



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**DESARROLLO DE UN MODELO DE PROGRAMACIÓN DE
CIRUGÍA QUE PERMITA DEFINIR POLÍTICAS DE
OPERACIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LOS
QUIRÓFANOS**

Autor

Valery Fernanda Quiroga Pedroza

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería
Industrial

Medellín, Colombia

2019



DESARROLLO DE UN MODELO DE PROGRAMACIÓN DE CIRUGÍA QUE
PERMITA DEFINIR POLÍTICAS DE OPERACIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DE
LOS QUIRÓFANOS

Valery Fernanda Quiroga Pedroza

Trabajo de grado como requisito para optar al título de:

Ingeniera Industrial

Asesores:

Alma Karina Rodríguez Quintero – Ingeniera de desarrollo organizacional de la IPS
Universitaria

Paula Andrea Velásquez Restrepo – Coordinadora de desarrollo organizacional de la IPS
Universitaria

Juan Guillermo Villegas Ramírez – Docente del departamento de Ingeniería Industrial de la
Universidad de Antioquia

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Industrial

Medellín, Colombia

2019.

Dedicatoria:

A mi madre Cielo, y a toda mi familia. Por su apoyo y paciencia en este proceso de aprendizaje y sobre todo el inmenso amor que me tienen y motiva a ser mejor cada día.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN.....	8
OBJETIVOS	11
Objetivo General:	11
Objetivos específicos	11
1. MARCO TEÓRICO	12
2. METODOLOGÍA.....	15
Exploración	15
Recolección de datos e información.....	16
Análisis de datos.....	16
Propuesta y cálculo de indicadore:	17
Modelo matemático	17
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
Modelo de optimización	24
Conjuntos	24
Parámetros.....	25
Variable de decisión.....	27
Función objetivo.....	28
Restricciones	28
Análisis del modelo y escenarios	30
CONCLUSIONES.....	48
AGRADECIMIENTOS.....	50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

ANEXOS 53
ANEXO 1..... 53

LISTAS DE FIGURAS Y GRÁFICA

Figura 1. Metodología. Fuente: Elaboración propia.....	19
Gráfica 1. Tipo de procedencia del paciente (julio2018-junio2019). Fuente: Elaboración propia..	20
Gráfica 2. Pareto de la demanda de especialidades (julio2018-junio2019). Fuente: Elaboración propia.....	21
Gráfica 3. Porcentajes de ocupación de quirófanos (julio2018-junio2019). Fuente: Elaboración propia.....	22
Gráfica 4. Pareto de las EPS atendidas en la IPS Universitaria (junio2018-julio2019). Fuente: Elaboración propia	23
Gráfica 5. Histórico de la demanda atendida por EPS, en la IPS Universitaria (julio2018-junio2019). Fuente: Elaboración propia.	33
Gráfica 6. Asignación de demanda por EPS del escenario base(julio2018-junio2019). Fuente: Elaboración propia.....	33
Gráfica 7. Asignación de demanda por EPS del escenario 1(julio2018-junio2019).. Fuente: Elaboración propia.....	34
Gráfica 8. Asignación de demanda por EPS del escenario 2(julio2018-junio2019). Fuente: Elaboración propia.....	34
Gráfica 9. Asignación de demanda por EPS del escenario 3 (julio2018-junio2019). Fuente: Elaboración propia.....	35
Gráfica 10. Asignación de demanda por EPS del escenario 4 (julio2018-junio2019). Fuente: Elaboración propia.....	35
Gráfica 11. Asignación de especialidad por quirófano histórico (julio2018-junio2019). Fuente: Elaboración propia.....	37

Gráfica 12. Asignación de especialidad por quirófano escenario base (julio2018-junio2019).	
Fuente: Elaboración propia.....	37
Gráfica 13. Asignación de especialidad por quirófano escenario 1(julio2018-junio2019). Fuente:	
Elaboración propia.....	38
Gráfica 14.Asignación de especialidad por quirófano escenario 2 (julio2018-junio2019). Fuente:	
Elaboración propia.....	38
Gráfica 15. Asignación de especialidad por quirófano escenario 3 (julio2018-junio2019). Fuente:	
Elaboración propia.....	39
Gráfica 16. Asignación de especialidad por quirófano escenario 4 (julio2018-junio2019). Fuente:	
Elaboración propia.....	39
Gráfica 17. Porcentaje de utilización de horas por grupo de especialistas, escenario base. Fuente:	
Elaboración propia.....	42
Gráfica 18. Porcentaje de utilización de horas por grupo de especialistas, escenario 1. Fuente:	
Elaboración propia.....	42
Gráfica 19.Porcentaje de utilización de horas por grupo de especialistas, escenario 2. Fuente:	
Elaboración propia.....	43
Gráfica 20. Porcentaje de utilización de horas por grupo de especialistas, escenario 3. Fuente:	
Elaboración propia.....	43
Gráfica 21.Porcentaje de utilización de horas por grupo de especialistas, escenario 4. Fuente:	
Elaboración propia.....	44
Gráfica 22. Holgura de anestesiólogos por escenario. Fuente: Elaboración propia.....	45
Gráfica 23. Holgura de camas por escenario y tipo de cama. Fuente: Elaboración propia.....	46
Gráfica 24. Facturación por escenarios. Fuente: Elaboración propia.....	47

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Horas de disponibilidad de los cirujanos por especialidad. Fuente: Elaboración propia.	31
Tabla 2. Días cama disponible durante el horizonte de planeación. Fuente: Elaboración propia.	31
Tabla 3. Holgura de quirófanos en el bloque de la mañana. Fuente: Elaboración propia.	40
Tabla 4. Holgura de quirófanos en el bloque de la tarde. Fuente: Elaboración propia.	41

RESUMEN

En un sistema de hospitalario, la unidad de cirugía es una de las más importantes dentro de la entidad, ya que esta representa el mayor porcentaje de ingresos para el sistema. Es entonces de gran importancia que el área de programación de cirugías sea eficiente y eficaz de tal manera que se reduzcan las cancelaciones, retrasos y/o complicaciones de las cirugías. Este proyecto busca diseñar un modelo matemático para la planeación táctica del servicio de cirugía que permita mejorar la programación de cirugías y con esto identificar la mejor manera de aprovechar los recursos relacionados con dicho proceso.

INTRODUCCIÓN

El quirófano es una de las estructuras más complejas e importantes del sistema hospitalario, ya que aproximadamente el 60% de los pacientes a los que se le presta el servicio necesitan algún tipo de intervención quirúrgica (Costa Jr, 2017). Además, el servicio de cirugías representa más del 40% de costos y alrededor del 60% de los ingresos, siendo entonces el departamento más costoso dentro de las instituciones que prestan el servicio de salud (González-Neira EM et al., 2016; Rothstein & Raval, 2018). Esto implica que optimizar los recursos asociados con el servicio de cirugía sea esencial para la viabilidad económica de un hospital, en un entorno en el cual se ha visto la necesidad de reducción de costos con el fin de maximizar el margen de rentabilidad (González-Neira EM et al., 2016).

Las salas de cirugía generan costos altos debido principalmente, a problemas que se presentan en la planeación y programación de las operaciones, entre los que se incluye: sobrecostos del recurso humano, tardanza para el inicio de las operaciones, tasa alta de cancelaciones y demora en la admisión en la unidad de cuidado posterior a la recuperación de la anestesia (Gamboa & Rodriguez, 2017.). Así mismo, las cancelaciones de cirugía es un problema cotidiano que afecta la calidad de atención al no otorgarse este servicio con la oportunidad requerida. Este fenómeno, refleja en un incremento de los costos debido a mayor uso de laboratorio, rayos X, electrocardiogramas, cama del hospital y recursos humanos, lo que finalmente se refleja en una mala utilización del presupuesto (Montaño & Nava, 2006).

La cancelación de cirugías programadas es un problema importante que es necesario analizar y clasificar; asimismo se requiere establecer un instrumento de medición (indicador) que ayude a conocer la dimensión del problema y poder así establecer acciones de mejora que permitan disminuirlo o evitarlo (Montaño & Nava, 2006). En este contexto, es necesario tener en cuenta que la programación de los quirófanos es el factor de mayor incidencia en el desempeño de los servicios de cirugías (Samudra et al., 2016).

De igual manera para este problema diferentes autores han planteado el uso de simulación, programación matemática, modelos heurísticos y analíticos bajo restricciones de los elementos claves del servicio, gestión logística del proceso y de la cadena de suministro, entre otras (Velásquez-Restrepo, Rodríguez-Quintero, & Jaén-Posada, 2013). Sin embargo, es necesario reforzar cualquiera de las soluciones mencionadas anteriormente con un plan de monitoreo riguroso para garantizar el desempeño de los quirófanos y para mejorar la calidad del procedimiento de planificación y programación (Velásquez-Restrepo et al., 2013) (Mitello L, D'Alba F, 2017).

La IPS Universitaria, es una institución de salud de alta complejidad, la cual presta el servicio de cirugía en la ciudad de Medellín. Esta se enfoca en la promoción de la salud y la prevención de la enfermedad; además de fortalecer competencias en los estudiantes y promover la investigación y el conocimiento, ya que se perfila como hospital universitario.

El servicio de cirugía de la IPS Universitaria se subdivide en dos sedes las cuales son: sede Prado y sede Clínica León XIII. En la primera se llevan a cabo las cirugías ambulatorias. Mientras que la segunda ofrece un amplio portafolio de especialidades quirúrgicas: Cirugía general, Ortopedia, Odontología, Neurocirugía, Otorrinolaringología, Oftalmología, Maxilofacial, Tórax, Plástica,

Cabeza y cuello, Infantil, Ginecología, Gine-Oncología, Hepatobiliopancreática, Endovascular, Urología, Vascular, Cepres (Colangiopancreatografía Retrógrada Endoscópica), Neumología, Cardiovascular, Trasplantes, entre otras especialidades; donde la mayoría de estas especialidades quirúrgicas son hospitalarias, debido a que en la sede León XII también se prestan los servicios de urgencias e internación. Este trabajo, será enfocado solamente en el servicio de cirugía de la sede León XIII.

Por lo tanto, para este trabajo se diseñó un modelo matemático de programación entera que permita tomar decisiones a nivel táctico en el servicio de cirugía de la Clínica León XIII en el contexto del proceso actual de la IPS universitaria. Cuyo objetivo es maximizar la facturación y la eficiencia de este servicio; este modelo comprende la validación de la demanda de cirugía, la evaluación de la capacidad, el tipo de asignación de los quirófanos y el comportamiento estadístico de los tiempos del procedimiento. En este estudio no se incluye el manejo logístico intraoperatorio, ni los protocolos de los servicios asistenciales.

OBJETIVOS

Objetivo General: Proponer un modelo matemático para la planeación táctica del servicio de cirugía que permita evaluar y mejorar la programación de cirugías con el fin de aumentar el aprovechamiento de los recursos disponibles.

Objetivos específicos

- Identificar cada una de las actividades de los procesos internos del servicio de cirugía y su relación con los demás servicios de la clínica.
- Caracterizar el servicio de cirugía con el fin de identificar los elementos claves para la creación del modelo.
- Formular un modelo de programación entera que permita planear las operaciones del servicio según sus necesidades y recursos disponibles.
- Analizar distintos escenarios de planeación del servicio de cirugía a través del modelo de programación entera, determinado el consumo de recursos (quirófanos, hora especialista, y camas quirúrgicas, UCI (Unidad de Cuidados Intensivos), UCE (Unidad de Cuidados Especiales)) y otros indicadores relevantes para el servicio.

1. MARCO TEÓRICO

El problema de la planificación y programación quirúrgica se puede definir como la selección de los procedimientos a realizar, la distribución del tiempo de recursos a esos procedimientos, y la secuencia de los procedimientos dentro del tiempo asignado. El tiempo de recursos incluye el tiempo de los cirujanos, el cual comprende el tiempo de bloque, que es el intervalo de tiempo durante el cual un cirujano practica uno o varios procedimientos quirúrgicos, así como la programación del personal para el equipo de apoyo (como personal de anestesiología y personal de enfermería e instrumentación) (Jerrold, Spangler, Strum, & Vargas, 2011).

En este contexto, es importante tener en cuenta que planificación y programación no son lo mismo. La planificación se define como el proceso de conciliación de la oferta y la demanda, es decir, tratar con decisiones de capacidad. Mientras que la programación se describe como definir la secuencia y tiempo asignado a las actividades de una operación, siendo la construcción de un calendario detallado que muestra a qué hora o fecha se debe comenzar y cuándo deben terminar una cirugía (Cardoen, Demeulemeester, & Beliën, 2010).

