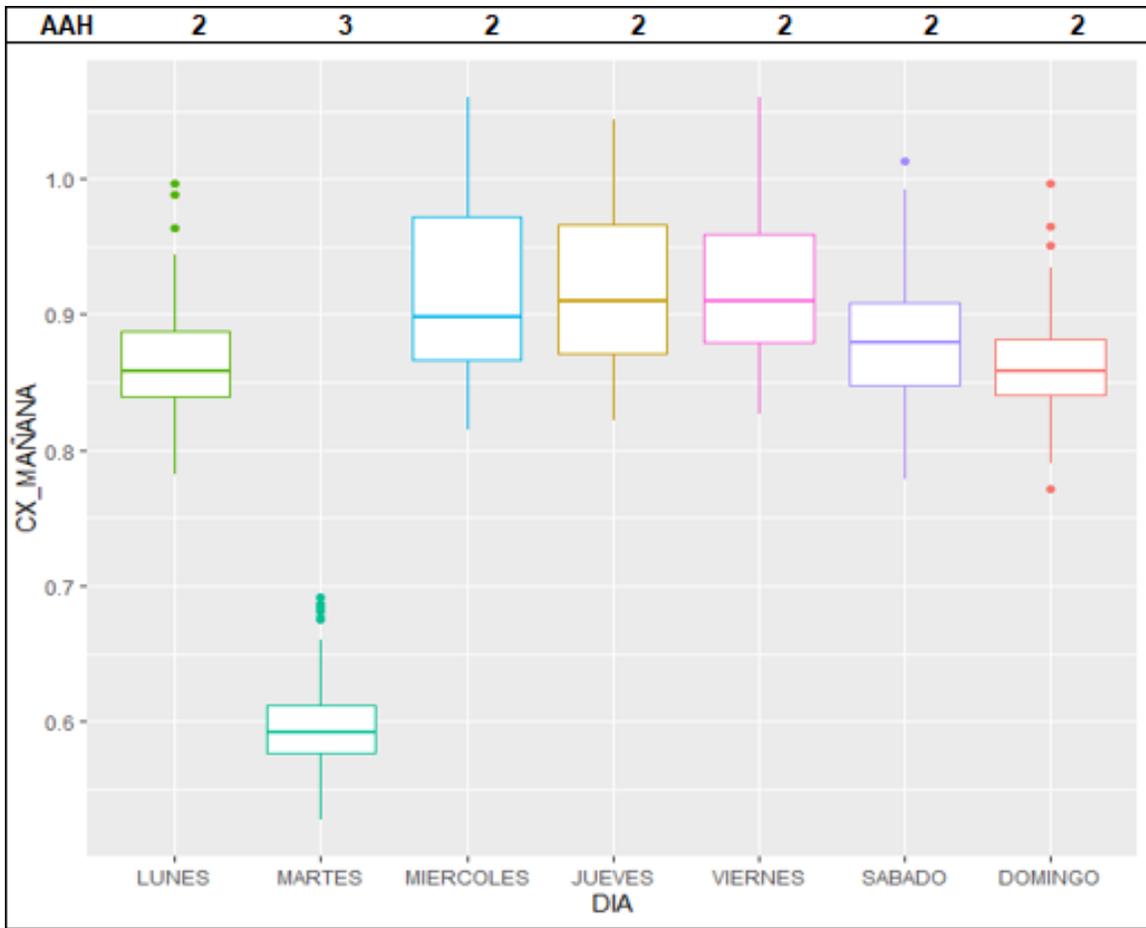


Figura 32. Boxplot simheurística carga laboral en salas CX turno mañana.

Para el martes la carga laboral está entre 53% y 66%, y que el 50% de la carga laboral está entre 57% (primer cuartil) y 62% (tercer cuartil), existiendo 4 datos atípicos o anormales (outliers), ya que en la figura se observan 4 puntos alineados con el bigote de la parte superior. La distribución de la carga laboral es prácticamente simétrica, y la mediana corresponde aproximadamente a 59% y siendo la media 60% aproximadamente.

Para el miércoles la carga laboral está entre 82% y 106%, y que el 50% de la carga laboral está entre 87% (primer cuartil) y 97% (tercer cuartil). La distribución de la carga laboral es asimétrica hacia arriba, ya que la zona de arriba en el área central del diagrama de caja y bigotes del miércoles es mayor que la de abajo, y la mediana corresponde aproximadamente a 90% y siendo la media 94% aproximadamente.

Para el jueves la carga laboral está entre 83% y 104%, y que el 50% de la carga laboral está entre 87,5% (primer cuartil) y 96% (tercer cuartil). La distribución de la carga laboral es asimétrica hacia arriba, ya que la zona de arriba en el área central del diagrama de caja y bigotes del jueves es mayor que la de abajo, y la mediana corresponde aproximadamente a 91% y siendo la media 93% aproximadamente.

Para el viernes la carga laboral está entre 83,5% y 106%, y que el 50% de la carga laboral está entre 88% (primer cuartil) y 95,5% (tercer cuartil). La distribución de la carga laboral es asimétrica hacia arriba, ya que la zona de arriba en el área central del diagrama de caja y

bigotes del viernes es mayor que la de abajo, y la mediana corresponde aproximadamente a 91% y siendo la media 92% aproximadamente.

Para el sábado la carga laboral está entre 78% y 98,5%, y que el 50% de la carga laboral está entre 85% (primer cuartil) y 91% (tercer cuartil), existiendo 1 dato atípico o anormal, ya que en la figura se observan 1 punto alineado con el bigote de la parte superior. La distribución de la carga laboral es asimétrica hacia arriba, ya que la zona de arriba en el área central del diagrama de caja y bigotes del sábado es mayor que la de abajo, y la mediana corresponde aproximadamente a 87,5% y siendo la media 87% aproximadamente.

Para el domingo la carga laboral está entre 79% y 94%, y que el 50% de la carga laboral está entre 84% (primer cuartil) y 87,5% (tercer cuartil), existiendo 4 datos atípicos o anormales (outliers), ya que en la figura se observan 3 puntos alineados con el bigote de la parte superior y 1 punto alineado en el bigote de la parte inferior. La distribución de la carga laboral es asimétrica hacia arriba, ya que la zona de arriba en el área central del diagrama de caja y bigotes del domingo es mayor que la de abajo, y la mediana corresponde aproximadamente a 86% y siendo la media 86,5% aproximadamente.

En la Figura 33, se muestra el porcentaje de cumplimiento a partir de las tareas que se deben desarrollar en el turno de la mañana en el área de cirugía. En este turno el total de tareas son 15 y las cantidades varían según el día de la semana, en este turno el indicador arroja que el lunes cumple con el 100% de las tareas, el martes también cumple con el 100%, el miércoles el 92% de cumplimiento, el jueves y el viernes cumple el 90%, el sábado cumple el 99% y el domingo cumple con el 100% de las tareas según la demanda de pacientes.

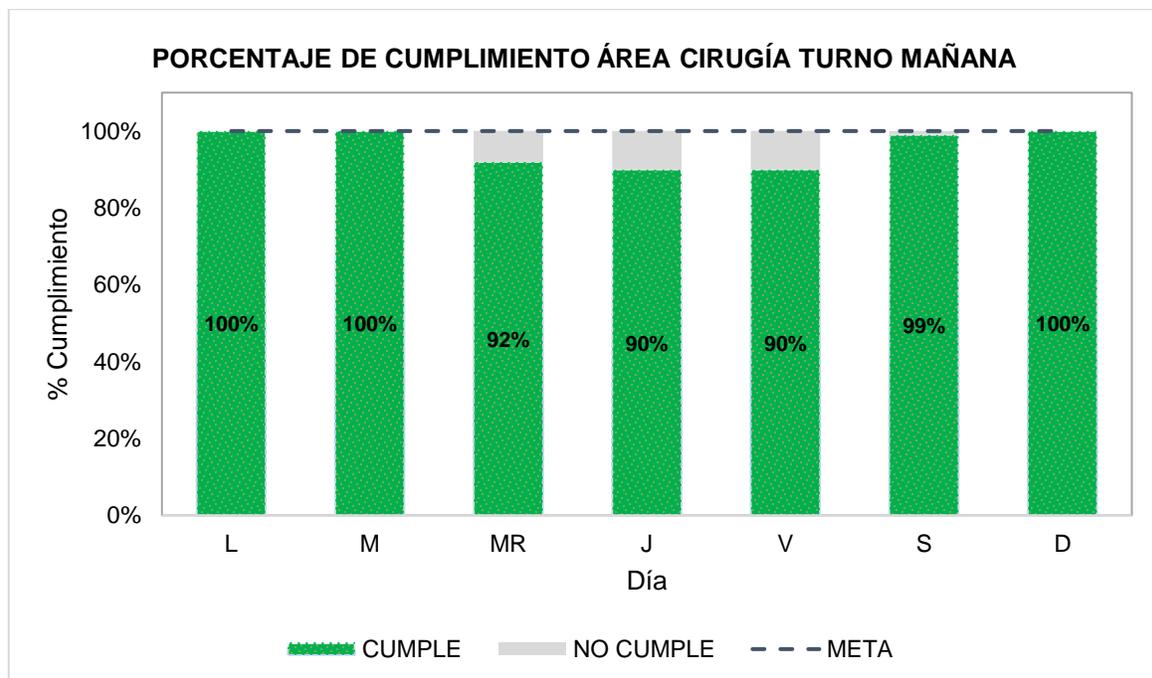


Figura 33. Porcentaje de cumplimiento de la simheurística en salas cirugía turno mañana.

Ahora en la Figura 34, se muestra los costos de mano de obra y el costo promedio de penalización para cada día del turno de la mañana en el área de cirugía, en este caso solo

se tienen costos de mano de obra. Dado que cada día del horizonte de planeación varía la cantidad de salas de cirugías que hay que desinfectar. Dando como costo total esperado por semana para el turno de la mañana de \$637.427.

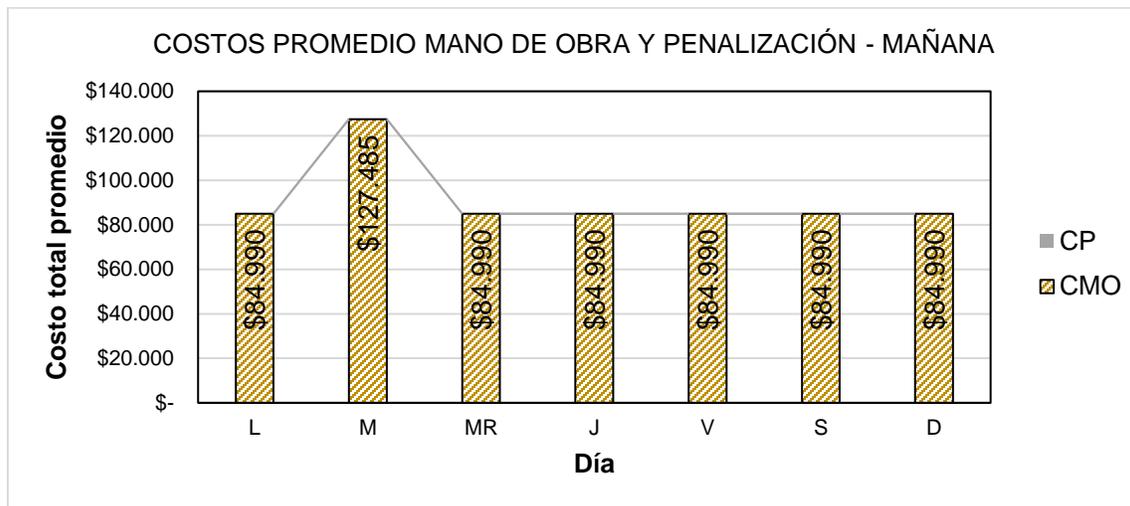


Figura 34. Costos promedio mano de obra y penalización simheurística cirugía turno mañana.

Resultados método manual Compass Group

Ahora, los resultados arrojados con la programación manual que realiza Compass Group son los siguientes: en la Figura 35, se muestra el diagrama boxplot múltiple que representa las brechas porcentuales de la carga laboral de las AAH asignadas por cada día de la semana, donde se evidencia que la carga laboral promedio es del 60%, excepto el jueves y el sábado es del 90% de carga laboral promedio.

El gráfico permite afirmar que el indicador de carga laboral (medida en porcentaje %), de acuerdo con las AAH asignadas por día no se encuentra en el marco de aceptación en la mayoría de los casos ya que se presenta mucho tiempo ocioso y se refleja en las cargas laborales promedio del 60%, donde el lunes la carga laboral está entre 52% y 64%, y que el 50% de la carga laboral está entre 56% (primer cuartil) y 59% (tercer cuartil), existiendo 3 datos atípicos o anormales (outliers), ya que en la figura se observan 2 puntos alineados con el bigote de la parte superior y 1 punto alineado en el bigote inferior. La distribución de la carga laboral es asimétrica hacia arriba, ya que la zona de arriba en el área central del diagrama de caja y bigotes del lunes es mayor que la de abajo, y la mediana corresponde aproximadamente a 57% y siendo la media 57,5% aproximadamente.

Para el martes la carga laboral está entre 56% y 66%, y que el 50% de la carga laboral está entre 57% (primer cuartil) y 61% (tercer cuartil), existiendo 4 datos atípicos o anormales (outliers), ya que en la figura se observan 3 puntos alineados con el bigote de la parte superior y 1 punto alineado en el bigote inferior. La distribución de la carga laboral es asimétrica hacia arriba, ya que la zona de arriba en el área central del diagrama de caja y bigotes del martes es mayor que la de abajo, y la mediana corresponde aproximadamente a 58% y siendo la media 59% aproximadamente.