La programación de los quirófanos puede ser jerarquizada, distinguiendo diferentes niveles de decisión. El nivel estratégico se encarga de definir la asignación de recursos, que consiste en determinar los bloques de tiempo destinados a cada especialidad quirúrgica. Por lo tanto, aquí se deben determinar el personal médico necesario y los costos relevantes. En el nivel táctico se pretende desarrollar un programa maestro de cirugías, en el que se define el horario de funcionamiento y se determinan los cirujanos o equipos quirúrgicos con prioridad en periodos de

tiempo en cada sala. Y en el nivel operacional se realiza la programación individual de las cirugías (Latorre, 2018; Saavedra Moreno, Castaño, 2018).

Dentro de la programación táctica existen tres formas diferentes para agendar las cirugías: la programación abierta, la programación por bloques y la programación por bloques modificada. La programación abierta permite asignar las cirugías de acuerdo con la conveniencia de los cirujanos; la programación por bloques consiste en asignar bloques de tiempo para cada especialidad quirúrgica y la programación por bloques modificada programa las cirugías por bloques considerando dejar algunos bloques libres para ser manejadas en forma abierta (Latorre, 2018).

Para la programación operativa es importante tener en cuenta que existen dos tipos de pacientes y tres tipos principales de cirugías asignados a estos. Los pacientes electivos que corresponde a las cirugías electivas y los pacientes no electivos que corresponde a las cirugías de urgencia y las cirugías de emergencia. Las cirugías electivas son aquellas que pueden ser programadas de antemano, asignadas a pacientes para quienes la cirugía se puede planear con anterioridad; dentro de esta clasificación hay dos tipos de pacientes electivos; denominado como ambulatorio aquel que no requiere hospitalización antes y después de realizar la cirugía y hospitalizado aquel que necesita estar en internación, es decir en piso, UCI (Unidad de Cuidados Intensivos) o UCE (Unidad de Cuidados Especiales) antes y/o después del procedimiento quirúrgico. Para estos dos tipos de pacientes, antes de ser programados deben cumplir con unos requisitos, entre los que están la autorización de la EPS, las ayudas diagnósticas y la autorización del anestesiólogo.

Por su parte, para los pacientes no electivos la cirugía es inesperada, para estos se asignan cirugías de urgencia que requieren una pronta atención, pero pueden esperar una cantidad prudente de horas

y las cirugías de emergencia que aparecen en cualquier instante del día y deben ser atendidas lo antes posible, por lo general dentro de la primera hora (Latorre, 2018; Velásquez-Restrepo et al., 2013).

Para la planeación táctica también es importante tener en cuenta los tipos de contratación de las EPS con al IPS Universitaria. La institución presta servicio a dos tipos de contratación; por evento, que es aquel mecanismo en el cual el pago se realiza por las actividades, procedimientos, intervenciones, insumos y medicamentos prestados o suministrados a un paciente durante un período determinado y ligado a un evento de atención en salud, con unas tarifas pactadas previamente. Y por último Presupuesto Global Prospectivo (PGP), consiste en una suma global que se establece por anticipado para cubrir el gasto corriente de una empresa aseguradora a una prestadora de salud durante un periodo determinado (generalmente un año) (Basto Núñez & López Camacho, 2019).

Otro factor clave que dificulta la programación de las salas de cirugía es la incertidumbre propia del problema. Esta incertidumbre es producida principalmente por la duración incierta de las cirugías y la llegada de las cirugías de emergencia. Un manejo inapropiado de la incertidumbre puede provocar una serie de efectos no deseados, impactando en la satisfacción del paciente y equipo quirúrgico, y además en los costos del hospital. Pero el efecto que todo hospital quisiera evitar principalmente es la cancelación de una cirugía electiva el mismo día de la operación (Latorre, 2018).

Teniendo en cuenta lo establecido en el marco teórico, el presente trabajo desarrolla un modelo matemático de programación entera con un enfoque hacia la planeación táctica de la programación de cirugías en bloques quirúrgicos para pacientes electivos y urgentes.

2. METODOLOGÍA

El presente estudio es lo que se conoce como una investigación e intervención, ya que mediante la realización de una revisión de literatura exploratoria sobre los temas de interés se puede tomar idea de cómo abordar el proyecto y de como otros autores en este caso han formulado los diferentes modelos matemáticos que ya han sido aplicados en ámbitos parecidos. Y cuenta con un componente de intervención ya que se quiere mejorar un proceso, en específico en la planeación de cirugía, por lo tanto, hay que intervenirlo mediante unas políticas de programación y esto se logra a través de lo que aquí se propone un modelo matemático.

Exploración:

En esta fase, se realizaron constantes visitas al área de cirugía y a las que interactúan con esta, para conocer de manera general el funcionamiento de cada una y la interacción entre estas. Mediante esta exploración se identificaron las diferentes entradas y salidas del servicio de cirugía. Esta fase aporta la información para iniciar la caracterización del proceso de cirugía y abre paso a la recolección de datos.

Recolección de datos e información:

Dado que la Clínica cuenta con un software de base de datos (GHIPS), se analizó la información con la que cuenta clínica con respecto al servicio de cirugía. Así mismo se analizaron bases de datos suministradas por esa área en la fase de exploración. La manipulación correcta de las bases de datos permitió obtener la siguiente información: número de pacientes al día, EPS por paciente, tipo de paciente (ambulatorio, hospitalizado y de urgencias), para cada especialidad y EPS, la estancia pre y postquirúrgica de igual manera el tiempo quirúrgico, entre otros. También se recolectó información mediante entrevistas en las diferentes áreas involucradas con el servicio de cirugía. Como complemento, también se recolectaron datos de hospitalización, urgencias y traslados de pacientes, ya que estas son áreas que interactúan con el servicio de cirugía.

En este caso se analizaron los procesos de la clínica que son necesarios para realizar el estudio de la planeación y programación de cirugías. Excluyendo de esta manera las posibles entrevistas con los pacientes, ya que no será necesario tener una interacción directa con ellos y la información que se requiere de ellos está en los registros del GHIP.

Análisis de datos:

Para el desarrollo de esta fase fue necesario tener en cuenta la fase de exploración, ya que con la revisión de la literatura se tiene una idea de cómo abordar los datos recolectados en la etapa anterior. Mediante este análisis se identificaron los elementos clave para el modelo matemático,

este análisis se realizó de datos históricos en el periodo de junio del 2018 y julio del 2019, en un software de visualización y análisis de datos llamado **Tableau Public**.

Propuesta y cálculo de indicadores:

Para apoyar el modelo matemático, y con el fin de aumentar la eficiencia del servicio de cirugía, mediante los hallazgos encontrados en la fase de análisis y en la exploración, se propusieron unos indicadores que sean relevantes para el proceso de seguimiento y control del servicio

Modelo matemático:

Finalmente, se propuso un modelo matemático que teniendo en cuenta la fase de análisis de datos establece una función objetivo, parámetros y restricciones. Dicho modelo permite asignar bloques quirúrgicos a las distintas especialidades, considerando los recursos disponibles para la atención de los pacientes quirúrgicos, en búsqueda de maximizar la facturación del servicio.

Validación del modelo:

En esta fase se analizan los resultados del modelo y se comparan con los resultados obtenidos actualmente en el servicio de cirugía, para comprobar si el modelo replica adecuadamente el comportamiento del servicio.

Análisis de escenarios:

Ya validado el modelo se crearon distintos escenarios, los cuales consiste en hacer cambios en restricciones y parámetros para analizar su impacto en la función objetivo y otros indicadores del servicio. Así mismo, se compararon los diferentes escenarios propuestos para determinar aquellos que son más atractivos para la IPS. Donde el criterio de evaluación de estos escenarios, serán aquellos donde la función objetivo y los indicadores son más favorables.

Propuestas de mejoras según los resultados obtenidos:

Mediante los resultados de los escenarios del modelo matemático y los indicadores, se sugieren algunas recomendaciones o planes de mejora para la eficiencia y el mejoramiento del servicio de cirugía de la IPS Universitaria de la Clínica León XIII.

La secuencia lógica de los pasos de la metodología empleada se resume en la Figura 1. Allí puede observarse que a partir del análisis de datos se desprende la creación del modelo matemático y en paralelo la generación de indicadores que permita monitorear el buen funcionamiento del servicio de cirugía.

Lo anterior está representado en la siguiente figura:

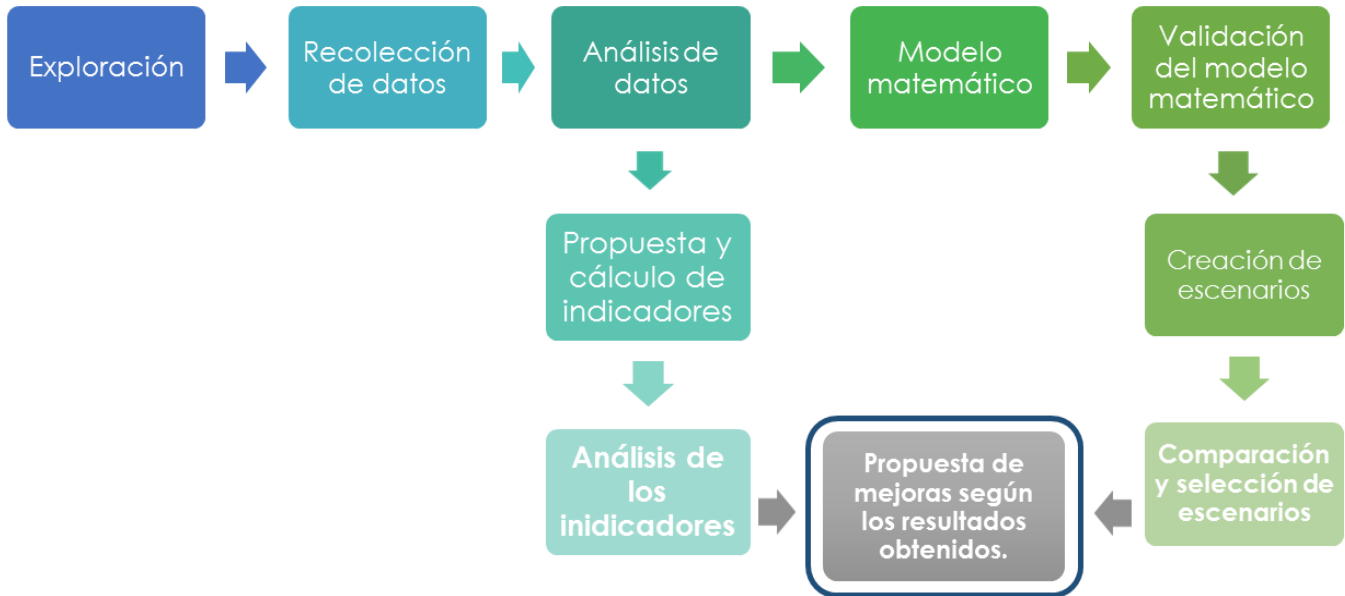


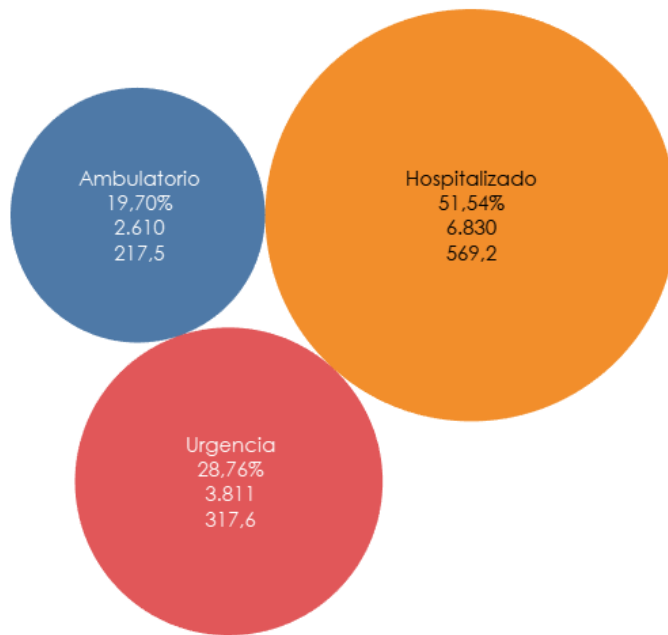
Figura 1. Metodología. Fuente: Elaboración propia.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La IPS Universitaria, es una institución de salud de alta complejidad, la cual presta el servicio de cirugía en la ciudad de Medellín. La cual cuenta con dos sedes; la sede ambulatoria, llamada sede Prado, donde se presta todo el servicio ambulatorio incluyendo servicio de cirugía. Y la sede León XIII, donde se suministra la atención de urgencia, internación, cirugía. En este trabajo, será enfocado solamente en el servicio de cirugía de la sede León XIII.

El acceso a un procedimiento quirúrgico es a través de una consulta externa con un especialista, interconsulta o en muchos casos por urgencia, donde se determina si hay necesidad de realizar una cirugía. De este modelo se tienen tres clases de pacientes; ambulatorio, hospitalario y urgente.

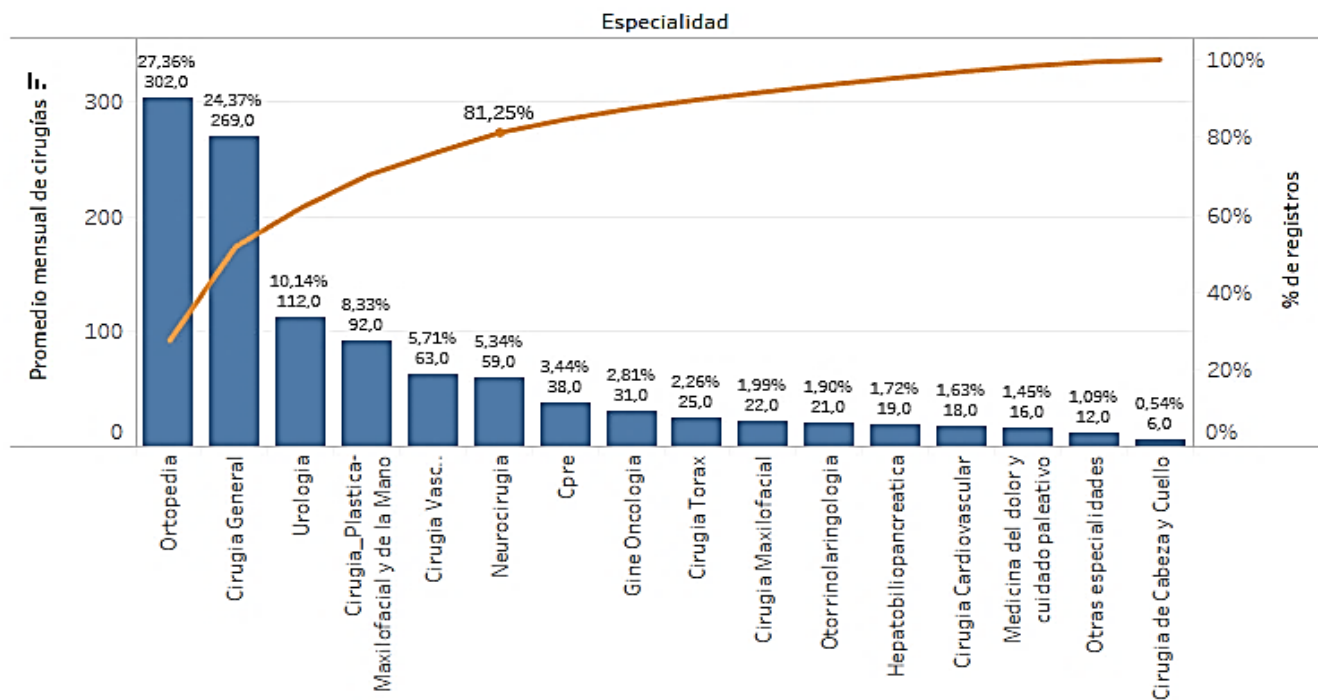
Al finalizar la cirugía, sin importar el tipo de paciente, de acuerdo con el estado de salud de este, se le da de alta o se remite a uno de los servicios de internación de la IPS Universitaria. De acuerdo con la Gráfica 1; más del 50% son pacientes hospitalarios, los urgentes representan el 28,76% y los ambulatorios que representan el menor porcentaje de demanda de pacientes con tan sólo el 19%.



Gráfica 1. Tipo de procedencia del paciente (julio2018-junio2019). Fuente: Elaboración propia.

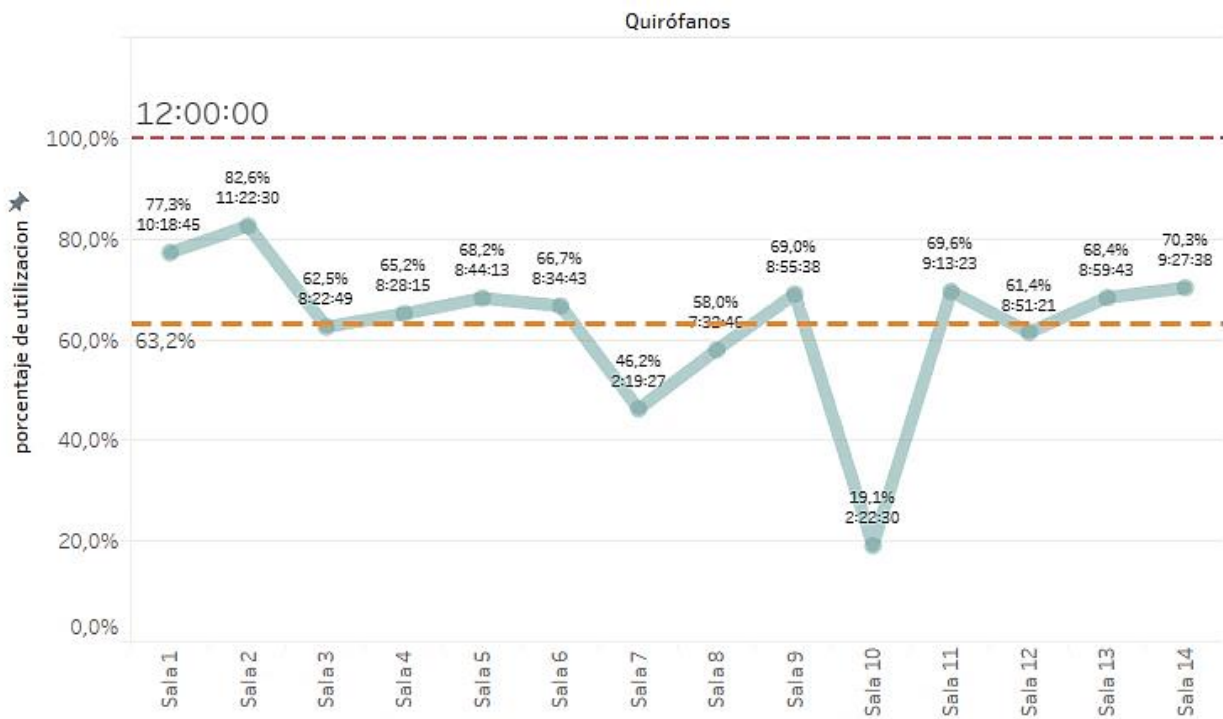
La IPS Universitaria para prestar el servicio de cirugía dispone en la sede León XIII de catorce quirófanos. De los cuales dos de ellos se asignan a las cirugías urgentes, las veinticuatro horas del día. Mientras que en los doce restantes, con excepción de los domingos y sábados en la tarde, se realizan intervenciones quirúrgicas en dos bloques; cada uno está conformado por seis horas, entre las 7:00 am y las 7:00 pm, clasificándolos en el bloque de la mañana y el bloque de la tarde. Los pacientes provienen en su mayoría de las áreas de urgencias y hospitalización.

En dichos quirófanos se realizan intervenciones clasificadas en quince especialidades quirúrgicas, siendo las más frecuentes Ortopedia, General, Urología, Plástica, maxilofacial y de la mano, Vascular y Neurocirugía. Y como se observa en la Gráfica 2. Pareto de la demanda de especialidades (julio2018-junio2019). Fuente: Elaboración propia, el 80% de las cirugías realizadas se deben a estas cuatro especialidades: Ortopedia (27,36%), Cirugía General (24,37%), Urología (10,14%) y Plástica, maxilofacial y de la mano (8,33%). El listado completo de especialidades es el siguiente: Ortopedia, General, Urología, Cirugía Plástica, maxilofacial y de la mano, Vascular (5,71%), Neurocirugía (5,34%), CPRE (Colangiopancreatografía Retrógrada Endoscópica) (3,44%), Gineoncología, (2,81%), Tórax (2,26%), Maxilofacial (1,99%), Otorrinolaringología (1,90), Hepatobiliopancreática (1,72%), Cirugía Cardiovascular (1,63%), Medicina del dolor (bloqueos de dolor) (1,48%), Neumología (otras) (1,09%) y Cabeza y cuello (0,54%). También se contempla Transplantes sin embargo esta especialidad está dentro del grupo quirúrgico de la especialidad Hepatobiliopancreática.



Gráfica 2. Pareto de la demanda de especialidades (julio2018-junio2019). Fuente: Elaboración propia

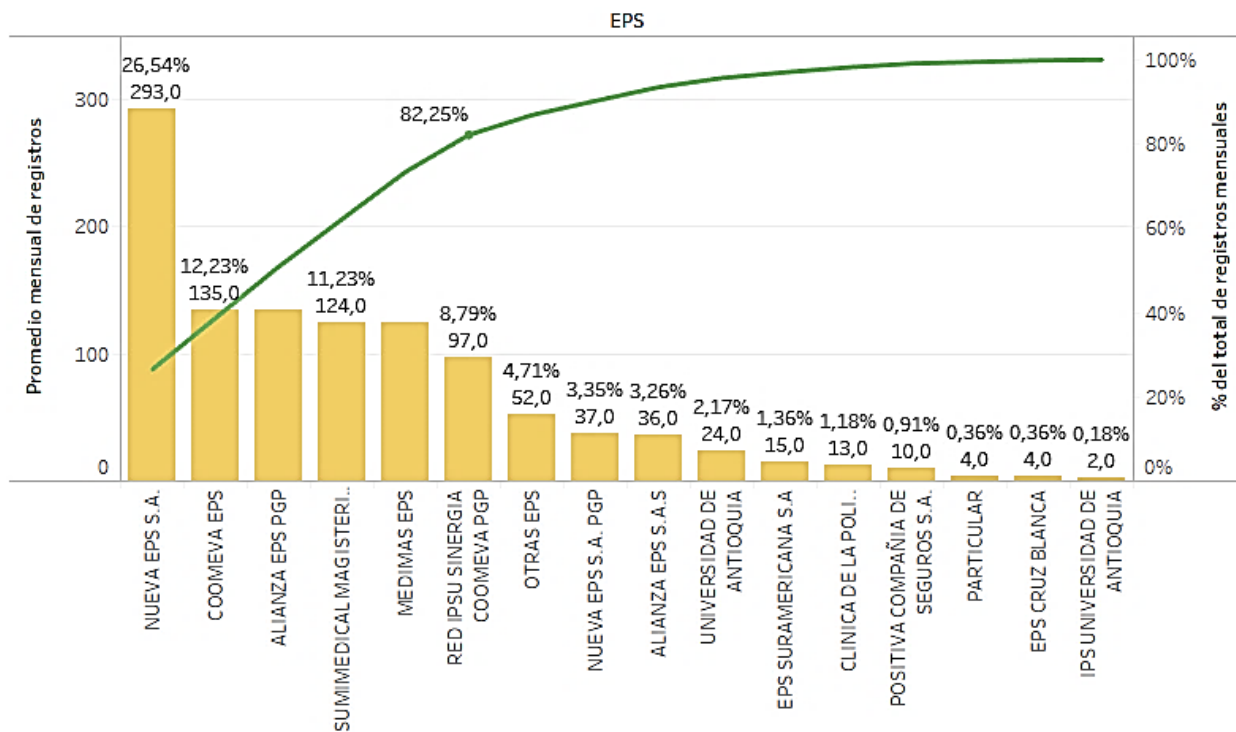
En pro de aumentar la eficiencia de los quirófanos, no solo se analizó la demanda de especialidades si no una manera alternativa de medir que tanto uso se hace de los quirófanos; por lo que se propuso un indicador de ocupación de quirófano, a partir de la relación: Horas quirófano empleadas / Horas quirófano disponibles. Se calculó el indicador, contemplando los tiempos entre el fin de una cirugía y el inicio de la otra, a lo que se puede atribuir el tiempo de aseo del quirófano. En la Gráfica 3, podemos observar los porcentajes de ocupación de los quirófanos.