Para el miércoles la carga laboral está entre 55% y 71%, y que el 50% de la carga laboral está entre 57% (primer cuartil) y 64% (tercer cuartil). La distribución de la carga laboral es

asimétrica hacia arriba, ya que la zona de arriba en el área central del diagrama de caja y bigotes del miércoles es mayor que la de abajo, y la mediana corresponde aproximadamente a 59% y siendo la media 60% aproximadamente.

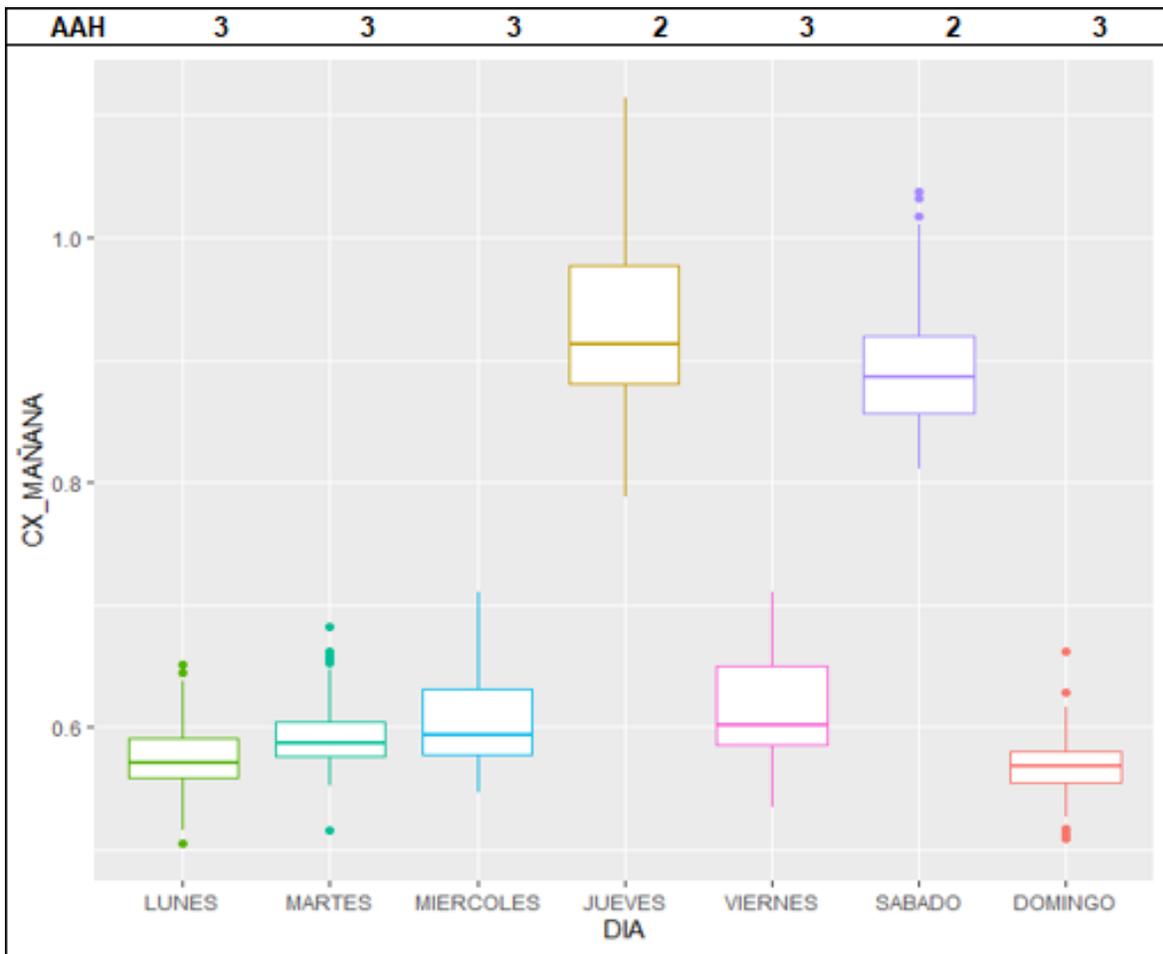


Figura 35. Boxplot método manual carga laboral en salas CX turno mañana

Para el jueves la carga laboral está entre 78% y 112%, y que el 50% de la carga laboral está entre 88% (primer cuartil) y 97% (tercer cuartil). La distribución de la carga laboral es asimétrica hacia arriba, ya que la zona de arriba en el área central del diagrama de caja y bigotes del jueves es mayor que la de abajo, y la mediana corresponde aproximadamente a 91% y siendo la media 93% aproximadamente.

Para el viernes la carga laboral está entre 54% y 71%, y que el 50% de la carga laboral está entre 58% (primer cuartil) y 65,5% (tercer cuartil). La distribución de la carga laboral es asimétrica hacia arriba, ya que la zona de arriba en el área central del diagrama de caja y bigotes del viernes es mayor que la de abajo, y la mediana corresponde aproximadamente a 60% y siendo la media 62% aproximadamente.

Para el sábado la carga laboral está entre 81% y 101%, y que el 50% de la carga laboral está entre 85,5% (primer cuartil) y 92% (tercer cuartil), existiendo 3 datos atípicos o anormales, ya que en la figura se observan 3 puntos alineados con el bigote de la parte superior. La distribución de la carga laboral es asimétrica hacia arriba, ya que la zona de

arriba en el área central del diagrama de caja y bigotes del sábado es mayor que la de abajo, y la mediana corresponde aproximadamente a 88% y siendo la media 88,5% aproximadamente.

Para el domingo la carga laboral está entre 53% y 63%, y que el 50% de la carga laboral está entre 56% (primer cuartil) y 58,5% (tercer cuartil), existiendo 5 datos atípicos o anormales (outliers), ya que en la figura se observan 2 puntos alineados con el bigote de la parte superior y 3 punto alineado en el bigote de la parte inferior. La distribución de la carga laboral es asimétrica hacia arriba, ya que la zona de arriba en el área central del diagrama de caja y bigotes del domingo es mayor que la de abajo, y la mediana corresponde aproximadamente a 57% y siendo la media 57,5% aproximadamente.

En la Figura 36, se observa el porcentaje de cumplimiento que tuvo Compass Group a partir de las tareas que se deben desarrollar en el turno de la mañana en el área de cirugía. En este turno el total de tareas son 15 y las cantidades varían según el día de la semana, en este turno el indicador arroja que el lunes cumple con el 100% de las tareas, el martes también cumple con el 100%, el miércoles también se cumple el 92%, el jueves se cumple el 85%, el viernes se cumple con el 100%, el sábado cumple el 95% y el domingo cumple con el 100% de las tareas según la demanda de pacientes.

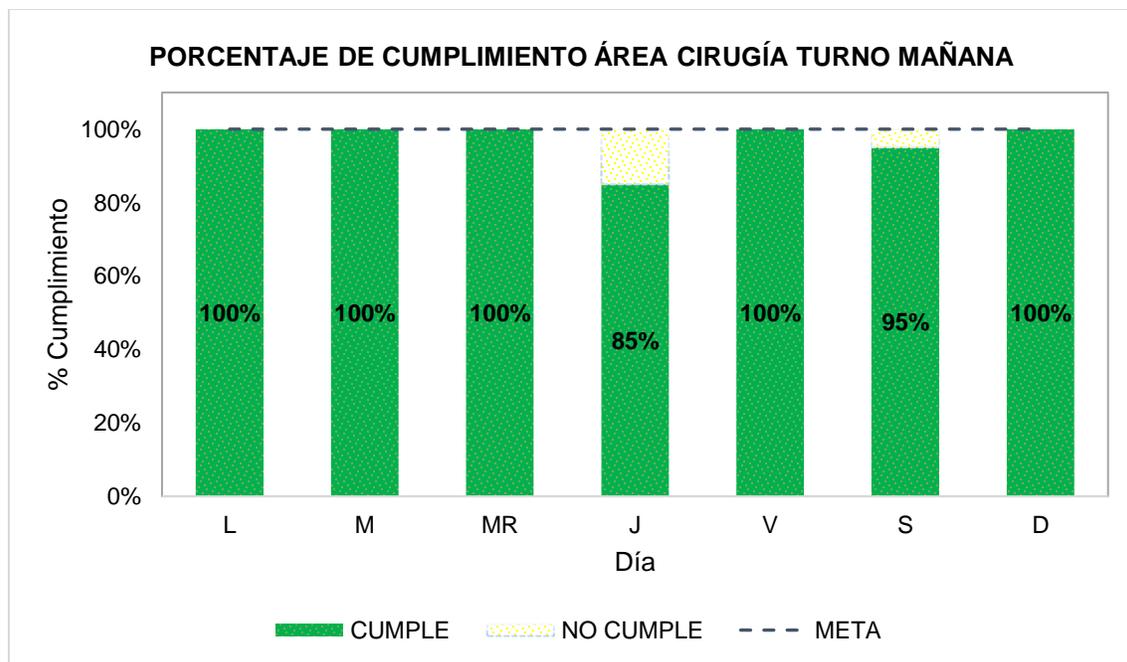


Figura 36. Porcentaje de cumplimiento del método manual en salas cirugía turno mañana

Ahora en la Figura 37, se muestra los costos de mano de obra y el costo promedio de penalización para cada día del turno de la mañana en el área de cirugía, en este caso solo se tienen costos de mano de obra. Dado que cada día del horizonte de planeación varía la cantidad de salas de cirugías que hay que desinfectar. Dando como costo total esperado por semana para el turno de la mañana de \$807.408.

Este costo es más elevado que el de la simheurística debido a que se asignaron más AAH en los lunes, martes, miércoles, viernes y domingo; lo que impacta en sobrecostos de mano de obra.

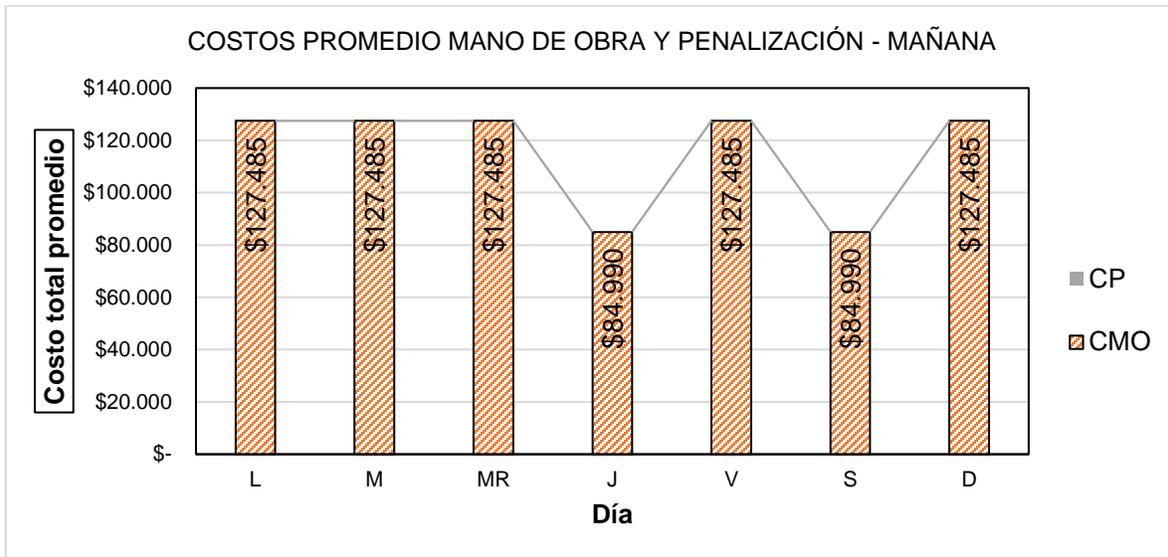


Figura 37. Costos promedio mano de obra y penalización Compass Group cirugía turno mañana

Con el fin de evaluar mejor el impacto del contexto estocástico, se incluyeron costos de penalización relacionadas al incumplimiento de las tareas de aseo en cada una de las áreas de la clínica así como la atención en la demanda de pacientes. Las penalizaciones que se consideraron fueron: el costo variable por no asignar personas AAH o el costo variable del incumplimiento a tareas faltantes (no realizadas).

Viendo ambos resultados tanto la simheurística como el método manual se obtuvo que la simheurística tiene un impacto positivo en términos del desequilibrio operativo del servicio, ya que la asignación en la mayoría de los casos es la indicada para satisfacer la mayoría de las tareas de aseo hospitalario en esta área.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El trabajo desarrollado presenta un modelo basado en Simheurística para programar personal de limpieza y desinfección en una entidad de salud considerando la aleatoriedad presentada en la demanda de pacientes y en los tiempos estocásticos de las tareas de aseo para evaluar el nivel de servicio prestado en cada área hospitalaria minimizando los costos asociados a mano de obra y penalizaciones por incumplimientos de tareas en toda la jornada laboral.

El aporte técnico de esta tesis es la estandarización del proceso de limpieza y desinfección hospitalaria desde la perspectiva estocástica y la analítica prescriptiva (solución mediante la optimización y la simulación - simheurística) uniendo las variables de tiempos de proceso aleatorios, demandas de pacientes según pronósticos, tareas de ejecución a partir de los protocolos y métricas de nivel de servicio que permitan establecer cuál es el grado de cumplimiento bajo escenarios de incertidumbre y cuál es la carga laboral del personal que realiza las labores de limpieza y desinfección en una clínica.

Se caracterizó el área de servicios generales desde la definición de parámetros estadísticos, frecuencias de tareas y cantidades por turno según la zona crítica, semicrítica y no crítica para la Clínica La Colina; lo cual permitió identificar las variables de estudio, el flujo de tareas por área hospitalaria, recopilar la información de pacientes para calcular las previsiones de demanda y los tiempos estocásticos por tarea para así desarrollar el modelo propuesto.