Gráfica 3. Porcentajes de ocupación de quirófanos (julio 2018-junio 2019). Fuente: Elaboración propia.

En esta gráfica vemos reflejado cada uno de los indicadores de ocupación para cada quirófano y el porcentaje de ocupación promedio de los quirófanos (línea naranja), el cual fue del 63,2%, siendo los dos de urgencias (quirófanos 2 y 11), los más altos con 82,6% y 69,6% respectivamente, y de los doce restantes, seis (quirófanos 1,4,5,6, 9, 13 y 14) superaron la ocupación promedio. El quirófano 10 fue el de menor porcentaje con un 19,1% debido a que a principios del año 2019 se inhabilitó.

También es importante resaltar cuales son las EPS (Entidad Prestadora de Salud), a las cuales la IPS Universitaria presta el servicio de cirugía. Entre las cuatro que más generan demanda están Nueva EPS, Alianza PGP (Savia Salud PGP), Coomeva y Sumimedical. De acuerdo con la Gráfica 4, la cual representa el Pareto de las EPS atendidas por la institución se puede observar que el 80% de la demanda atendida se distribuye en las EPS : Nueva EPS (26,54%), Coomeva EPS (12,23%), Alianza EPS PGP (Savia Salud PGP) (12,23%), Sumimedical (11,23%), Medimas (11,23%) y Coomeva PGP (8,79%).



Gráfica 4. Pareto de las EPS atendidas en la IPS Universitaria (junio2018-julio2019). Fuente: Elaboración propia

Partiendo de las anteriores definiciones, hallazgos y datos; se plantea un modelo matemático para la planeación táctica del servicio de cirugía que permita evaluar y mejorar la programación de

cirugías con el fin de aumentar el aprovechamiento de los recursos disponibles, en este caso aumentar la facturación.

Modelo de optimización

En respuesta a la situación identificada se propone un modelo de optimización, basado en programación entera. Con la finalidad de identificar opciones de asignación de los recursos del servicio quirúrgico a un nivel de planeación táctica, que aumente la facturación del servicio. De igual manera se espera, a partir de éste, sugerir lineamientos que sean atractivos a la IPS, desde el punto de vista económico y social.

Se identificaron los elementos necesarios del modelo, definidos como: **función objetivo**, medida cuantitativa del funcionamiento de un sistema que se desea maximizar o minimizar; **variables**, decisiones que afectan la función objetivo; y **restricciones**, que son el conjunto de relaciones que las variables están obligadas a satisfacer (Ramos, 2013.) De igual forma se tiene el supuesto de disponibilidad de insumos, medicamentos o materiales. Como también que las urgencias quirúrgicas se consideran una especialidad más con un tiempo fijo reservado. La notación necesaria para construir el modelo se describe a continuación.

Conjuntos

- Q : Conjunto de quirófanos del servicio de cirugía.
- E : Conjunto de las especialidades quirúrgicas que atiende la IPS Universitaria
- H : Conjunto de los días que componen el horizonte de planeación del servicio.

- C : Conjunto de los tipos de camas hospitalarias requeridos por los pacientes intervenidos quirúrgicamente.
- B : Conjunto de los bloques quirúrgicos programados diariamente por quirófano.
- A : Conjunto de aseguradoras a las cuales la IPS Universitaria, presta el servicio de cirugía.
- O : Conjunto de cirujanos necesarios para realizar la intervención

Parámetros

- d_{ea} : Demanda esperada, en número de cirugías, de la especialidad $e \in E$ por aseguradora $a \in A$ durante el horizonte de planeación.
- v : Duración en horas de bloque quirúrgico.
- f_{ea} : Valor facturado de la especialidad $e \in E$ según la aseguradora $a \in A$.
- n_{eq} : Habilitación de la especialidad $e \in E$ para realizar intervenciones en el quirófano $q \in Q$.
(El parámetro binario n_{eq} toma el valor 1 si el quirófano $q \in Q$ está habilitado para la especialidad $e \in E$, en caso contrario es 0)
- t_e : Tiempo de duración en horas, de la cirugía por tipo de especialidad $e \in E$ (se toma el cuartil superior)
- s_e : Cantidad de horas disponibles de cirujano por especialidad $e \in E$

- i : Número de horas disponibles de anestesiólogo general (no requieren entrenamiento específico)
- m_{ec} : Porcentaje de paciente pre quirúrgicos de la especialidad $e \in E$ que requieren el tipo de cama $c \in C$
- l_{ec} : Porcentaje de paciente post quirúrgicos de la especialidad $e \in E$ que requieren el tipo de cama $c \in C$
- j_{eac} : Estancia pre quirúrgica promedio, en días, para la aseguradora $a \in A$ por especialidad $e \in E$, según el tipo de cama $c \in C$.
- g_{eac} : Estancia post quirúrgica promedio, en días, para la aseguradora $a \in A$ por especialidad $e \in E$, según el tipo de cama $c \in C$.
- k_c : Número de días camas disponibles por tipo de cama $c \in C$.
- u_h : Número mínimo de quirófanos asignados al servicio de urgencias por día $h \in H$ del horizonte de planeación.
- r_{oe} : Parámetro binario, toma el valor de 1 si el cirujano $o \in O$ atiende la especialidad $e \in E$ o de lo contrario 0.
- w_a : Plazo de facturación de la aseguradora $a \in A$.

Variable de decisión

El modelo definirá, para el horizonte de planeación, las especialidades que se asignarán a cada quirófano, para cada bloque en los días del horizonte de planeación y que demanda se tomara de una especialidad para cada EPS. Con este fin se utilizan las siguientes variables de decisión:

x_{qebh} : Variable binaria que indica si quirófano $q \in Q$ es asignado a la especialidad $e \in E$ en el bloque $b \in B$ del día $h \in H$.

$$x_{qebh} = \begin{cases} 1: & \text{Si el quirófano } \mathbf{q} \text{ es asignado a la especialidad } \mathbf{e} \text{ el día } \mathbf{h} \text{ en el bloque } \mathbf{b}. \\ 0: & \text{Si no se asigna el quirófano } \mathbf{q} \text{ a la especialidad } \mathbf{e} \text{ el día } \mathbf{h} \text{ en el bloque } \mathbf{b}. \end{cases}$$

y_{ea} : Variable binaria que indica si se toma la demanda de la especialidad $e \in E$ de la aseguradora $a \in A$.

$$y_{ea} = \begin{cases} 1: & \text{Si tomo la demanda } \mathbf{d}_{ea}. \\ 0: & \text{Si no tomo la demanda } \mathbf{d}_{ea}. \end{cases}$$

Función objetivo

La solución del modelo tendrá que maximizar la facturación de las cirugías con los recursos disponibles.

$$Max Z = \sum_{e \in E} \sum_{a \in A} f_{ea} * d_{ea} * y_{ea} - \varepsilon * \sum_{q \in Q} \sum_{e \in E} \sum_{h \in H} \sum_{b \in B} x_{qebh} \quad (1)$$

Restricciones

Esta función objetivo está sujeta a las siguientes restricciones:

$$\sum_{e \in E} x_{qebh} \leq 1 \quad \forall q \in Q \quad \forall b \in B \quad \forall h \in H \quad (2)$$

$$\sum_{q \in Q} \sum_{h \in H} \sum_{b \in B} x_{qebh} * v \geq \sum_{a \in A} y_{ea} * d_{ea} * t_e \quad \forall e \in E \quad (3)$$

$$x_{2,Urgencias_General,b,h} = 1 \quad \forall h \in H, \quad \forall b \in B : b = \text{"Mañana"}$$

$$x_{11,Urgencias_Ortopedia,b,h} = 1 \quad \forall h \in H, \quad \forall b \in B : b = \text{"Mañana"} \quad (4)$$

$$x_{2,Urgencias_General,b,h} = 1 \quad \forall h \in H, \quad \forall b \in B : h \text{ no es múltiplo de 6 y } b = \text{"Tarde"}$$

$$x_{11,Urgencias_Ortopedia,b,h} = 1 \quad \forall h \in H, \quad \forall b \in B : h \text{ no es múltiplo de 6 y } b = \text{"Tarde"}$$

$$x_{qebh} \leq n_{eq} \quad \forall q \in Q, \quad \forall e \in E, \quad \forall b \in B, \quad \forall h \in H \quad (5)$$

$$\sum_{e \in E} \sum_{a \in A} ((m_{ec} * j_{eac}) + (l_{ec} * g_{eac})) * d_{ea} * y_{ea} \leq k_c \quad \forall c \in C \quad (6)$$

$$\sum_{e \in E} \sum_{q \in Q} \sum_{h \in H} \sum_{b \in B} x_{qebh} * v * r_{oe} \leq S_o \quad \forall o \in O \quad (7)$$

$$\sum_{q \in Q} \sum_{e \in E} \sum_{h \in H} \sum_{b \in B} x_{qebh} * v \leq i \quad (8)$$

$$\sum_{q \in Q} \sum_{e \in E} \sum_{b \in B} x_{qe,tarde,h} = 0 \quad \forall h \in H: h \text{ es múltiplo de } 6 \quad (9)$$

$$\sum_{e \in E} \sum_{h \in H} \sum_{b \in B} x_{qebh} \leq 38 \quad \forall q \in Q: q \neq 2 \text{ y } q \neq 11 \quad (10)$$

$$\sum_{e \in E} \sum_{q \in Q} x_{qehb} \geq 4 \quad \forall h \in H, b \in B: h \text{ no es múltiplo de } 6 \text{ y } b = \text{Tarde} \quad (11)$$

$$\sum_{e \in E} \sum_{q \in Q} x_{qehb} \geq 4 \quad \forall h \in H, b \in B: b = \text{Mañana} \quad (12)$$

$$x_{qehb} \in \{0,1\} \quad \forall b \in B, \forall h \in H, \forall q, \forall e \in E \quad (13)$$

$$y_{ea} \in \{0,1\} \quad \forall e \in E \quad \forall a \in A \quad (14)$$

El modelo fue desarrollado en el software de optimización Xpress MP (Software FICO). La función objetivo Z, calculada en la ecuación (1), representa la facturación esperada del servicio, durante el horizonte de planeación. La restricción (2) garantiza que sólo una especialidad será asignada a un quirófano, bloque y día determinado. La restricción (3), asegura que el tiempo asignado a cada especialidad sea igual o superior al demandado. En el caso de las urgencias de ortopedia y cirugía general, se asignan de forma permanente a dos quirófanos, (2) y (11) respectivamente, debido a esto, la restricción (4), se encarga de asignar los quirófanos (2) y (11) a estas especialidades discriminadas como urgentes diariamente los dos bloques, con excepción de los sábados donde sólo se programa el bloque de la mañana.

Las restricciones (5-8) de acuerdo con la disponibilidad de recursos, controlan la asignación de quirófanos, camas, cirujanos y anestesiólogos. Mientras que la restricción (9) no permite asignar especialidades en el bloque de la tarde y la restricción (10) impide programar al tope los quirófanos, exceptuando los quirófanos (2) y (11) por ser los asignados a urgencia, dejando un 15% de holgura. Esta ocupación se apoya en la literatura dice que el porcentaje de utilización de los quirófanos no debe exceder por máximo el 85% de ocupación (Requesens Berrueta, Vega Malagón, Montes Alvarado, Aburto Fernández, & Cedillo Sosa, 2008). Las restricciones (11) y (12) garantizan un mínimo de programación diaria de especialidades por quirófano. Y finalmente, las restricciones 13 y 14 definen el dominio de la variable de decisión.

Análisis del modelo y escenarios

Posterior al diseño, se procede a alimentar el modelo con los datos obtenidos durante el análisis estadístico (realizado entre julio de 2018 y julio del 2019) y que corresponden a cada uno de los parámetros del modelo. Se experimentan y modelan escenarios con el fin de evaluar alternativas permitan crear estrategias y políticas para la planeación táctica de la programación de cirugía de la IPS Universitaria León XIII, dependiente de la función objetivo.