En el caso de la Clínica La Colina, el objetivo principal es brindar la mejor atención a todos sus usuarios, por lo cual procura que sus pacientes encuentren en la organización Compas Group un servicio eficiente y sobre todo profesional, que les de la seguridad, tranquilidad y confianza durante toda su estancia. Por lo anterior, el desempeño del modelo refleja soluciones favorables en las dos métricas propuestas (carga laboral y porcentaje de cumplimiento) para cumplir con esa premisa de nivel de servicio ya que con la adecuada programación del personal que arroja la Simheurística se reduce el riesgo de infecciones asociadas a la salud ya que se atienden a la mayoría de los pacientes que ocupan la clínica, menores costos de incumplimiento para la compañía Compass Group, menores ausentismos de auxiliares de aseo hospitalario ya que se cumple con el descanso de 2 días consecutivos y menores costos en tiempos extras.

El eslabón de la cadena intrahospitalaria que ocupa "Don Vapor" impacta en satisfacer la demanda interna al menor costo posible y con la máxima calidad en su quehacer de limpieza y desinfección. La Simheurística arrojó buenas soluciones en términos de costos para cumplir con la mayoría de las actividades teniendo por ejemplo para el área de cirugía un cumplimiento satisfecho promedio del 96% contra un 4% de incumplimiento para el turno de la mañana, en el turno de la tarde con un cumplimiento promedio del 100% y para el turno de la noche un cumplimiento promedio del 92% contra un 8% de incumplimiento con el personal asignado de la mejor solución. Comparado con el método actual (manual) donde el cumplimiento promedio para el turno de la mañana es del 97% contra un 3% de incumplimiento, para el turno de la tarde un cumplimiento promedio del 100% y para el turno de la noche un cumplimiento promedio del 75% contra el 25% de incumplimiento teniendo un alto riesgo de infecciones asociadas a la salud en esta área crítica.

Para la construcción de modelos de simulación que ayuden a la toma de decisiones para los ejecutivos de la empresa objeto de estudio, no es necesario adquirir software especializado, sino que con herramientas como Excel y programación con VBA se pueden llegar a desarrollar buenas aplicaciones.

Clínica la Colina puede usar este modelo de simheurística propuesto para saber con anticipación la demanda de pacientes que podrá tener la clínica y cuál podría ser el impacto financiero de la decisión de programar cierta cantidad de AAH.

El área administrativa de “Don Vapor” puede volver a correr la simulación con cantidades diferentes de demanda y tiempos aleatorios para cada tarea, con el fin de evaluar dos frentes: (1) picos epidemiológicos como es el caso del escenario actual COVID-19 y ver que pasaría en la UCI de clínica la colina si todas las unidades de cuidados intensivos son de pacientes con esta patología y (2) ver cuál sería el impacto operativo como financiero en el que la clínica tendría que incurrir en la asignación de mayor personal de AAH para realizar las tareas de desinfección verificando frecuencias por turno debido a esta contingencia.

Se recomienda estar actualizando el modelo para considerar nuevas prácticas de limpieza y desinfección según el tipo de elemento de aseo a usar (como pueden ser las toallas de único uso desechables con amonio cuaternario) y desarrollar un nuevo estudio de tiempos y movimientos para encontrar los nuevos parámetros que se ajusten a estos nuevos valores.

Se plantea como investigaciones futuras el diseño de un modelo simheurístico en donde los pronósticos de demanda de pacientes se calculen mediante técnicas de Machine Learning. También diseñar simheurísticas con diferentes metaheurísticas de solución como algoritmo genético, recocido simulado, búsqueda tabú, gradient ascent y exhaustive search buscando la minimización del tiempo computacional de cálculo y encontrando buenas soluciones. Adicionalmente, poder analizar posibles escenarios que se ajusten a la programación del personal asistencial como lo son las enfermeras y el personal médico evaluando características estocásticas de cada uno de estos recursos en diferentes clínicas y/o hospitales. Por último, aplicar el modelo en otras entidades como EPS y Gimnasios de primer nivel; así como en diferentes sectores como logística, transporte y producción donde el personal de aseo está operando en el día a día de estas industrias cumpliendo con la higienización y salubridad de estos lugares.

BIBLIOGRAFIA

- Alwaddood, Z., Ayub, H., & Izzuddin Razali, M. A. (2010). A Modified Integer Programming Model for Cleaning Service Scheduling. *Scientific Research Journal*, 37-49.
- Amaya, C., Velasco, N., & Aguirre, S. (2014). Planning and scheduling an emergency room workforce using linear programming. *International Journal of Mathematics, Game Theory and Algebra*, 373-393.
- Augustine, L., Faer, M., Kavountzis, A., & Patel, R. (2009). A Brief Study of the Nurse Scheduling Problem (NSP). 1-12.
- Bagheri, M., Gholinejad Devin, A., & Izanloo, A. (2016). An application of stochastic programming method for nurse scheduling problem in real word hospital. *Computers & Industrial Engineering*, 192-200.
- Batun, S., & Begen, M. (2013). Optimization in Healthcare Delivery Modeling: Methods and Applications. *International Series in Operations Research & Management Science*, 75-119.
- Bilgin, B., Demeester, P., Misir, M., Wim , V., & Vanden Berghe, G. (2012). One hyper-heuristic approach to two timetabling problem in health care. *Springer science*, 401-434.
- Boenzi, F., Digiesi, S., Mossa, G., Mummolo, G., & Romano, V. (2015). Modelling workforce aging in job rotation problems. *Elsevier Science*, 604-609.
- Brucker, P., Qu, R., & Burke, E. (2011). Personnel scheduling: Models and complexity. *European Journal of Operational Research*, 467-473.
- Brusco, M., Jacobs, L., Bongiorno, R., Lyons, D., & Tang, B. (2016). Improving personnel scheduling at airline stations. *Operations research*, 741-751.
- Burke, E., Causmaecker, P., Petrovic, S., & Vanden Berghe, G. (2006). Metaheuristics for handling time interval coverage constraints in nurse scheduling. *Applied artificial intelligence*, 743-766.
- Burke, E., Curtois, T., Qu, R., & Vanden Berghe, G. (2010). A scatter search methodology for the nurse rostering problem. *Journal of the operational research society*, 1667-1679.
- Chica, M., Juan, A., Cordon, Ó., & Kelton, W. (2017). Why Simheuristics? Benefits, Limitations, and Best Practices when Combining Metaheuristics with Simulation. *SSRN Electronic Journal*, 1-25.
- Constantino De La Espriella, D., Coronado Ríos, D., Herrera Ortiz, D., Wilches Duarte, A., Otero Caicedo, R., & Montoya Casas, C. (2018). *Diseño de una Técnica de Solución para el Problema de Localización-Inventario-Ruteo en Logística Humanitaria*. Bogotá D.C: Pontificia Universidad Javeriana.
- Constantino, A. A., Landa Silva , D., de Melo, E. L., Xavier de Mendonca, C., Baroni Rizzato, D., & Romao, W. (2013). A heuristic algorithm based on multi-assignment procedures for nurse scheduling. *Springer Science*, 165-183.

- Correa Villegas, A. H., & Paz Paz, E. (2018). *Memoria de sostenibilidad 2017-2018 Clínica La Colina*. Bogotá D.C.: Clínica del Country / Clínica La Colina.
- Cruelles Ruiz, J. A. (2013). *Ingeniería Industrial. Métodos de trabajo, tiempos y su aplicación a la planificación y a la mejora continua*. México: Alfaomega.
- Ernst, A., Jiang, H., Krishnamoorthy, M., Owens, B., & Sier, D. (2004). An Annotated Bibliography of Personnel Scheduling and Rostering. *Kluwer Academic Publishers*, 21-144.
- Faycal, C., Essaid Riffi, M., & Ahiod, B. (2015). Hybrid genetic algorithm and greedy randomized adaptive search procedure for solving a nurse scheduling problem. *Journal of theoretical and applied information technology*, 313-320.
- Genquan, R., Rui, H., Yingbo, L., Jiong, Z., Tao, J., Li, Z., & Jianmin, W. (2013). Applying genetic algorithm to optimise personal worklist management in workflow systems. *International Journal of Production Research*, 5158-5179.
- Giedelman Lasprilla, N. (2017). *Diseño de un método meta-heurístico para resolver el problema de asignación de turnos de enfermería (NSP) con soft-constraints*. Bogotá D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- Goodman, M., Dowsland, K., & Thompson, J. (2007). A grasp-knapsack hybrid for a nurse-scheduling problem. *Springer Science*, 351-379.
- Hasani-Goodarzi, A., Rabbani, M., & Manavizade, N. (2012). A novel mathematical model for manpower scheduling in break (relief) times in mixed model assembly lines . *Elsevier Ltd*, 1371-1377.
- (2015). *Informe Nacional de Competitividad 2015-2016*. Bogotá D.C.: Consejo privado de competitividad.
- (2019). *Informe Nacional de Competitividad 2019-2020*. Bogotá D.C.: Consejo privado de competitividad.
- Jafari, H., Bateni, S., Daneshvar, P., Bateni, S., & Mahdioun, H. (2016). Fuzzy mathematical modeling approach for the nurse scheduling problem: a case study. *Springer* , 320-332.
- Juan, A., Faulin, J., Grasman, S., Rabe, M., & Figueira, G. (2015). A review of simheuristics: Extending metaheuristics to deal with stochastic combinatorial optimization problems. *Operations Research Perspectives*, 62-72.
- Juan, A., Grasman, S., Caceres-Cruz, J., & Bektas, T. (2014). A simheuristic algorithm for the Single-Period Stochastic Inventory-Routing Problem with stock-outs. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 40-52.
- Krajewski, L., Ritzman, L., & Malhotra, M. (2008). *Administración de operaciones*. México: Pearson Educación.
- Ladier, A.-L., Alpan, G., & Penz, B. (2013). Joint employee weekly timetabling and daily rostering: A decision support tool for a logistics platform. *European Journal of Operational Research*, 1-14.

- Lam, C.-P., Masek, M., Kelly, L., Papasimeon, M., & Benke, L. (2019). A simheuristic approach for evolving agent behaviour in the exploration for novel combat tactics. *Operations Research Perspectives*, 1-13.
- Lim, G., Mobasher, A., Bard, J., & Najjarbashi, A. (2016). Nurse scheduling with lunch break assignments in operating suites. *Operations research for healthcare*, 35-48.
- Lin, R.-C., Sir, M., Sisikoglu, E., Pasupathy, K., & Steege, L. (2013). Optimal nurse scheduling based on quantitative models of work related fatigue. *IIE Transactions on healthcare systems engineering*, 23-38.
- Lin, S.-W., & Ying, K.-C. (2014). Minimizing shifts for personnel task scheduling problems: A three-phase algorithm. *European Journal of Operational Research*, 1-39.
- Liogys, M., & Zilinskas, A. (2014). On multi-objective optimization heuristics for nurse rostering problem. 32-44.
- Lopes, T., Michels, A., Lüders, R., & Magatão, L. (2020). A simheuristic approach for throughput maximization of asynchronous buffered stochastic mixed-model assembly lines. *Computers and Operations Research*, 1-13.
- Marseguerra, M., Zio, E., & Podofillini, L. (2002). Condition-based maintenance optimization by means of genetic algorithms and Monte Carlo simulation. *Reliability Engineering and System Safety*, 151-166.
- Marseguerra, M., Zio, E., & Podofillini, L. (2005). Multiobjective spare part allocation by means of genetic algorithms and Monte Carlo simulation. *Reliability Engineering and System Safety*, 325-335.
- Mason, A. (2002). Elastic Constraint Branching, the Wedelin/Carmen Lagrangian Heuristic and Integer Programming for Personnel Scheduling. *Kluwer Academic*, 239-276.
- Mohan, S. (2008). Scheduling part-time personnel with availability restrictions and preferences to maximize employee satisfaction. *Mathematical and computer modelling*, 1806-1813.
- Musliu, N., Gartner, J., & Slany, W. (2002). Efficient generation of rotating workforce schedules. *Elsevier Science*, 85-98.
- Mutingi, M., & Mbohwa, C. (2015). Nurse scheduling: a fuzzy multi-criteria simulated metamorphosis approach. *Engineering Letters*, 1-9.
- Ozores Massó, B. (2014). *Logística hospitalaria. Claves y tendencias de las operaciones logísticas en el sector hospitalario* (2a Edición ed.). México: Alfaomega.
- Petrovic, S., & Vanden Berghe, G. (2010). A comparison of two approaches to nurse rostering problems. *Springer Science*, 365-384.
- Pinedo, M. (2005). *Planning and Scheduling in Manufacturing and Services*. New York: Springer.
- Restrepo, M., Gendron, B., & Rousseau, L. (2014). Branch and price for personalized multi activity tour scheduling. *Journal on computing*, 1-39.