Se indicó un horizonte de planeación, de veinticuatro días teniendo en cuenta que son cuatro semanas continuas sin contar los domingos. El servicio en promedio dispone de; catorce quirófanos; 2.841 horas de cirujanos, distribuidas en diferentes especialidades como se observa en la Tabla 1; 3504 horas de anestesiólogo. En la Tabla 2 se encuentra la disponibilidad de días cama durante todo el horizonte de planeación, que se calculó para el modelo.

Tabla 1. Horas de disponibilidad mensual de los cirujanos por especialidad. Fuente: Elaboración propia.

Especialidades (grupo de cirujanos)	Horas
Cirugía Plástica, maxilofacial y de la mano	294
Cirugía Cardiovascular	72
Cirugía de Cabeza y cuello	48
Cirugía General	414
Cirugía Maxilofacial	96
Cirugía Tórax	120
Cirugía Vasculat	240
Cpre	72
Gineoncología	180
Hepatobiliopancreatica	144
Neumología	48
Neurocirugía	120
Ortopedia	654
Otorrinolaringología	72
Urología	267

Tabla 2. Días cama disponible durante el horizonte de planeación. Fuente: Elaboración propia.

Tipo de cama	Piso	UCE	UCI
Número de camas disponible día	6552	984	816

En esta sección se compararán los resultados de los siguientes escenarios:

Escenario base: En este escenario los datos que alimentan al modelo son los históricos, sin modificar ningún parámetro o restricción.

Escenario 1: Para este escenario se agregaron las siguientes restricciones:

$$y_{ea} = 1 \forall e \in E, \forall a \in A : e = \text{"Ortopedia_Urgencia"}$$

$$y_{ea} = 1 \forall e \in E, \forall a \in A : e = \text{"Cirugia_General_Urgencia"}$$

Estas restricciones aseguran que se tome toda la demanda de las especialidades de urgencia, es decir sin importar la EPS se tomara la demanda.

Escenario 2: En este escenario se plantea la reducción de las estancias pre y post quirúrgicas un 30%, ya que estos también hacen parte del servicio de cirugía y también genera costos, agregando que esto permite tener en cuenta la restricción de camas, que tal como lo menciona un estudio previo es un factor determinante para aumentar la oferta de especialidades quirúrgicas hospitalarias sin necesidad de aumentar horas de especialista(Alonso, Tobón, Andrea, Restrepo, & Villegas, 2015).

Escenario 3: Para este escenario se aumenta al menos un 15% la oferta de especialidades en horas quirúrgicas. Sin modificar algún otro parámetro.

Escenario 4: En este escenario se experimentó una mezcla entre el escenario 2 y 3, es decir se redujo un 30% las estancias quirúrgicas y se aumentó el 15% la oferta de horas quirúrgicas. De esta manera no solo se impacta de manera favorable las especialidades quirúrgicas ambulatorias si no también un complemento a las hospitalarias.

Con los cinco escenarios mencionados, se hicieron una serie de comparaciones con los resultados de las salidas del modelo, para determinar que modelo obtiene el mayor valor facturado y a partir de esto realizar propuestas de mejora. La primera comparación será la **asignación de la demanda**, es decir la respuesta de la variable y_{ea} . Las gráficas 5-10 muestran la asignación de la demanda en cada escenario.

Histórico

Especialidad Modelo	Eps Modelo												
	COOMEVA_EPS	COOMEVA_PGP	MEDIMAS_EPS	NUEVA_EPS_PGP	NUEVA_EPS_S.A.	PARTICULAR	POLICIA	POSITIVA	PROGRAMA_DE_SALUD_..	SAVIA_SALUD_EPS	SAVIA_SALUD_PGP	SUMIMEDICA_L_MAGISTE..	SURA
Cirugia_Cardiovascular_Hospita..	■	■	■	■	■		■			■	■	■	■
Cirugia_de_Cabeza_y_Cuello_H..	■		■	■	■		■			■	■	■	■
Cirugia_General_Ambulatorio		■	■	■	■	■	■		■	■	■	■	■
Cirugia_General_Hospitalaria	■	■	■	■	■	■	■		■	■	■	■	■
Cirugia_General_Urgencia	■	■	■	■	■	■	■		■	■	■	■	■
Cirugia_Maxilofacial_Ambulator..	■	■	■	■	■		■	■		■	■	■	■
Cirugia_Maxilofacial_Hospitalar..	■	■	■	■	■		■		■	■	■	■	■
Cirugia_Plastica_Maxilofacial_y..	■	■	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■
Cirugia_Plastica_Maxilofacial_y..	■	■	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■
Cirugia_Torax_Hospitalario	■	■	■	■	■		■		■	■	■	■	■
Cirugia_Vascular_Hospitalario	■	■	■	■	■	■	■		■	■	■	■	■
Cpre_Hospitalario	■	■	■	■	■	■	■		■	■	■	■	■
GineOncologia_Hospitalaria	■	■	■	■	■	■			■	■	■	■	
Hepatobiliopancreatica_Hospita..	■	■	■	■	■		■		■	■	■	■	■
Neumologia_Hospitalario	■	■	■	■	■		■			■	■	■	■
Neurocirugia_Hospitalario	■	■	■	■	■	■	■		■	■	■	■	■
Ortopedia_Ambulatorio	■	■	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■
Ortopedia_Hospitalario	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Ortopedia_Urgencia	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Otorrinolaringologia_Hospitalar..	■	■	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■
Urologia_Ambulatorio	■	■	■	■	■		■		■	■	■	■	■
Urologia_Hospitalario	■	■	■	■	■	■	■		■	■	■	■	■

Gráfica 5. Histórico de la demanda atendida por EPS, en la IPS Universitaria (julio2018-junio2019). Fuente: Elaboración propia.

Escenario base

Especialidad	Eps												
	COOMEVA_EPS	COOMEVA_PGP	MEDIMAS_EPS	NUEVA_EPS_PGP	NUEVA_EPS_S.A.	PARTICULAR	POLICIA	POSITIVA	PROGRAMA_DE_SALU..	SAVIA_SALUD_EPS	SAVIA_SALUD_PGP	SUMIMEDIC_AL_MAGIS..	SURA
Cirugia_Cardiovascular_Hospitalario		■					■			■	■		
Cirugia_de_Cabeza_y_Cuello_Hospita..	■	■	■	■	■					■	■	■	■
Cirugia_General_Ambulatorio	■	■	■	■	■	■	■		■	■	■	■	■
Cirugia_General_Hospitalaria	■						■	■				■	■
Cirugia_General_Urgencia	■		■		■	■					■	■	■
Cirugia_Maxilofacial_Ambulatorio	■	■	■		■				■	■		■	■
Cirugia_Maxilofacial_Hospitalario	■		■		■		■		■	■		■	■
Cirugia_Plastica_Maxilofacial_y_de_l..	■	■	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■
Cirugia_Plastica_Maxilofacial_y_de_l..	■	■	■	■	■	■	■		■	■	■	■	■
Cirugia_Torax_Hospitalario	■	■	■	■	■		■		■	■	■	■	■
Cirugia_Vascular_Hospitalario	■								■	■			
Cpre_Hospitalario	■		■		■		■		■	■		■	■
GineOncologia_Hospitalaria	■	■	■	■	■				■		■	■	
Hepatobiliopancreatica_Hospitalario	■		■	■	■		■					■	■
Neumologia_Hospitalario		■											
Neurocirugia_Hospitalario	■			■	■	■	■			■		■	■
Ortopedia_Ambulatorio	■	■	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■
Ortopedia_Hospitalario	■					■		■	■	■	■	■	■
Ortopedia_Urgencia	■		■			■	■	■	■	■	■	■	■
Otorrinolaringologia_Hospitalaria	■	■	■	■	■		■		■		■	■	■
Urologia_Ambulatorio	■	■	■	■	■		■		■	■	■	■	■
Urologia_Hospitalario	■	■	■	■	■	■	■		■	■	■	■	■

Gráfica 6. Asignación de demanda por EPS del escenario base(julio2018-junio2019). Fuente: Elaboración propia.

Escenario 1

Especialidad1	Eps1												
	COOMEVA_EPS	COOMEVA_PGP	MEDIMAS_EPS	NUEVA_EPS_PGP	NUEVA_EPS_S.A.	PARTICULAR	POLICIA	POSITIVA	PROGRAMA_DE_SALU..	SAVIA_SALUD_EPS	SAVIA_SALUD_PGP	SUMIMEDIC_AL_MAGIS..	SURA
Cirugia_Cardiovascular_Hospitalario													
Cirugia_de_Cabeza_y_Cuello_Hospit..													
Cirugia_General_Ambulatorio													
Cirugia_General_Urgencia													
Cirugia_Maxilofacial_Ambulatorio													
Cirugia_Maxilofacial_Hospitalario													
Cirugia_Plastica_Maxilofacial_y_de..													
Cirugia_Plastica_Maxilofacial_y_de..													
Cirugia_Torax_Hospitalario													
Cirugia_Vascular_Hospitalario													
Cpre_Hospitalario													
GineOncologia_Hospitalaria													
Hepatobiliopancreatica_Hospitalario													
Neurocirugia_Hospitalario													
Ortopedia_Ambulatorio													
Ortopedia_Hospitalario													
Ortopedia_Urgencia													
Otorrinolaringologia_Hospitalaria													
Urologia_Ambulatorio													
Urologia_Hospitalario													

Gráfica 7. Asignación de demanda por EPS del escenario 1(julio2018-junio2019).. Fuente: Elaboración propia.

Escenario 2

Especialidad1	Eps1												
	COOMEVA_EPS	COOMEVA_PGP	MEDIMAS_EPS	NUEVA_EPS_PGP	NUEVA_EPS_S.A.	PARTICULAR	POLICIA	POSITIVA	PROGRAMA_DE_SALU..	SAVIA_SALUD_EPS	SAVIA_SALUD_PGP	SUMIMEDIC_AL_MAGIS..	SURA
Cirugia_Cardiovascular_Hospitalario													
Cirugia_de_Cabeza_y_Cuello_Hospit..													
Cirugia_General_Ambulatorio													
Cirugia_General_Hospitalaria													
Cirugia_General_Urgencia													
Cirugia_Maxilofacial_Ambulatorio													
Cirugia_Maxilofacial_Hospitalario													
Cirugia_Plastica_Maxilofacial_y_de..													
Cirugia_Plastica_Maxilofacial_y_de..													
Cirugia_Torax_Hospitalario													
Cirugia_Vascular_Hospitalario													
Cpre_Hospitalario													
GineOncologia_Hospitalaria													
Hepatobiliopancreatica_Hospitalario													
Neumologia_Hospitalario													
Neurocirugia_Hospitalario													
Ortopedia_Ambulatorio													
Ortopedia_Hospitalario													
Ortopedia_Urgencia													
Otorrinolaringologia_Hospitalaria													
Urologia_Ambulatorio													
Urologia_Hospitalario													

Gráfica 8. Asignación de demanda por EPS del escenario 2(julio2018-junio2019). Fuente: Elaboración propia.

Escenario 3

Especialidad1	Eps1												
	COOMEVA_EPS	COOMEVA_PGP	MEDIMAS_EPS	NUEVA_EPS_PGP	NUEVA_EPS_S.A.	PARTICULAR	POLICIA	POSITIVA	PROGRAMA_DE_SALU..	SAVIA_SALUD_EPS	SAVIA_SALUD_PGP	SUMIMEDIC_AL_MAGIS..	SURA
Cirugia_Cardiovascular_Hospitalario	■						■			■	■		■
Cirugia_de_Cabeza_y_Cuello_Hospit..	■	■	■	■	■				■			■	■
Cirugia_General_Ambulatorio	■	■	■	■	■	■	■		■	■	■	■	■
Cirugia_General_Hospitalaria	■					■	■	■	■		■	■	■
Cirugia_General_Urgencia	■		■		■	■			■		■	■	■
Cirugia_Maxilofacial_Ambulatorio	■	■	■		■				■	■		■	■
Cirugia_Maxilofacial_Hospitalario	■	■	■		■		■		■	■		■	■
Cirugia_Plastica_Maxilofacial_y_de..	■	■	■	■	■		■	■	■	■		■	■
Cirugia_Plastica_Maxilofacial_y_de..	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Cirugia_Torax_Hopitalario	■	■	■	■	■		■		■	■	■	■	■
Cirugia_Vascular_Hospitalario	■								■	■			
Cpre_Hospitalario	■	■	■		■		■		■	■			
GineOncologia_Hospitalaria	■	■	■	■	■				■		■	■	
Hepatobiliopancreatica_Hospitalario			■	■	■		■					■	
Neurocirugia_Hospitalario	■				■	■	■			■			
Ortopedia_Ambulatorio	■	■	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■
Ortopedia_Hospitalario	■						■	■	■	■	■	■	
Ortopedia_Urgencia	■		■			■	■	■	■	■	■	■	
Otorrinolaringologia_Hospitalaria	■	■	■		■		■		■		■	■	■
Urologia_Ambulatorio	■	■	■	■	■		■		■	■	■	■	
Urologia_Hospitalario	■	■	■	■	■	■	■		■	■	■	■	

Gráfica 9. Asignación de demanda por EPS del escenario 3 (julio2018-junio2019). Fuente: Elaboración propia.

Escenario 4

Especialidad1	Eps1												
	COOMEVA_EPS	COOMEVA_PGP	MEDIMAS_EPS	NUEVA_EPS_PGP	NUEVA_EPS_S.A.	PARTICULAR	POLICIA	POSITIVA	PROGRAMA_DE_SALU..	SAVIA_SALUD_EPS	SAVIA_SALUD_PGP	SUMIMEDIC_AL_MAGIS..	SURA
Cirugia_Cardiovascular_Hospitalar..	■	■	■				■			■			
Cirugia_de_Cabeza_y_Cuello_Hospit..	■	■	■	■	■				■			■	■
Cirugia_General_Ambulatorio	■	■	■	■	■	■	■		■	■	■	■	■
Cirugia_General_Hospitalaria	■						■	■	■		■	■	■
Cirugia_General_Urgencia	■	■	■		■						■	■	
Cirugia_Maxilofacial_Ambulatorio	■	■	■		■				■	■		■	■
Cirugia_Maxilofacial_Hospitalario	■	■	■		■		■		■	■		■	■
Cirugia_Plastica_Maxilofacial_y_d..	■	■	■	■	■		■	■	■	■		■	■
Cirugia_Plastica_Maxilofacial_y_d..	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Cirugia_Torax_Hopitalario	■	■	■	■	■		■		■	■	■	■	■
Cirugia_Vascular_Hospitalario	■				■				■	■	■		
Cpre_Hospitalario	■	■	■	■	■		■		■	■			
GineOncologia_Hospitalaria	■	■	■	■	■				■		■	■	
Hepatobiliopancreatica_Hospitalar..	■	■	■	■	■		■		■			■	
Neumologia_Hospitalario		■											
Neurocirugia_Hospitalario	■				■	■	■			■			
Ortopedia_Ambulatorio	■	■	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■
Ortopedia_Hospitalario	■	■	■			■	■	■	■	■	■	■	
Ortopedia_Urgencia	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■	■	
Otorrinolaringologia_Hospitalaria	■	■	■	■	■		■		■	■	■	■	■
Urologia_Ambulatorio	■	■	■	■	■		■		■	■	■	■	
Urologia_Hospitalario	■	■	■	■	■	■	■		■	■	■	■	

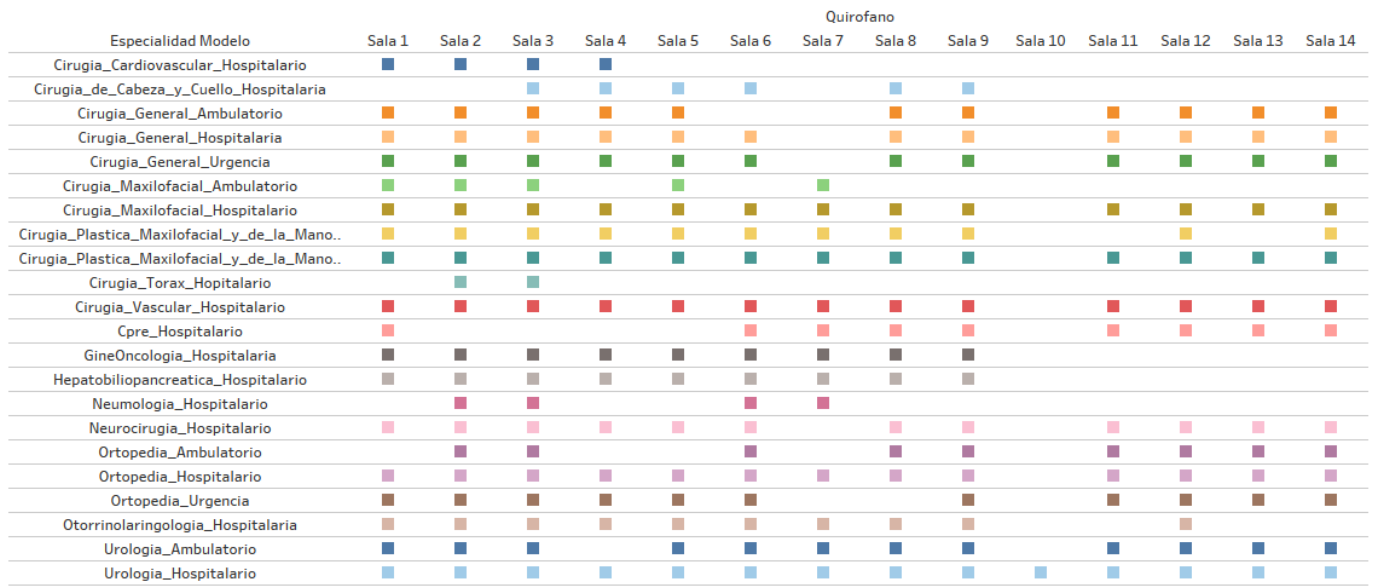
Gráfica 10. Asignación de demanda por EPS del escenario 4 (julio2018-junio2019). Fuente: Elaboración propia.

Comparando las gráficas 5 y 6, se puede observar que el escenario base no toma demandas de las especialidades hospitalarias, ya que en pro de maximizar la facturación de las cirugías, es mayor cuando no hay internación ya que esta genera un costo mayor al servicio y por más que pueda facturar una especialidad, si las estancias son muy prolongadas ese valor facturado se verá reflejado pero en egresos (que en este modelo se miden en estancias hospitalarias) y no en ingresos; como lo vemos reflejado en la mayoría de gráficas donde se excluye la demanda cardiovascular por ser una especialidad hospitalaria de estancias prolongadas.

Al comparar las gráficas 7-10, se puede evidenciar que el escenario donde más demanda de especialidades se toma es en la Gráfica 8 y la Gráfica 9 que corresponden al escenario 2 y 4 respectivamente, donde en ambos escenarios se disminuye 30% las estancias clínicas, por lo que vemos que si estas son demasiado prolongadas será una restricción para poder realizar todas las especialidades quirúrgicas hospitalarias demandadas.

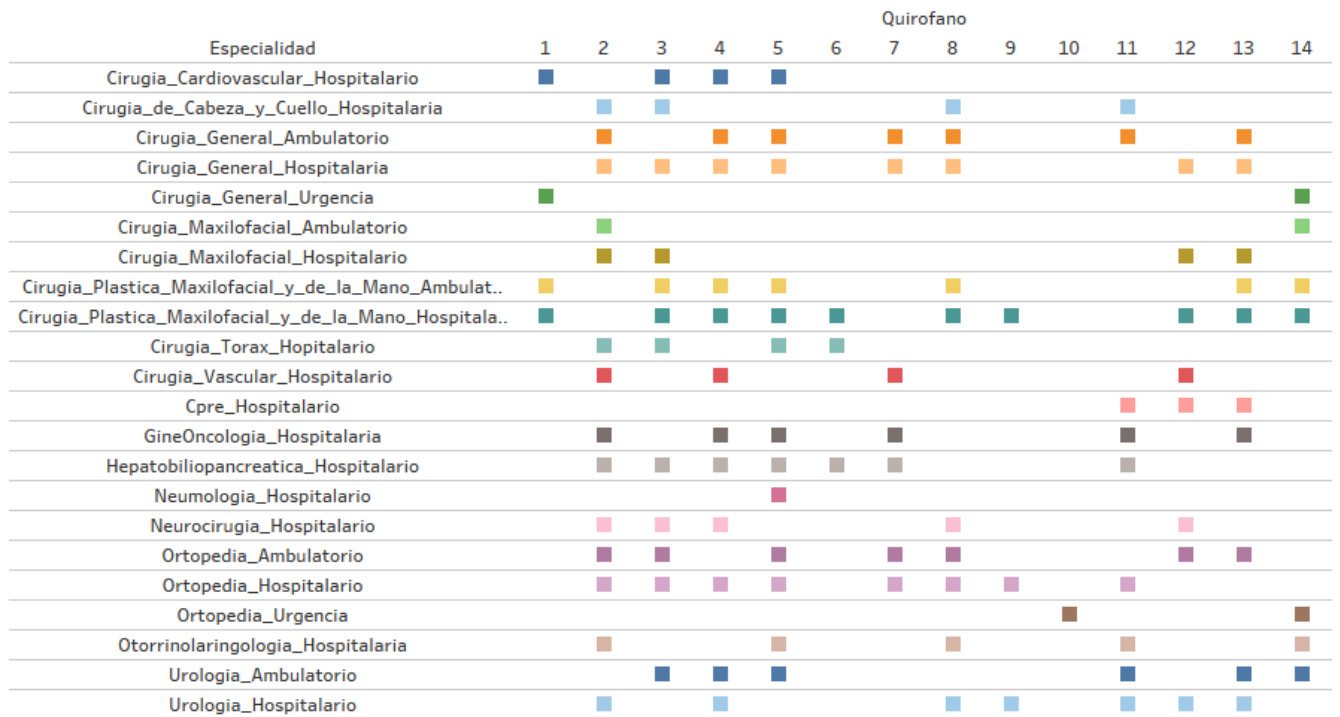
El segundo comparativo, se realizó con la respuesta de la variable x_{qebh} , correspondiente a la **asignación de quirófanos**. Estos resultados se presentan en las gráficas 11-16.

Histórico



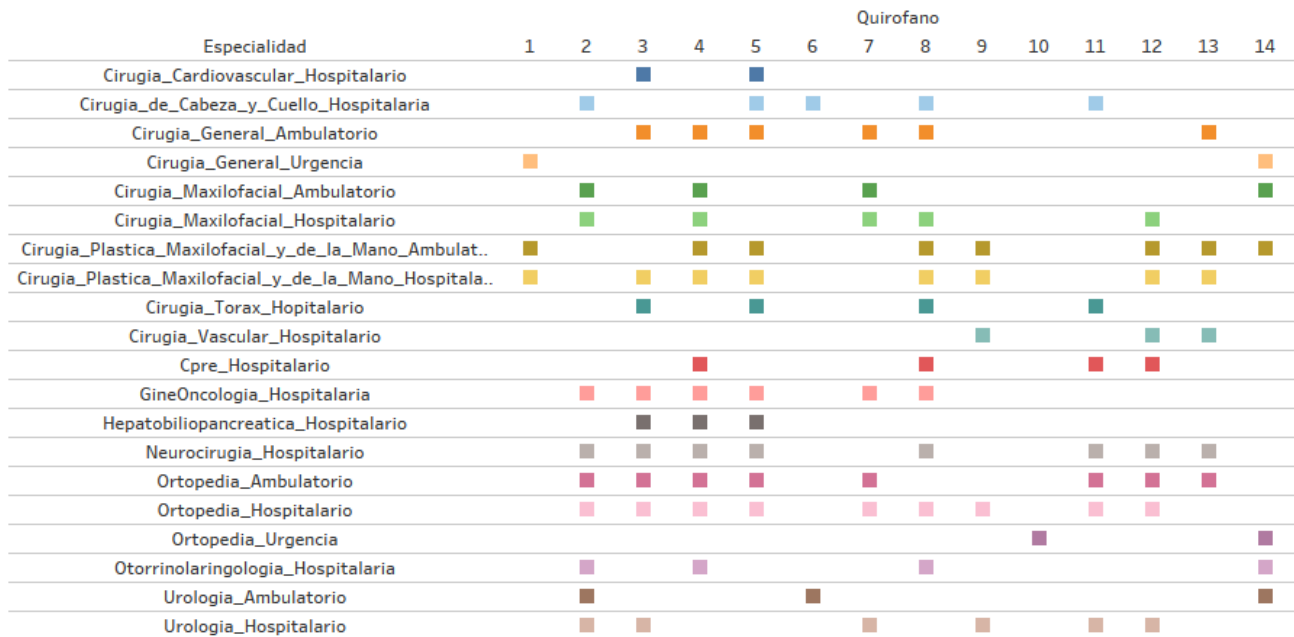
Gráfica 11. Asignación de especialidad por quirófano histórico (julio 2018-junio 2019). Fuente: Elaboración propia.