- Rönnberg, E., & Larsson, T. (2010). Automating the self-scheduling process of nurses in Swedish healthcare: a pilot study. *Springer Science*, 35-53.
- Sagnak, M., & Kazancoglu, Y. (2015). Shift scheduling with fuzzy logic: an application with an integer programming model. *Elsevier Science*, 827-832.
- Saldarriaga Restrepo, D. (2014). *Gerencia de inventarios y planeación de producción: Soluciones simples a problemas complejos*. Bogotá: Zonológica.
- Smet, P., Wauters, T., Mihaylov, M., & Berghe, G. (2014). The shift minimisation personnel task scheduling problem: A new hybrid approach and computational insights. *Omega*, 64-73.
- Sule, D. (2008). *Production planning and industrial scheduling: examples, case studies and applications*. CRC Press Taylor & Francis Group.
- Tsai, C.-C., & Lee, C. (2010). Optimization of Nurse Scheduling problem with a two-stage mathematical programming model. *Asia Pacific Management Review*, 503-516.
- Veen, E., Hans, E., Post, G., & Veltman, B. (2015). Shift rostering using decomposition: assign weekend shifts first. *Springer Science*, 29-43.
- Villarreal, M., & Keskinocak, P. (2014). Staff planning for operating rooms with different surgical services lines. *Springer*, 144-169.
- Yilmaz, E. (2012). A Mathematical Programming Model for Scheduling of Nurses' Labor Shifts. *Springer*, 491-496.

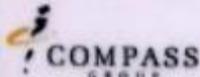
ANEXO 1

Kit limpieza y desinfección recurrente o rutinaria



LIMPIEZA RECURRENTE KIT #2 HABITACIÓN ESTÁNDAR

| PRODUCTO | IMAGEN | USO ADECUADO | |
|-----------------------------------|---|--------------------|--|
| PAÑO AZUL |  | Habitación | Limpeza (desinfectante dual 5h 3m) para: mesa de puente, mesa de noche, teléfono, silla locutora y escalerilla. |
| PAÑO VERDE |  | Habitación | Desinfección (desinfectante dual 5h 3m) para: mesa de puente, mesa de noche, teléfono, silla locutora y escalerilla. |
| PAÑO ROJO |  | Habitación | Limpeza y desinfección (desinfectante dual 5h 3m) mesa de lavamanos, lavamanos, grifería y sanitario. |
| MOPA PLANA VERDE |  | Habitación piso | Barrido de habitaciones de adentro hacia afuera en seco piso. |
| MOPA PLANA AZUL BORDE ROJO |  | Habitación piso | Limpeza y desinfección (desinfectante dual 5h 3m) de adentro hacia afuera piso. |



Kit limpieza y desinfección terminal



LIMPIEZA TERMINAL

KIT #1 HABITACIÓN ESTÁNDAR

| PRODUCTO | IMAGEN | USO ADECUADO |
|-----------------------------------|---|---|
| PAÑO AZUL |  | Habitación Limpieza (multiusos) para: mesa de puente, mesa de noche, teléfono, silla locutora, escalerilla, cama y colchón. |
| PAÑO VERDE |  | Habitación Desinfección (solución desinfectante dual 5h 3m) dilución 3.4 ml x litro de agua para: mesa de puente, mesa de noche, teléfono, silla locutora, escalerilla, cama y colchón. |
| PAÑO ROJO |  | Baño Limpieza y desinfección (desinfectante dual 5h 3m) dilución 3.4 ml x litro de agua mesa de lavamanos, grifería y sanitario. |
| PAÑO CELESTE |  | Habitación, baño, vidrios y espejos Pulicar vidrios y espejos, primero en habitación de lo más limpio a lo más sucio y después en el baño en el mismo orden. |
| MOPA PLANA VERDE |  | Piso habitación Barrido de habitaciones de adentro hacia afuera en seco piso. |
| MOPA PLANA AZUL BORDE ROJO |  | Piso habitación Limpieza y desinfección (desinfectante dual 5h 3m) de adentro hacia afuera piso. |
| MOPA PLANA AZUL BORDE AZUL |  | Habitación y baño - techo y paredes Limpieza y desinfección (desinfectante dual 5h 3m) techo y paredes habitación y baño, primero la habitación techos en forma de barrido, y paredes de arriba hacia abajo el baño en el mismo orden. |



**Clínica
La Colina**



**COMPASS
GROUP**

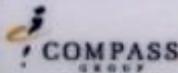
Kit limpieza áreas comunes



LIMPIEZA DE ÁREAS COMUNES

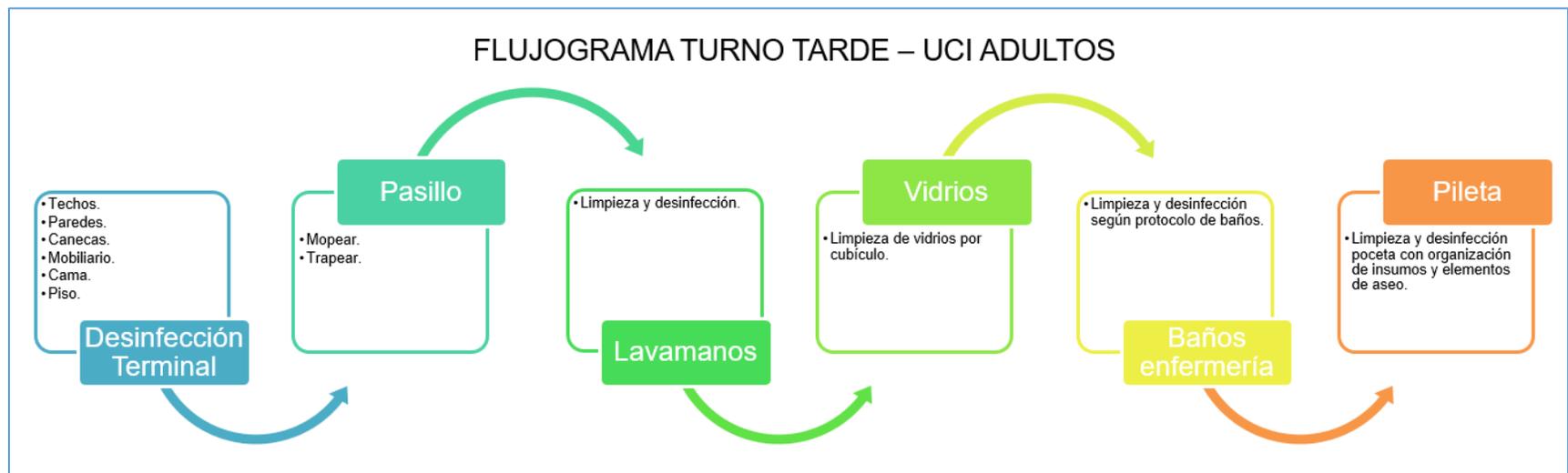
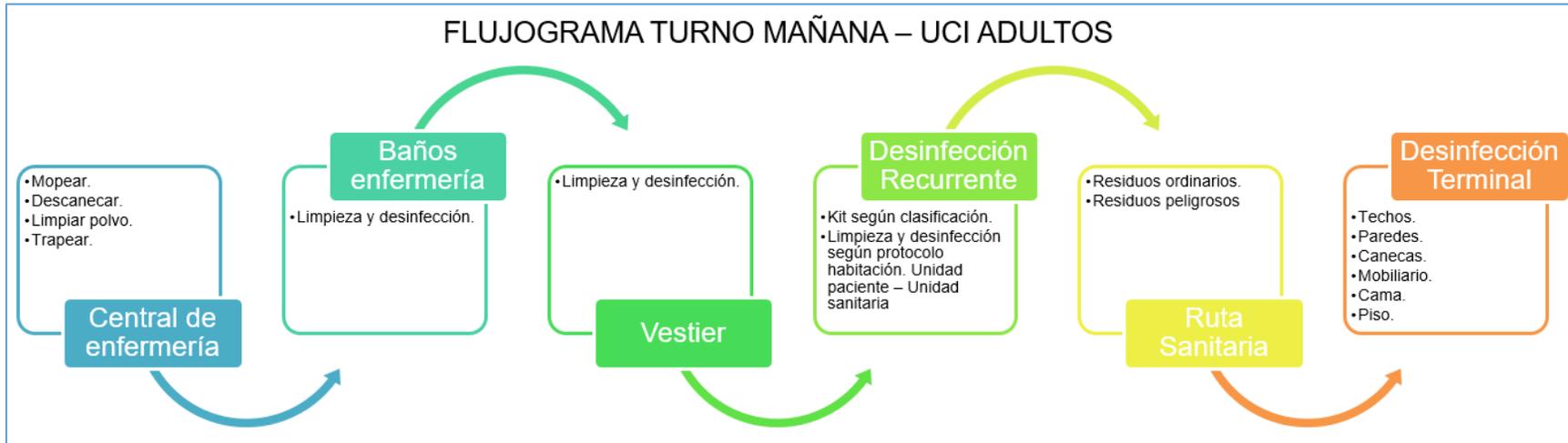
| PRODUCTO | IMAGEN | USO ADECUADO | |
|---|---|--|--|
| PAÑO AZUL PASTEL |  | Zonas comunes | Limpieza (desinfectante dual 5h 3m) para: puntos de recepción, puntos de enfermería, ventanas, baños, paredes, ascensor. |
| PAÑO VERDE PASTEL |  | Zonas comunes | Desinfección (desinfectante 5h 3m) para: puntos de recepción, puntos de enfermería, ventanas, baños, paredes, ascensor. |
| PAÑO ROSADA PASTEL |  | Baño | Limpieza y desinfección (desinfectante 5h 3m) de lo más limpio a lo más sucio. |
| PAÑO CELESTE/GRIS |  | Vidrios y espejos | Polichar vidrios y espejos, en áreas comunes: de lo más limpio a lo más sucio. |
| MOPA VERDE |  | Piso | Barrido de pisos áreas comunes de adentro hacia afuera. |
| MOPA AZUL VERDE |  | Piso | Limpieza y desinfección (desinfectante 5h 3m) de adentro hacia afuera pisos. |
| MECHA TRAPERO MEZCLA SINTETICA Y ALGODÓN |  | Control de derrames en pisos | Solo cuando hay derrames en zonas comunes. |
| BASTÓN EN FIBRA DE VIDRIO ALUMINIO GRIS PARA MECHA |  | Para mecha de traperero en control de derrames | Solo cuando hay derrames. |