Escenario base



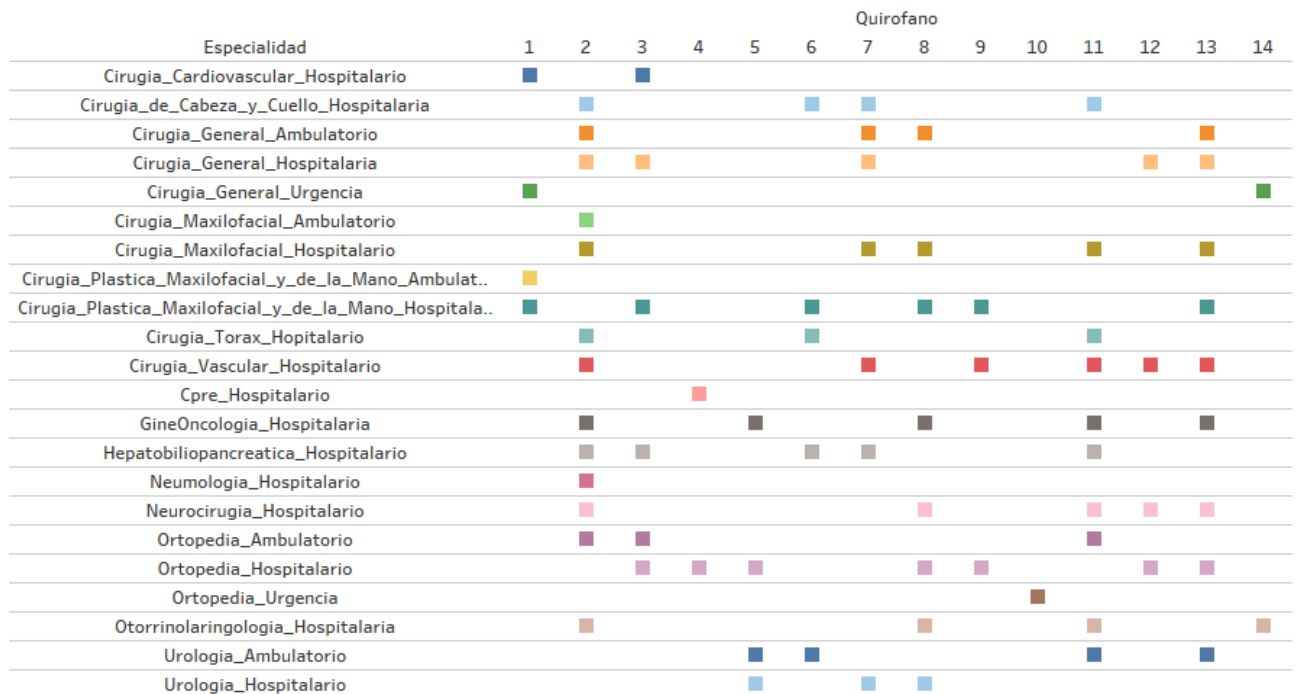
Gráfica 12. Asignación de especialidad por quirófano escenario base (julio 2018-junio 2019). Fuente: Elaboración propia.

Escenario 1



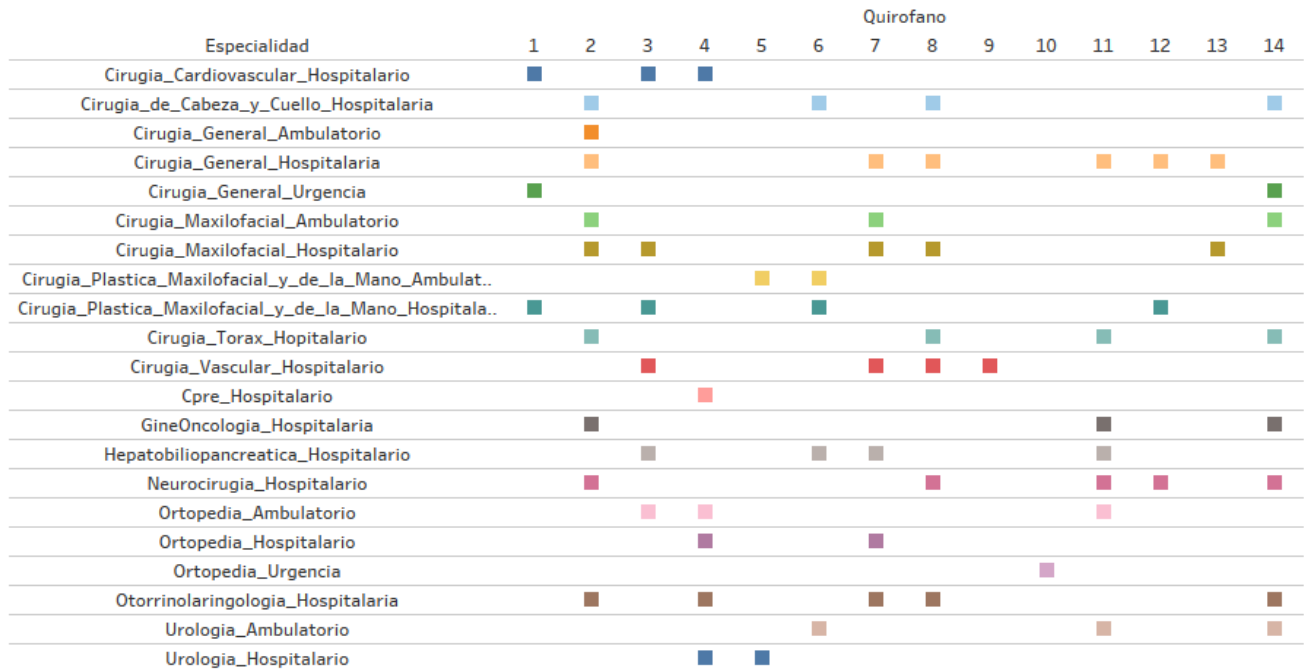
Gráfica 13. Asignación de especialidad por quirófano escenario 1. Fuente: Elaboración propia.

Escenario 2



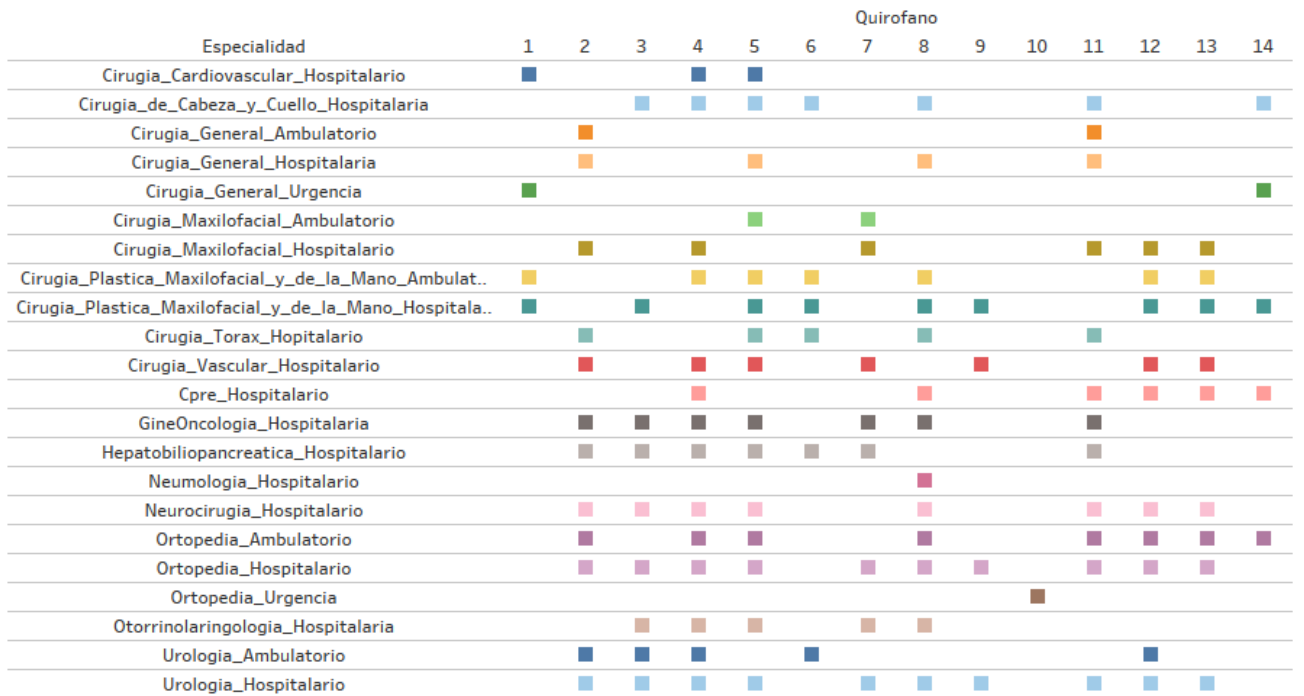
Gráfica 14. Asignación de especialidad por quirófano escenario 2 (julio2018-junio2019). Fuente: Elaboración propia.

Escenario 3



Gráfica 15. Asignación de especialidad por quirófano escenario 3 (julio2018-junio2019). Fuente: Elaboración propia.

Escenario 4



Gráfica 16. Asignación de especialidad por quirófano escenario 4 (julio2018-junio2019). Fuente: Elaboración propia.

Observando la Gráfica 11 y Gráfica 12, se refleja que el histórico tiene una mayor asignación de quirófanos debido a que se ha realizado al menos un procedimiento quirúrgico de alguna especialidad en ese quirófano y queda el registro esto puede ser porque era una cirugía emergente y estas son aquellas que no tienen tiempo de espera ni de programación. La Gráfica 12, representa el escenario base y es acorde a lo que se hace de acuerdo con el cuadro de distribución de horas (Anexo 1).

Con respecto a las gráficas 13-15 , notamos que la mayor dinámica de asignación de quirófanos se encuentra en la Gráfica 16 (escenario 4), ya que es la combinación de la Gráfica 14 y Gráfica 15, es decir lo quirófanos que no están asignados en el escenario 2 pero están en el 3 serán asignados en el 4 y así en viceversa.

También es importante evaluar cuál es la holgura de los quirófanos de acuerdo con cada escenario y esto es lo que vemos representado en la Tabla 3, donde la mayor holgura en el bloque de la mañana se encuentra en el escenario 1 y 3, sin embargo, se observa que los escenarios tienen menor holgura de asignación a comparación del escenario base.

Tabla 3. Holgura de quirófanos en el bloque de la mañana. Fuente: Elaboración propia.