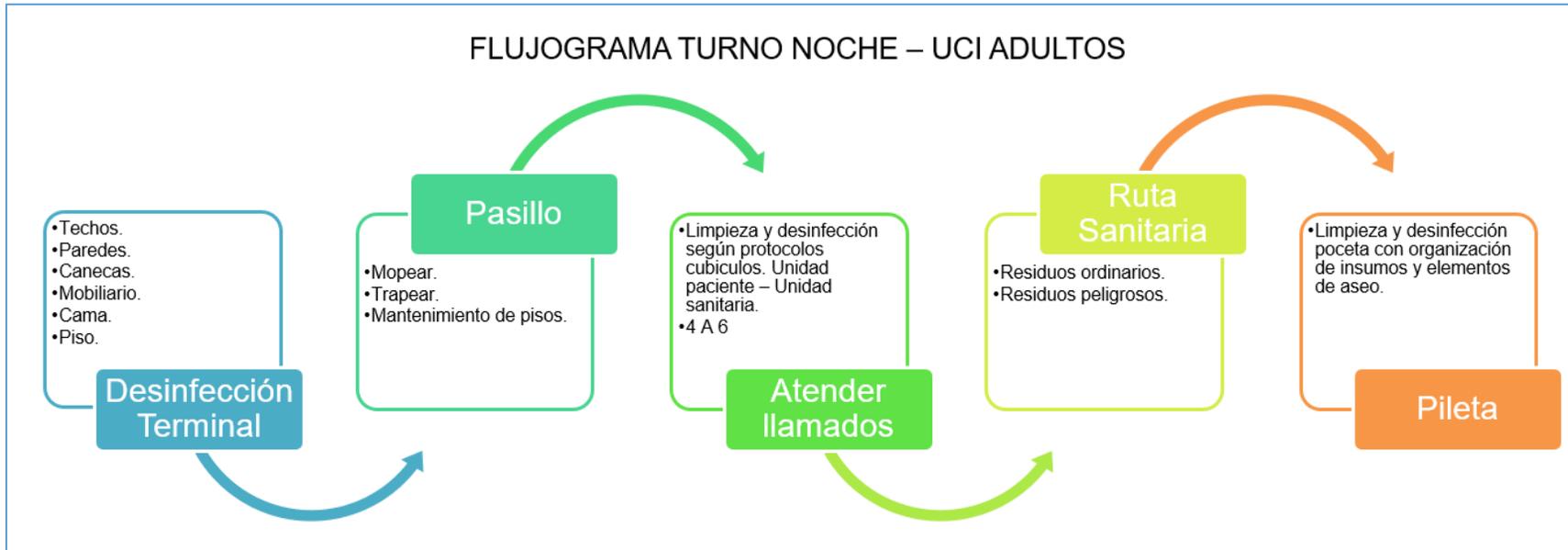


ANEXO 2

Flujograma UCI ADULTOS

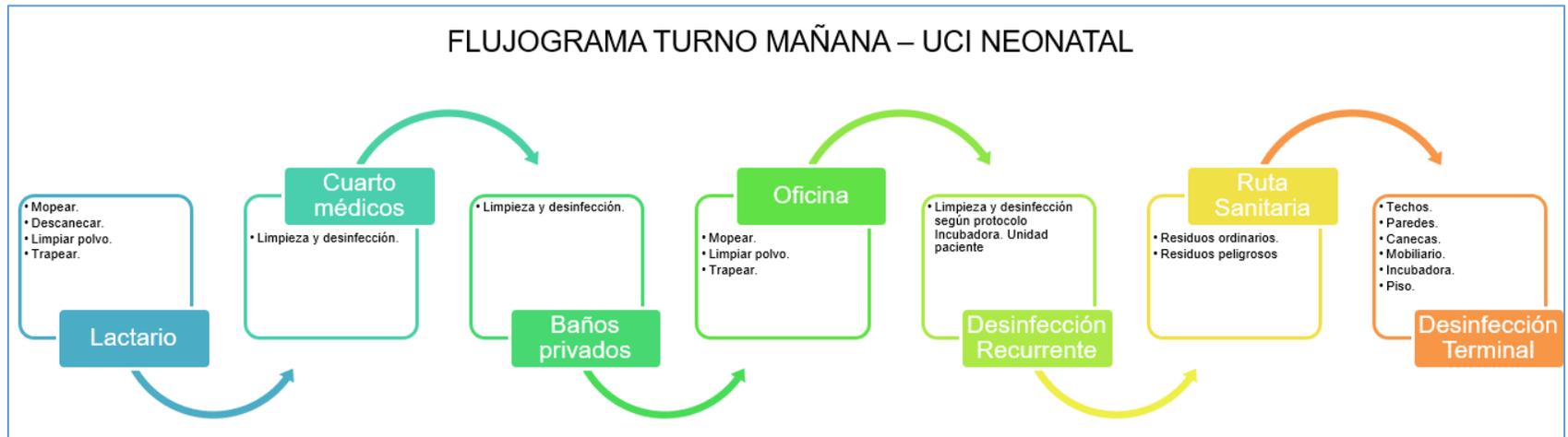


FLUJOGRAMA TURNO NOCHE – UCI ADULTOS

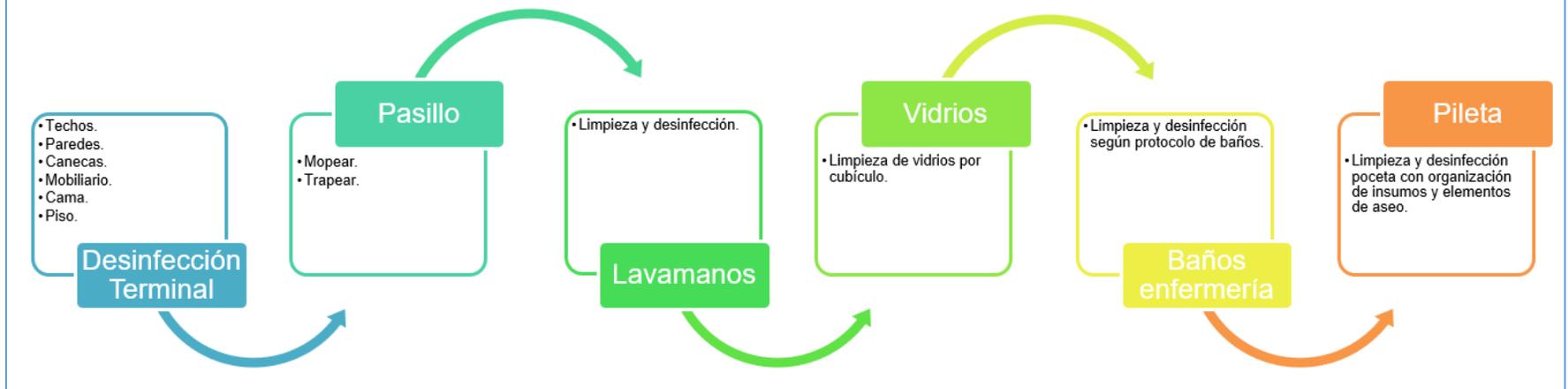


Flujograma UCI NEONATAL

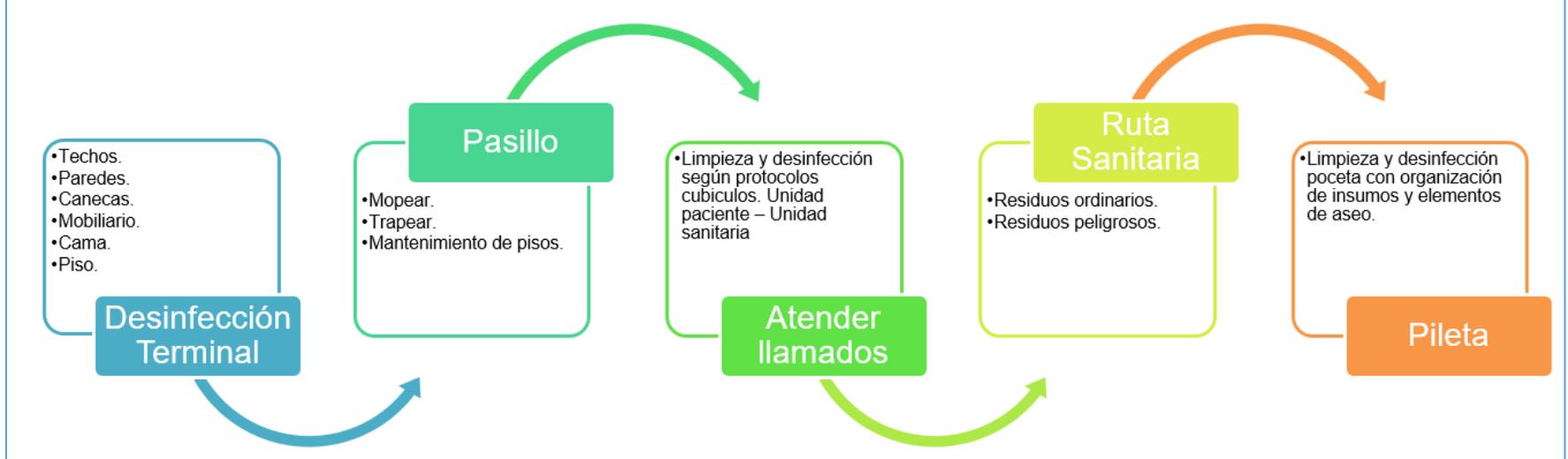
FLUJOGRAMA TURNO MAÑANA – UCI NEONATAL



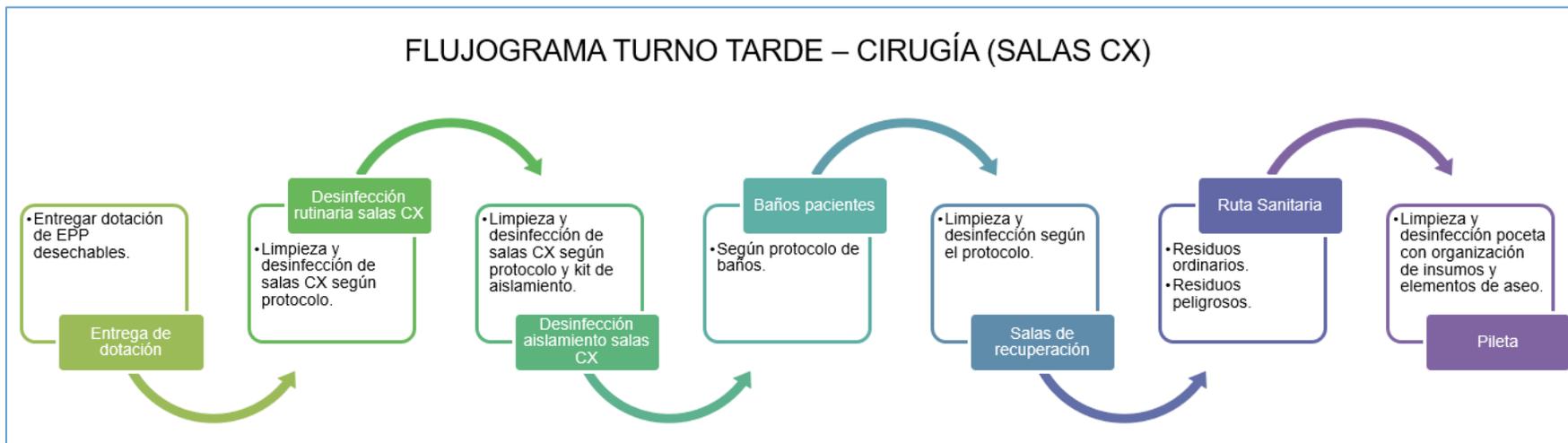
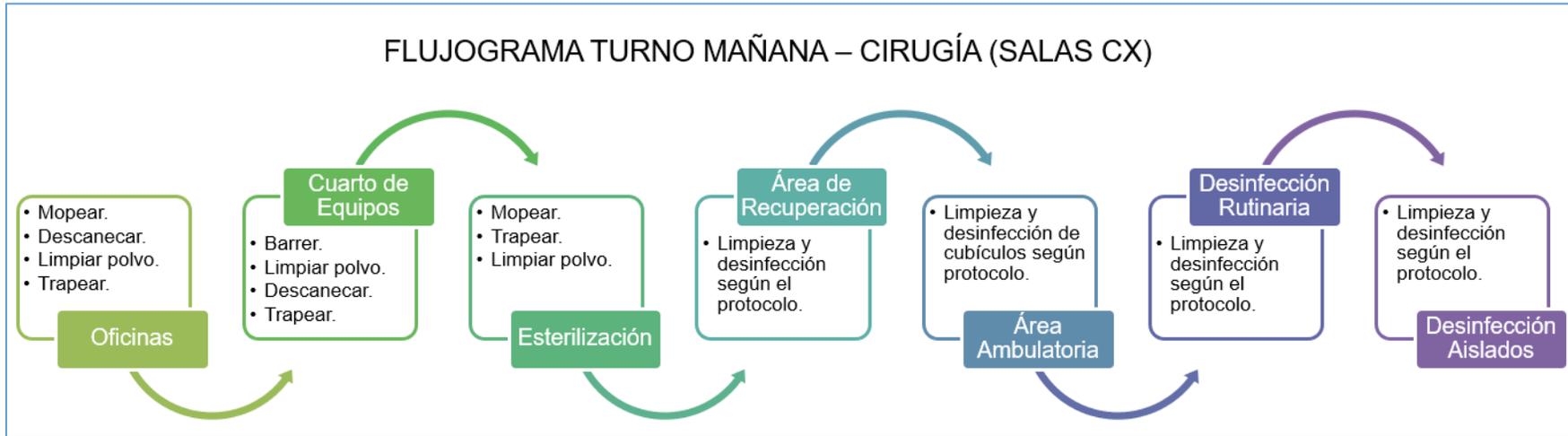
FLUJOGRAMA TURNO TARDE – UCI NEONATAL

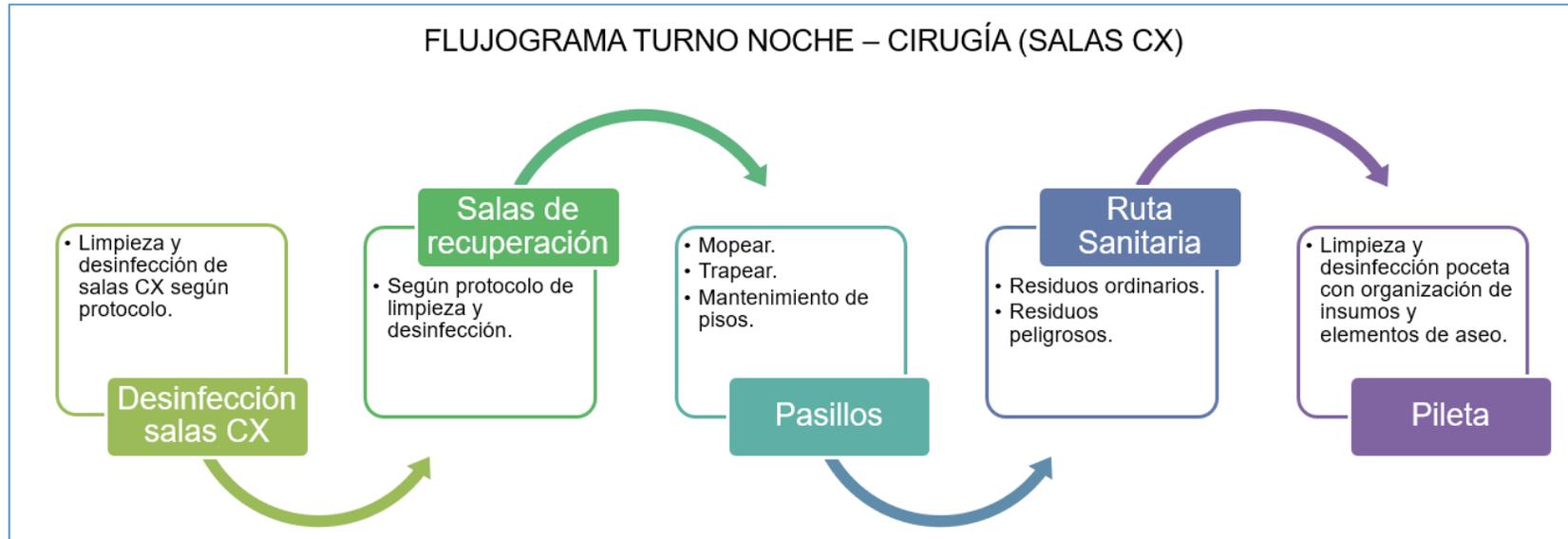


FLUJOGRAMA TURNO NOCHE – UCI NEONATAL



Flujograma CIRUGÍA





Flujograma URGENCIAS



FLUJOGRAMA TURNO TARDE – URGENCIAS



FLUJOGRAMA TURNO NOCHE – URGENCIAS



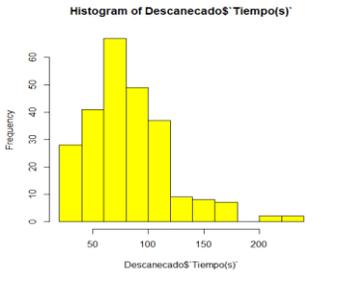
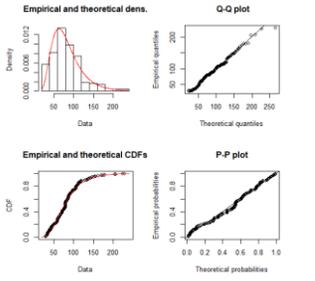
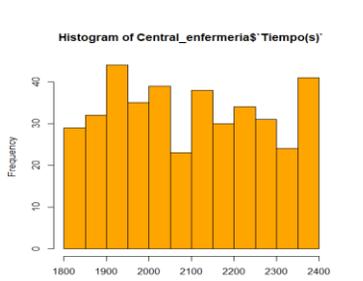
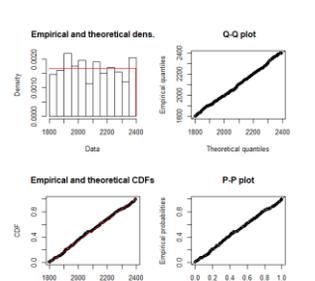
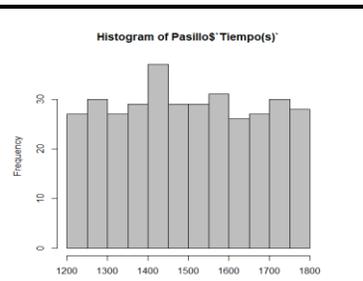
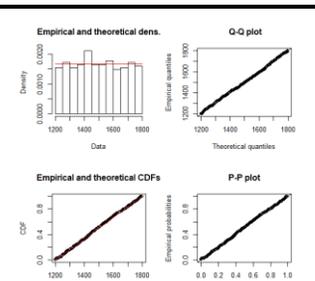
ANEXO 3

| TABLA DE MUNDEL | | | | | |
|------------------------|------------------|---------------|-----------------|------------------|---------------|
| $(A-B) / (A+B)$ | Serie inicial de | | $(A-B) / (A+B)$ | Serie inicial de | |
| | 5 mediciones | 10 mediciones | | 5 mediciones | 10 mediciones |
| 0,05 | 3 | 1 | 0,28 | 93 | 53 |
| 0,06 | 4 | 2 | 0,29 | 100 | 57 |
| 0,07 | 6 | 3 | 0,3 | 107 | 61 |
| 0,08 | 8 | 4 | 0,31 | 114 | 65 |
| 0,09 | 10 | 5 | 0,32 | 121 | 69 |
| 0,1 | 12 | 7 | 0,33 | 129 | 74 |
| 0,11 | 14 | 8 | 0,34 | 137 | 78 |
| 0,12 | 17 | 10 | 0,35 | 145 | 83 |
| 0,13 | 20 | 11 | 0,36 | 154 | 88 |
| 0,14 | 23 | 13 | 0,37 | 162 | 93 |
| 0,15 | 27 | 15 | 0,38 | 171 | 98 |
| 0,16 | 30 | 17 | 0,39 | 180 | 103 |
| 0,17 | 34 | 20 | 0,4 | 190 | 108 |
| 0,18 | 38 | 22 | 0,41 | 200 | 114 |
| 0,19 | 43 | 24 | 0,42 | 210 | 120 |
| 0,2 | 47 | 27 | 0,43 | 220 | 126 |
| 0,21 | 52 | 30 | 0,44 | 230 | 132 |
| 0,22 | 57 | 33 | 0,45 | 240 | 138 |
| 0,23 | 63 | 36 | 0,46 | 250 | 144 |
| 0,24 | 68 | 39 | 0,47 | 262 | 150 |
| 0,25 | 74 | 42 | 0,48 | 273 | 156 |
| 0,26 | 80 | 46 | 0,49 | 285 | 163 |
| 0,27 | 86 | 49 | 0,5 | 296 | 170 |

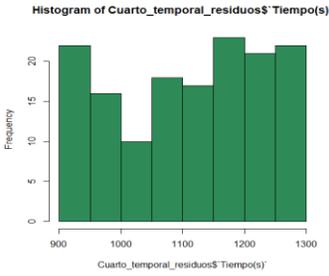
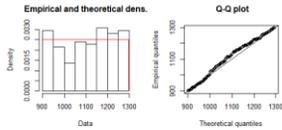
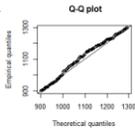
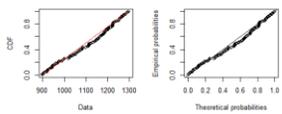
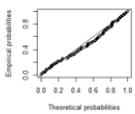
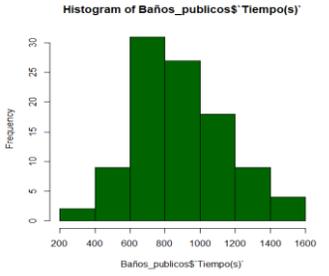
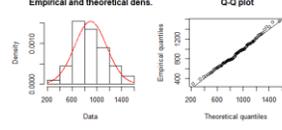
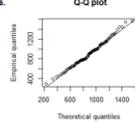
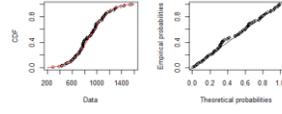
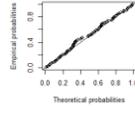
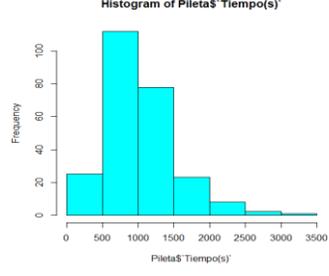
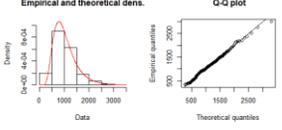
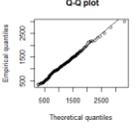
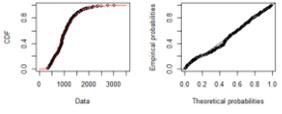
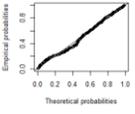
ANEXO 4

A. Pruebas de ajuste y bondad área hospitalización

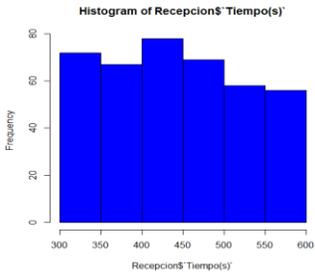
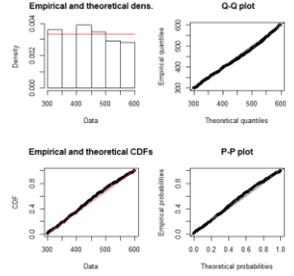
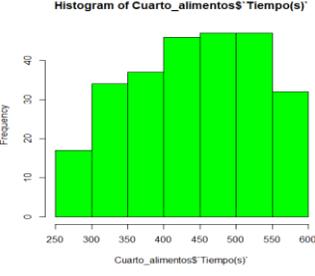
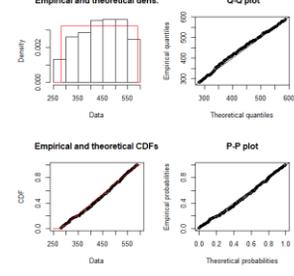
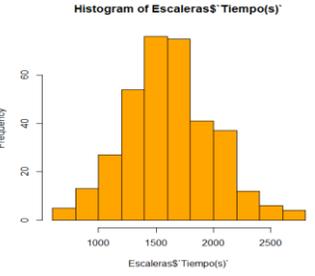
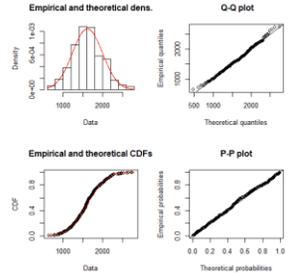
| Actividad | Histograma | Gráfica q - q | Distribución | Parámetros | Prueba | | | |
|--------------------------|------------|---------------|--------------|-------------------------------|-------------------------------|--------|----------------|---------|
| | | | | | Kolmogórov-Smirnov | | | |
| Desinfección recurrente | | | Unifome | MAX 1.299 | Tamaño de la muestra | 1104 | Rechazo? | No |
| | | | | | D | 0,0219 | | |
| | | | | MIN 647 | valor-p | 0,6626 | D _α | 0,0409 |
| | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | | |
| Desinfección aislamiento | | | Unifome | MAX 1.250 | Tamaño de la muestra | 589 | Rechazo? | No |
| | | | | | D | 0,024 | | |
| | | | | MIN 1.000 | valor-p | 0,8819 | D _α | 0,05603 |
| | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | | |
| Desinfección terminal | | | Normal | Media 4.124,561 | Tamaño de la muestra | 599 | Rechazo? | No |
| | | | | | D | 0,0408 | | |
| | | | | Desviación estandar 709,02 | valor-p | 0,2698 | D _α | 0,0555 |
| | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | | |

| | | | | | | | | | |
|--------------------------|--|---|-----------|---------------------|-------|-------------------------------|---------|------------|-------|
| Descanecado Habitaciones |  |  | Lognormal | Media | 4,33 | Tamaño de la muestra | 250 | Rechazo? | No |
| | | | | Desviación estandar | 0,44 | D | 0,07625 | | |
| | | | | | | valor-p | 0,1 | D_α | 0,086 |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | | |
| Central de enfermería |  |  | Unifome | MAX | 2.396 | Tamaño de la muestra | 400 | Rechazo? | No |
| | | | | MIN | 1.800 | D | 0,0321 | | |
| | | | | | | valor-p | 0,8018 | D_α | 0,068 |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | | |
| Pasillo |  |  | Unifome | MAX | 1.800 | Tamaño de la muestra | 350 | Rechazo? | No |
| | | | | MIN | 1.200 | D | 0,027 | | |
| | | | | | | valor-p | 0,9522 | D_α | 0,072 |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | | |

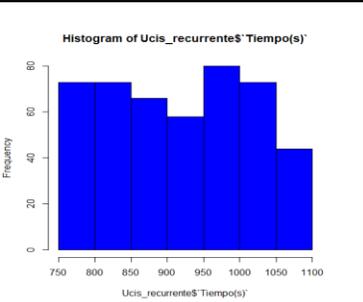
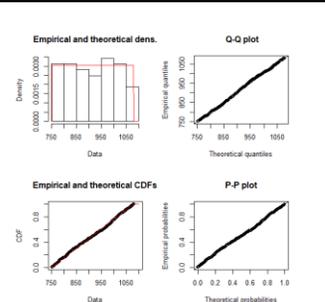
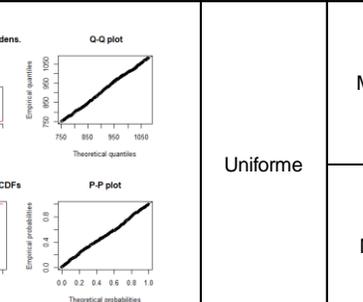
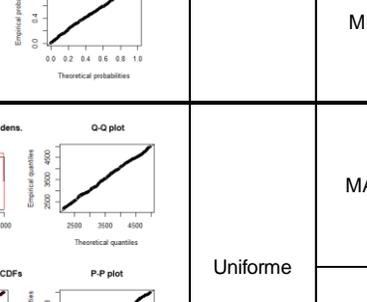
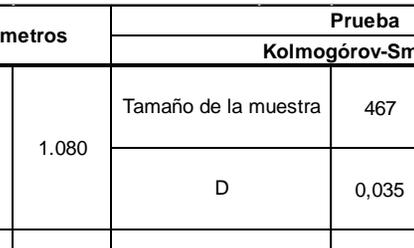
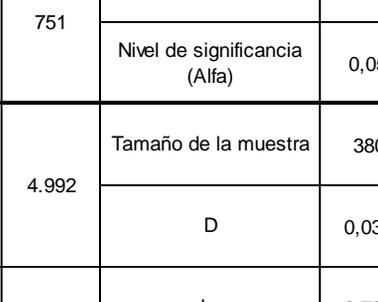
| | | | | | | | | | |
|-------------------------|--|--|----------|---------------------|----------|-------------------------------|----------|------------|--------|
| Baño privado | | | Normal | Media | 745,6116 | Tamaño de la muestra | 470 | Rechazo? | No |
| | | | | Desviación estandar | 194,4876 | D | 0,0306 | | |
| | | | | | | valor-p | 0,7595 | | |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_α | 0,075 |
| Pasillo 1 | | | Uniforme | MAX | 797 | Tamaño de la muestra | 100 | Rechazo? | No |
| | | | | MIN | 602 | D | 0,12256 | | |
| | | | | | | valor-p | 0,09913 | | |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_α | 0,136 |
| Central de enfermeria 1 | | | Uniforme | MAX | 899 | Tamaño de la muestra | 200 | Rechazo? | No |
| | | | | MIN | 600 | D | 0,078395 | | |
| | | | | | | valor-p | 0,1711 | | |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_α | 0,0961 |

| | | | | | | | | | |
|-----------------------------|---|--|-----------|---------------------|---------|-------------------------------|---------|--------------|--------|
| Cuarto temporal de residuos | <p>Histogram of Cuarto_temporal_residuos\$ Tiempo(s)</p>  | <p>Empirical and theoretical dens.</p>  <p>Q-Q plot</p>  <p>Empirical and theoretical CDFs</p>  <p>P-P plot</p>  | Uniforme | MAX | 1.297 | Tamaño de la muestra | 149 | Rechazo? | No |
| | | | | | | D | 0,0936 | | |
| | | | | MIN | 900 | valor-p | 0,1466 | | |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_{α} | 0,1114 |
| Baños publicos | <p>Histogram of Baños_publicos\$ Tiempo(s)</p>  | <p>Empirical and theoretical dens.</p>  <p>Q-Q plot</p>  <p>Empirical and theoretical CDFs</p>  <p>P-P plot</p>  | Normal | Media | 895,899 | Tamaño de la muestra | 100 | Rechazo? | No |
| | | | | | | D | 0,07353 | | |
| | | | | Desviación estandar | 258,671 | valor-p | 0,6519 | | |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_{α} | 0,136 |
| Pileta | <p>Histogram of Pileta\$ Tiempo(s)</p>  | <p>Empirical and theoretical dens.</p>  <p>Q-Q plot</p>  <p>Empirical and theoretical CDFs</p>  <p>P-P plot</p>  | Lognormal | Media | 6,847 | Tamaño de la muestra | 249 | Rechazo? | No |
| | | | | | | D | 0,07176 | | |
| | | | | Desviación estandar | 0,439 | valor-p | 0,1539 | | |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_{α} | 0,0861 |

| | | | | | | | | | |
|---------------------|--|--|----------|---------------------|---------|-------------------------------|--------|------------|--------|
| Mantenimiento pisos | | | Uniforme | MAX | 7.192 | Tamaño de la muestra | 300 | Rechazo? | No |
| | | | | | | D | 0,0388 | | |
| | | | | MIN | 3.602 | valor-p | 0,7547 | | |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_α | 0,0785 |
| Zona comun | | | Uniforme | MAX | 1.800 | Tamaño de la muestra | 250 | Rechazo? | No |
| | | | | | | D | 0,0466 | | |
| | | | | MIN | 1.200 | valor-p | 0,1539 | | |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_α | 0,0861 |
| Oficina | | | Normal | Media | 834,902 | Tamaño de la muestra | 180 | Rechazo? | No |
| | | | | | | D | 0,048 | | |
| | | | | Desviación estandar | 193,667 | valor-p | 0,7854 | | |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_α | 0,1013 |

| | | | | | | | | | |
|---------------------|--|---|----------|---------------------|-----------|-------------------------------|----------|------------|--------|
| Recepción |  |  | Uniforme | MAX | 600 | Tamaño de la muestra | 400 | Rechazo? | No |
| | | | | | | D | 0,0583 | | |
| | | | | MIN | 300 | valor-p | 0,1314 | | |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_α | 0,068 |
| Cuarto de alimentos |  |  | Uniforme | MAX | 589 | Tamaño de la muestra | 260 | Rechazo? | No |
| | | | | | | D | 0,057642 | | |
| | | | | MIN | 281 | valor-p | 0,3534 | | |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_α | 0,0843 |
| Escaleras |  |  | Normal | Media | 1.613,269 | Tamaño de la muestra | 350 | Rechazo? | No |
| | | | | | | D | 0,0444 | | |
| | | | | Desviación estandar | 380,759 | valor-p | 0,4943 | | |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_α | 0,0727 |

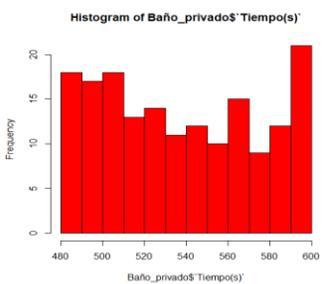
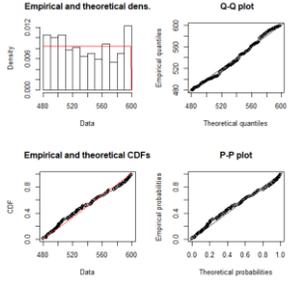
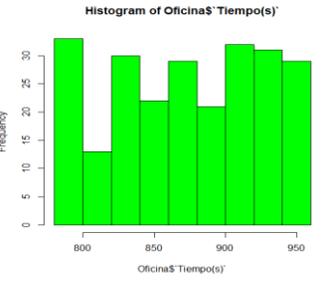
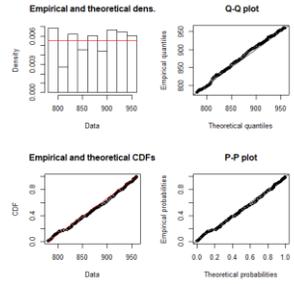
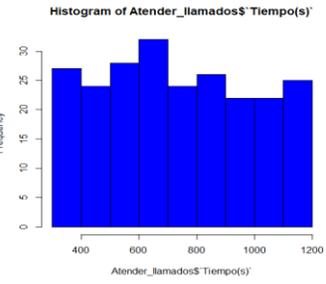
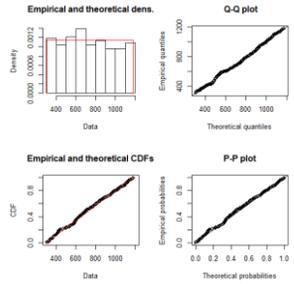
B. Pruebas de ajuste y bondad área Unidad de cuidados intensivos

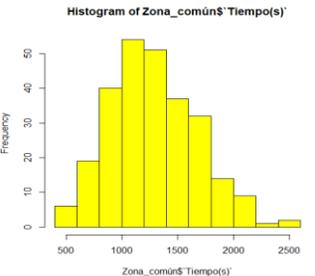
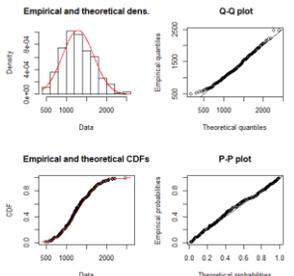
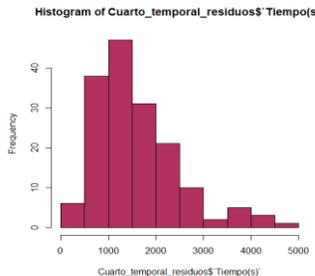
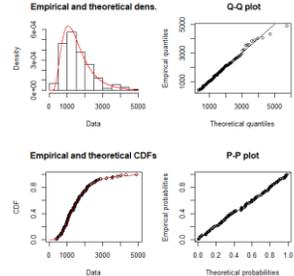
| Actividad | Histograma | Grafica q - q | Distribución | Parámetros | Prueba | | | | | |
|-----------------------|---|---|--------------|--------------------------------|----------------------|--------|-------------------------------|------|------------|--------|
| | | | | | Kolmogórov-Smirnov | | | | | |
| Uci recurrente |  |  | Uniforme | MAX 1.080 | Tamaño de la muestra | 467 | Rechazo? | No | | |
| | | | | | D | 0,035 | | | | |
| | | | | MIN 751 | valor-p | 0,596 | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_α | 0,061 |
| | | | | | | | | | | |
| Uci terminal |  |  | Uniforme | MAX 4.992 | Tamaño de la muestra | 380 | Rechazo? | No | | |
| | | | | | D | 0,035 | | | | |
| | | | | MIN 2.126 | valor-p | 0,721 | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_α | 0,069 |
| | | | | | | | | | | |
| Central de enfermería |  |  | Normal | Media 1.179,661 | Tamaño de la muestra | 130 | Rechazo? | No | | |
| | | | | | D | 0,074 | | | | |
| | | | | Desviación estandar 312,176 | valor-p | 0,4735 | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_α | 0,1192 |
| | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|------------------|--|--|-----------|---------------------|-------|-------------------------------|--------|------------|-------|
| Baños enfermería | | | Uniforme | MAX | 898 | Tamaño de la muestra | 150 | Rechazo? | No |
| | | | | | | D | 0,0702 | | |
| | | | | MIN | 600 | valor-p | 0,4506 | | |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_α | 0,111 |
| Vestier | | | Lognormal | Media | 6,920 | Tamaño de la muestra | 220 | Rechazo? | No |
| | | | | | | D | 0,0508 | | |
| | | | | Desviación estandar | 0,457 | valor-p | 0,621 | | |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_α | 0,091 |
| Ruta sanitaria | | | Uniforme | MAX | 300 | Tamaño de la muestra | 200 | Rechazo? | No |
| | | | | | | D | 0,086 | | |
| | | | | MIN | 180 | valor-p | 0,09 | | |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_α | 0,096 |

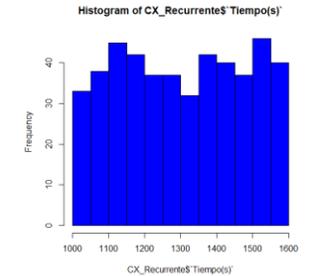
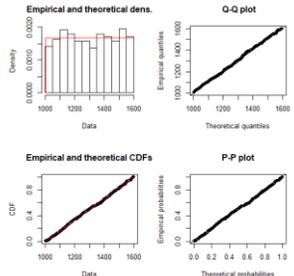
| | | | | | | | | | |
|-------------------|--|--|----------|---------------------|---------|-------------------------------|--------|------------|-------|
| Pasillo | | | Uniforme | MAX | 899 | Tamaño de la muestra | 300 | Rechazo? | No |
| | | | | | | D | 0,069 | | |
| | | | | MIN | 600 | valor-p | 0,1108 | | |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_α | 0,078 |
| Lavamanos | | | Uniforme | MAX | 500 | Tamaño de la muestra | 190 | Rechazo? | No |
| | | | | | | D | 0,0421 | | |
| | | | | MIN | 400 | valor-p | 0,8891 | | |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_α | 0,098 |
| Vidrios cubiculos | | | Normal | Media | 683,730 | Tamaño de la muestra | 250 | Rechazo? | No |
| | | | | | | D | 0,04 | | |
| | | | | Desviación estandar | 165,08 | valor-p | 0,8155 | | |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_α | 0,086 |

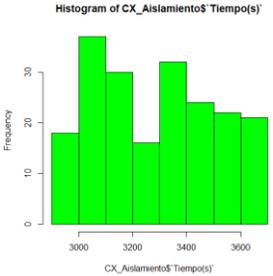
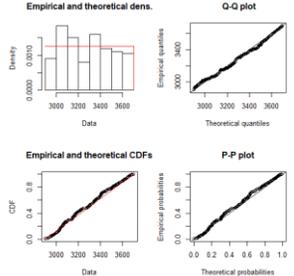
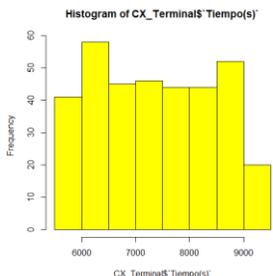
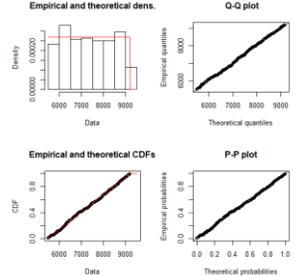
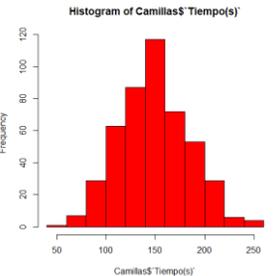
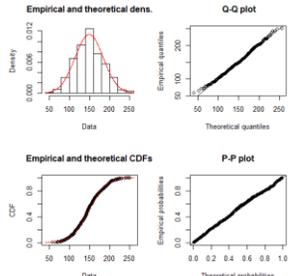
| | | | | | | | | | |
|---------------|--|--|----------|---------------------|--------|-------------------------------|--------|------------|--------|
| Pileta | | | Normal | Media | 810,13 | Tamaño de la muestra | 100 | Rechazo? | No |
| | | | | Desviación estandar | 197,67 | D | 0,06 | | |
| Lactario | | | Uniforme | MAX | 4.000 | Tamaño de la muestra | 210 | Rechazo? | No |
| | | | | MIN | 3.600 | D | 0,052 | | |
| Cuarto medico | | | Normal | Media | 891,92 | Tamaño de la muestra | 120 | Rechazo? | No |
| | | | | Desviación estandar | 266,88 | valor-p | 0,2731 | | |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_α | 0,136 |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_α | 0,093 |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_α | 0,1241 |

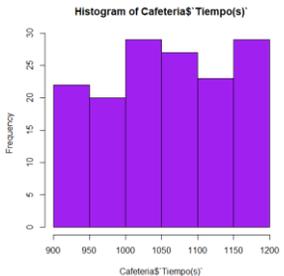
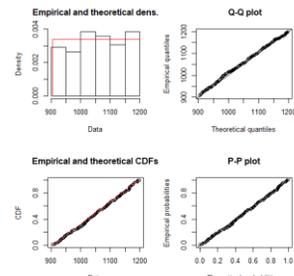
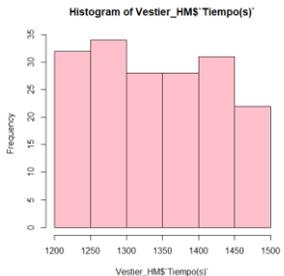
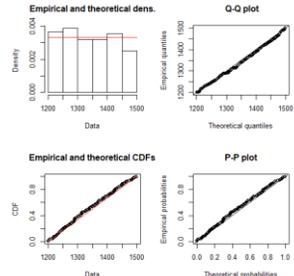
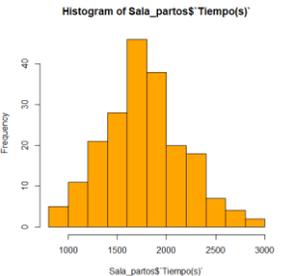
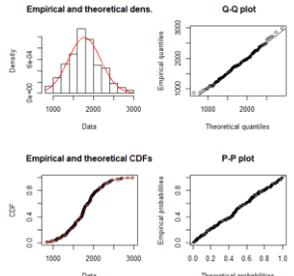
| | | | | | | | | | |
|------------------|--|---|---------|-----|-------|-------------------------------|--------|------------|--------|
| Baño privado |  |  | Unifome | MAX | 599 | Tamaño de la muestra | 170 | Rechazo? | No |
| | | | | | | D | 0,075 | | |
| | | | | MIN | 480 | valor-p | 0,285 | D_α | 0,1043 |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | | |
| Oficina |  |  | Unifome | MAX | 960 | Tamaño de la muestra | 240 | Rechazo? | No |
| | | | | | | D | 0,058 | | |
| | | | | MIN | 780 | valor-p | 0,3877 | D_α | 0,087 |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | | |
| Atender llamados |  |  | Unifome | MAX | 1.180 | Tamaño de la muestra | 230 | Rechazo? | No |
| | | | | | | D | 0,043 | | |
| | | | | MIN | 301 | valor-p | 0,7741 | D_α | 0,089 |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | | |

| | | | | | | | | | |
|--------------------------|---|--|-----------|---------------------|----------|-------------------------------|--------|------------|--------|
| Zona común |  |  | Normal | Media | 1.288,50 | Tamaño de la muestra | 265 | Rechazo? | No |
| | | | | Desviación estandar | 387,78 | D | 0,0571 | | |
| Cuarto temporal residuos |  |  | LogNormal | Media | 7,235 | Tamaño de la muestra | 164 | Rechazo? | No |
| | | | | Desviación estandar | 0,521 | D | 0,033 | | |
| | | | | | | valor-p | 0,3532 | | |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_α | 0,083 |
| | | | | | | valor-p | 0,992 | | |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_α | 0,1061 |

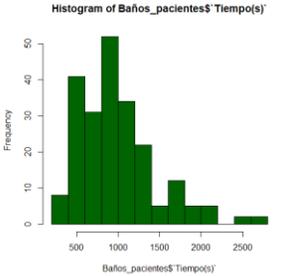
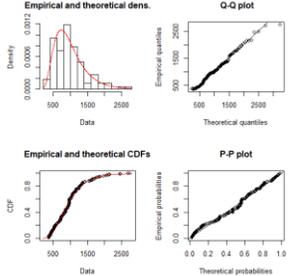
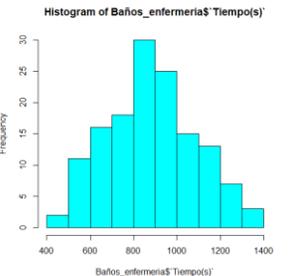
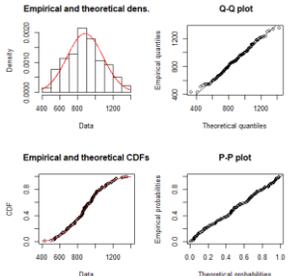
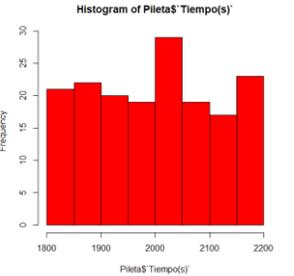
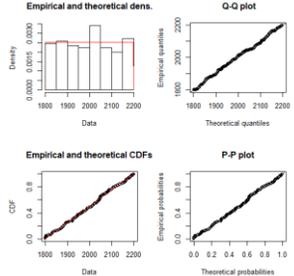
C. Pruebas de ajuste y bondad área Cirugía

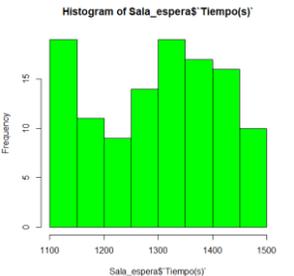
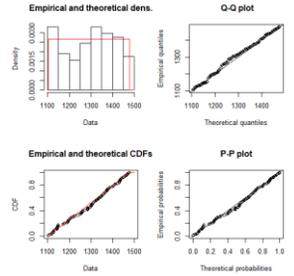
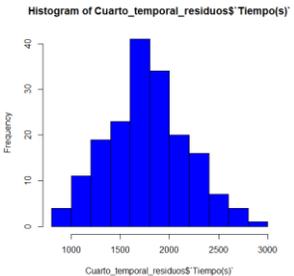
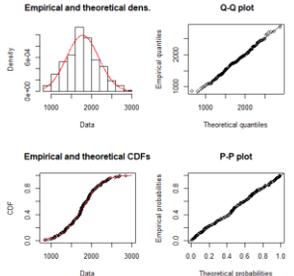
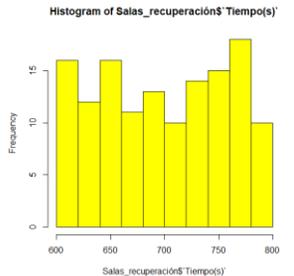
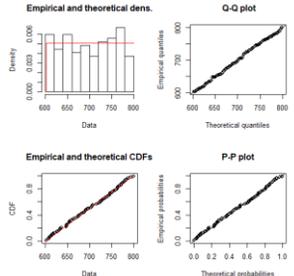
| Actividad | Histograma | Grafica q - q | Distribución | Parámetros | Prueba Kolmogórov-Smirnov | | | | |
|---------------|---|--|--------------|------------|---------------------------|-------------------------------|---------|-------------------------------|------------|
| | | | | | Tamaño de la muestra | D | valor-p | Nivel de significancia (Alfa) | D_α |
| CX recurrente |  |  | Uniforme | MAX | 1.600 | Tamaño de la muestra | 469 | Rechazo? | No |
| | | | | MIN | 1.003 | D | 0,037 | | |
| | | | | | | valor-p | 0,539 | | |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_α | 0,075 |

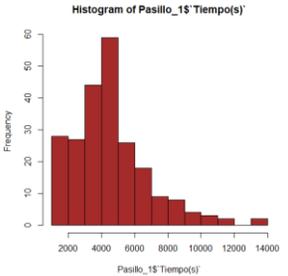
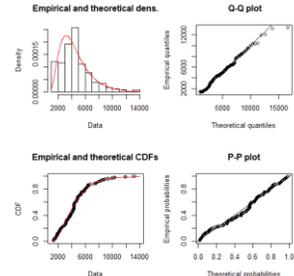
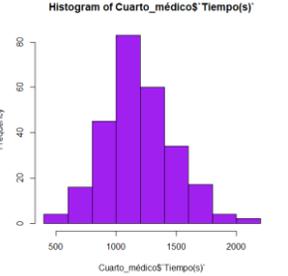
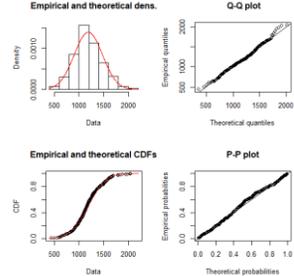
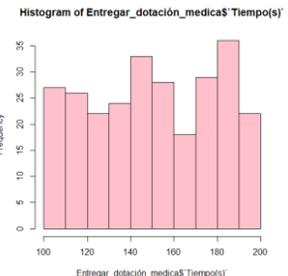
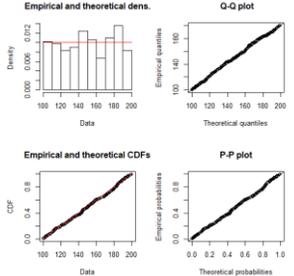
| | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|--|---|----------|---------------------|--------|----------------------|-------|-------------------------------|------|---------------|-------|
| CX aislamiento |  |  | Uniforme | MAX | 2.900 | Tamaño de la muestra | 200 | Rechazo? | No | | |
| | | | | | | D | 0,07 | | | | |
| | | | | MIN | 3.699 | valor-p | 0,274 | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D $_{\alpha}$ | 0,11 |
| | | | | | | | | | | | |
| CX terminal |  |  | Uniforme | MAX | 9.197 | Tamaño de la muestra | 350 | Rechazo? | No | | |
| | | | | | | D | 0,02 | | | | |
| | | | | MIN | 5.500 | valor-p | 0,94 | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D $_{\alpha}$ | 0,08 |
| | | | | | | | | | | | |
| Desinfección de camillas |  |  | Normal | Media | 148,96 | Tamaño de la muestra | 468 | Rechazo? | No | | |
| | | | | | | D | 0,035 | | | | |
| | | | | Desviación estándar | 35,16 | valor-p | 0,579 | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D $_{\alpha}$ | 0,075 |
| | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | |
|----------------|--|---|----------|---------------------|-------|----------------------|-------|-------------------------------|------|--------------|-------|
| Cafetería |  <p>Histogram of Cafeterías 'Tiempo(s)'</p> |  <p>Empirical and theoretical dens. Q-Q plot Empirical and theoretical CDFs P-P plot</p> | Uniforme | MAX | 1.200 | Tamaño de la muestra | 150 | Rechazo? | No | | |
| | | | | | | D | 0,05 | | | | |
| | | | | MIN | 905 | valor-p | 0,797 | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_{α} | 0,13 |
| | | | | | | | | | | | |
| Vestier |  <p>Histogram of Vestier_HMS 'Tiempo(s)'</p> |  <p>Empirical and theoretical dens. Q-Q plot Empirical and theoretical CDFs P-P plot</p> | Uniforme | MAX | 1.500 | Tamaño de la muestra | 175 | Rechazo? | No | | |
| | | | | | | D | 0,06 | | | | |
| | | | | MIN | 1.200 | valor-p | 0,503 | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_{α} | 0,12 |
| | | | | | | | | | | | |
| Sala de partos |  <p>Histogram of Sala_partos\$ 'Tiempo(s)'</p> |  <p>Empirical and theoretical dens. Q-Q plot Empirical and theoretical CDFs P-P plot</p> | Normal | Media | 1.774 | Tamaño de la muestra | 200 | Rechazo? | No | | |
| | | | | | | D | 0,04 | | | | |
| | | | | Desviación estándar | 403 | valor-p | 0,864 | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_{α} | 0,115 |
| | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|-----------|---|--|-----------|---------------------|------|-------------------------------|------|------------|------|
| Recepción | <p>Histogram of Recepción's Time(s)</p> | <p>Empirical and theoretical dens. Q-Q plot</p> <p>Empirical and theoretical CDFs P-P plot</p> | LogNormal | Media | 6,40 | Tamaño de la muestra | 250 | Rechazo? | No |
| | | | | | | D | 0,07 | | |
| | | | | Desviación estándar | 0,43 | valor-p | 0,1 | | |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_α | 0,1 |
| Pasillo | <p>Histogram of Pasillo's Time(s)</p> | <p>Empirical and theoretical dens. Q-Q plot</p> <p>Empirical and theoretical CDFs P-P plot</p> | Uniforme | MAX | 945 | Tamaño de la muestra | 130 | Rechazo? | No |
| | | | | | | D | 0,06 | | |
| | | | | MIN | 622 | valor-p | 0,63 | | |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_α | 0,14 |
| Lavamanos | <p>Histogram of Lavamanos's Time(s)</p> | <p>Empirical and theoretical dens. Q-Q plot</p> <p>Empirical and theoretical CDFs P-P plot</p> | Uniforme | MAX | 500 | Tamaño de la muestra | 245 | Rechazo? | No |
| | | | | | | D | 0,05 | | |
| | | | | MIN | 300 | valor-p | 0,45 | | |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_α | 0,1 |

| | | | | | | | | | |
|------------------|--|---|-----------|---------------------|--------|-------------------------------|------|----------------|------|
| Baños pacientes |  |  | LogNormal | Media | 6,79 | Tamaño de la muestra | 219 | Rechazo? | No |
| | | | | Desviación estándar | 0,45 | D | 0,07 | | |
| Baños enfermería |  |  | Normal | Media | 883,62 | Tamaño de la muestra | 140 | Rechazo? | No |
| | | | | Desviación estándar | 203,86 | D | 0,03 | | |
| Pileta |  |  | Uniforme | MAX | 2.199 | Tamaño de la muestra | 170 | Rechazo? | No |
| | | | | MIN | 1.800 | D | 0,03 | | |
| | | | | | | valor-p | 0,17 | | |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D _α | 0,11 |
| | | | | | | valor-p | 0,98 | | |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D _α | 0,13 |
| | | | | | | valor-p | 0,98 | | |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D _α | 0,12 |

| | | | | | | | | | |
|-----------------------|--|---|----------|---------------------|----------|-------------------------------|------|------------|------|
| Sala de espera |  |  | Uniforme | MAX | 1.479 | Tamaño de la muestra | 115 | Rechazo? | No |
| | | | | | | D | 0,07 | | |
| | | | | MIN | 1.104 | valor-p | 0,5 | | |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_α | 0,15 |
| UTAI |  |  | Normal | Media | 1.776,45 | Tamaño de la muestra | 180 | Rechazo? | No |
| | | | | | | D | 0,04 | | |
| | | | | Desviación estándar | 402,25 | valor-p | 0,91 | | |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_α | 0,12 |
| Salas de recuperación |  |  | Uniforme | MAX | 800 | Tamaño de la muestra | 135 | Rechazo? | No |
| | | | | | | D | 0,03 | | |
| | | | | MIN | 602 | valor-p | 0,98 | | |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_α | 0,14 |

| | | | | | | | | | |
|-------------------|--|---|-----------|---------------------|----------|-------------------------------|-------|------------|-----|
| Pasillo central |  |  | LogNormal | Media | 8,30 | Tamaño de la muestra | 230 | Rechazo? | No |
| | | | | | | D | 0,08 | | |
| | | | | Desviación estándar | 0,49 | valor-p | 0,056 | | |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_α | 0,1 |
| Cuarto médico |  |  | Normal | Media | 1.188,07 | Tamaño de la muestra | 265 | Rechazo? | No |
| | | | | | | D | 0,05 | | |
| | | | | Desviación estándar | 287,17 | valor-p | 0,372 | | |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_α | 0,1 |
| Entregar dotación |  |  | Uniforme | MAX | 200 | Tamaño de la muestra | 265 | Rechazo? | No |
| | | | | | | D | 0,04 | | |
| | | | | MIN | 100 | valor-p | 0,66 | | |
| | | | | | | Nivel de significancia (Alfa) | 0,05 | D_α | 0,1 |