Holgura de quirófanos en el bloque de la mañana					
Bloque	Escenario base	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
1	2	0	7	10	5
2	0	5	0	3	4
3	8	6	2	2	5
4	10	10	0	0	5
5	11	6	0	0	4
6	22	23	6	0	15
7	18	16	0	15	7
8	15	13	18	17	12
9	15	20	20	24	13

10	24	7	0	16	7
11	6	8	7	13	1
12	20	12	20	14	12
13	12	19	10	23	9
14	6	0	1	8	8
Total	169	145	91	145	107

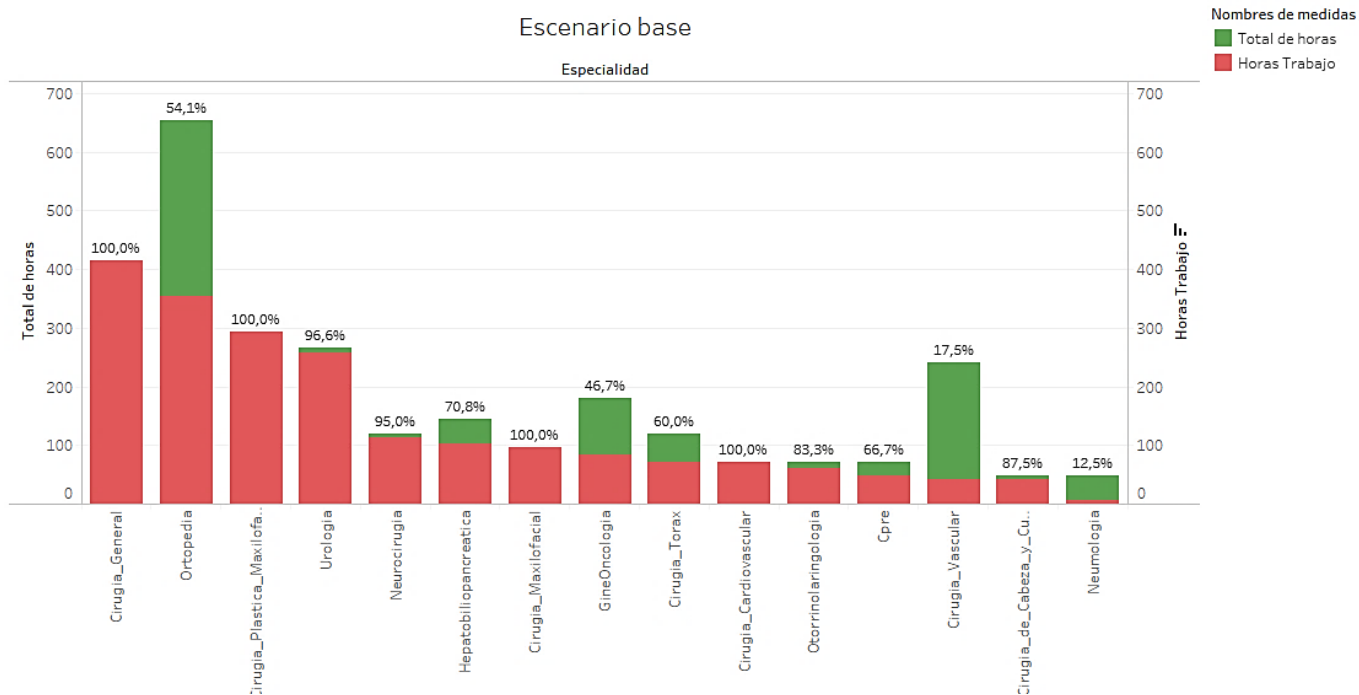
Al igual se analizó la holgura en el bloque de la tarde, como se ve reflejado en la Tabla 4, donde la menor holgura se da en el escenario 1, agregando que las holguras entre los otros escenarios, incluyendo el escenario base, tienen holguras con diferencias entre 3 y 5 asignaciones.

Tabla 4. Holgura de quirófanos en el bloque de la tarde. Fuente: Elaboración propia.

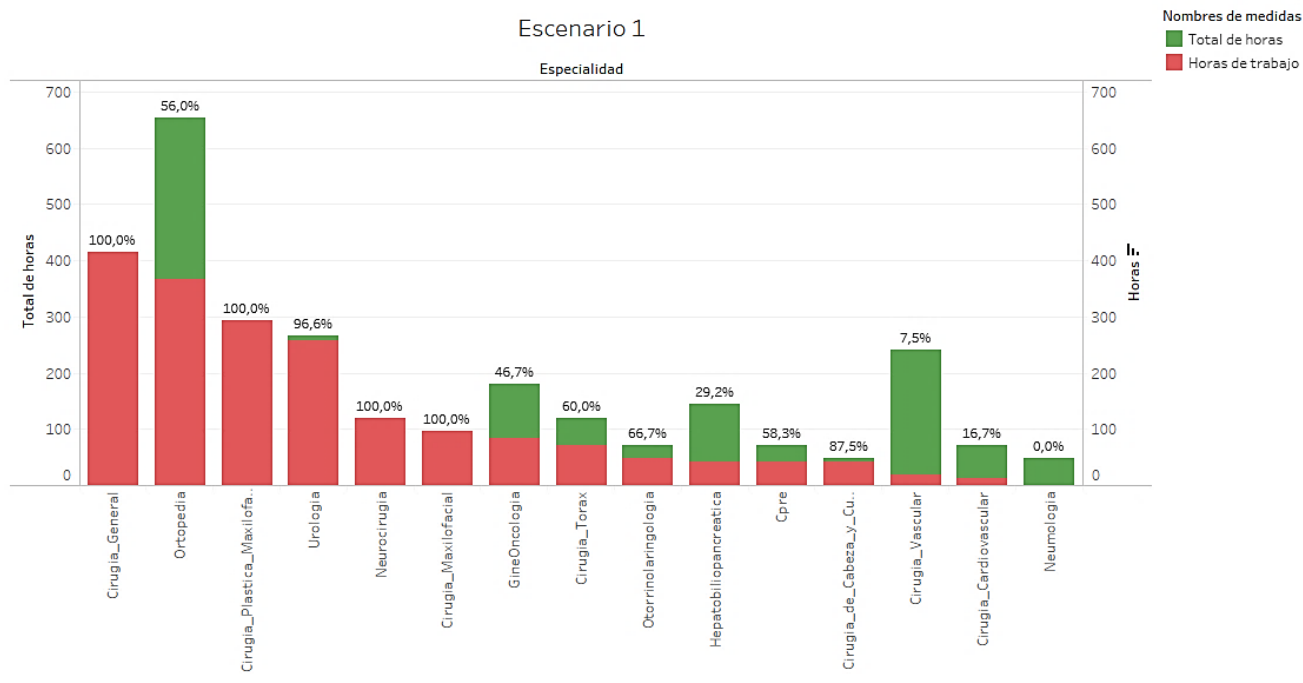
Holgura de quirófanos en el bloque de la tarde					
Bloque	Escenario base	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
1	8	0	3	0	5
2	6	0	2	6	0
3	15	0	8	8	6
4	8	0	10	10	9
5	10	0	10	10	7
6	20	0	17	14	20
7	15	0	10	17	13
8	14	0	17	19	11
9	19	0	20	23	14
10	9	0	20	20	13
11	3	0	13	9	0
12	15	0	16	16	8
13	10	0	13	19	8
14	8	0	9	9	17
Total	160	0	168	180	131

Otro factor importante de analizar es el **porcentaje de utilización de horas por grupo de especialistas**, donde se pueda estudiar en que especialidades quirúrgicas se tiene más capacidad

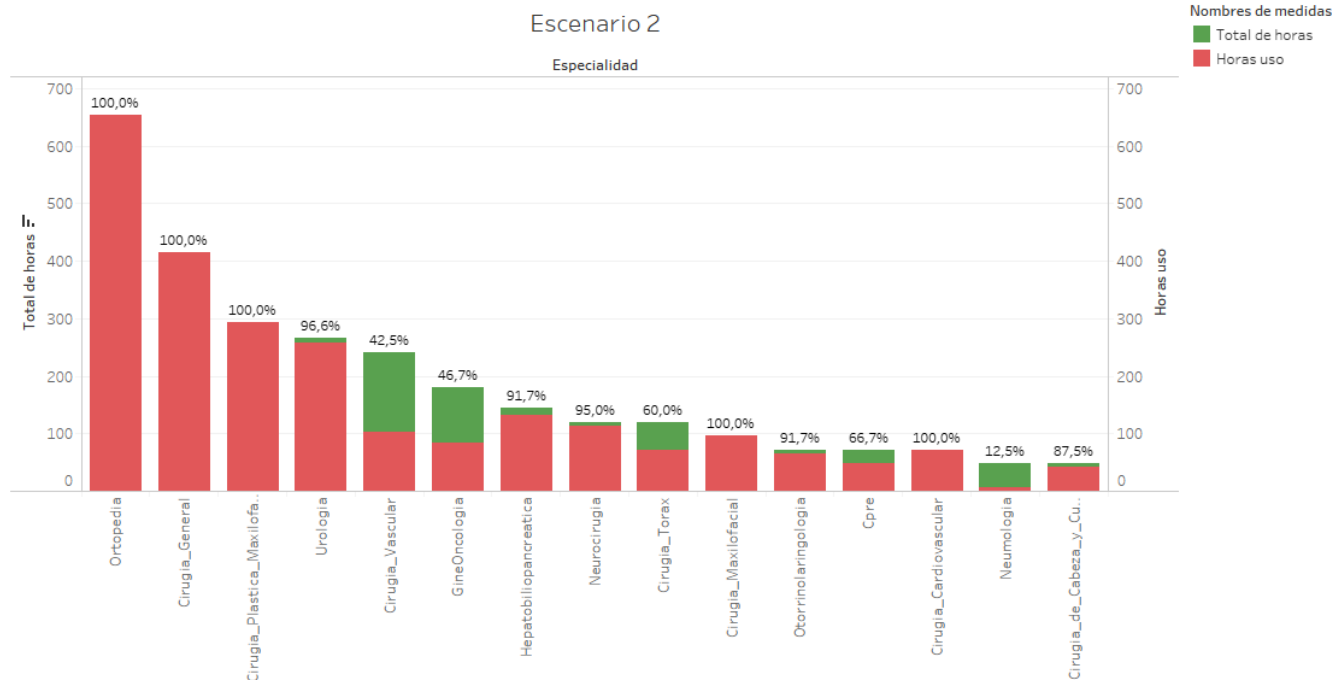
para tomar demanda o en su efecto cuales son aquellas que no tienen holgura de capacidad. Esto se puede analizar en las Gráfica 18-21.



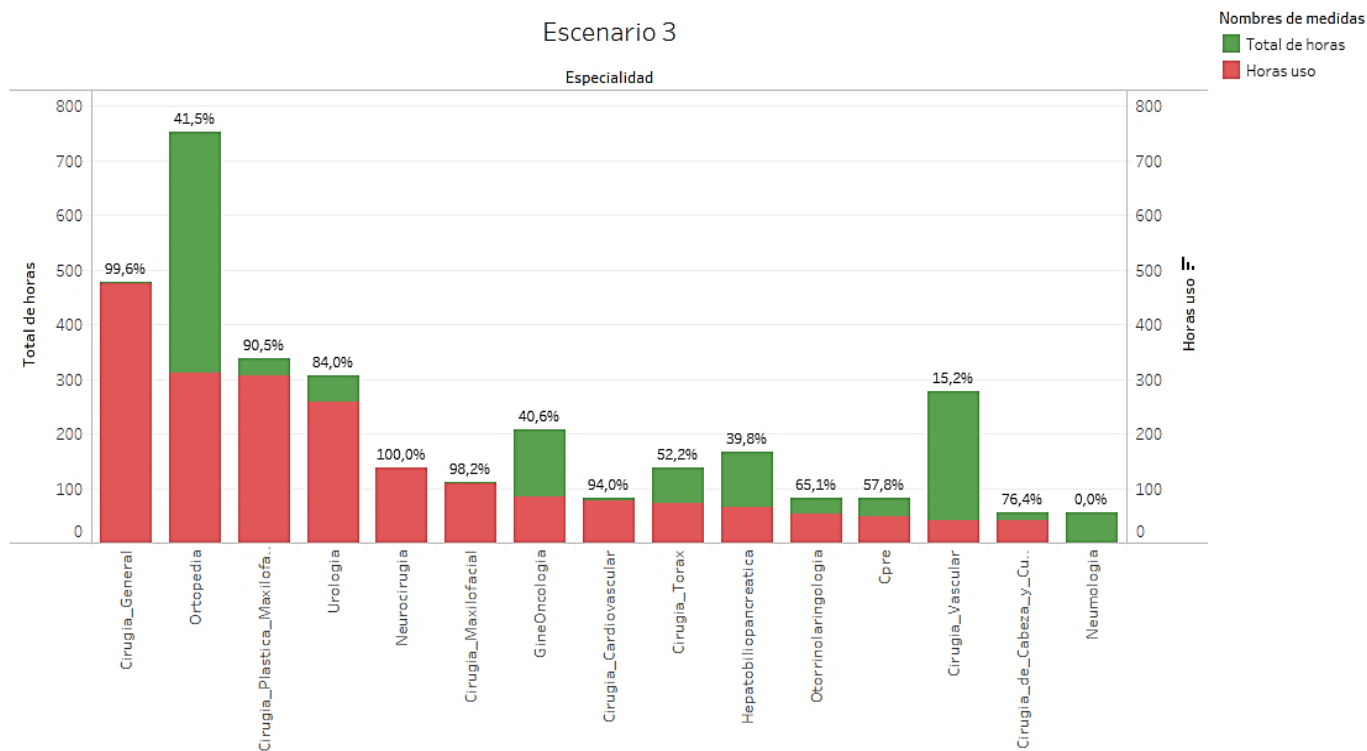
Gráfica 17. Porcentaje de utilización de horas por grupo de especialistas, escenario base. Fuente: Elaboración propia.



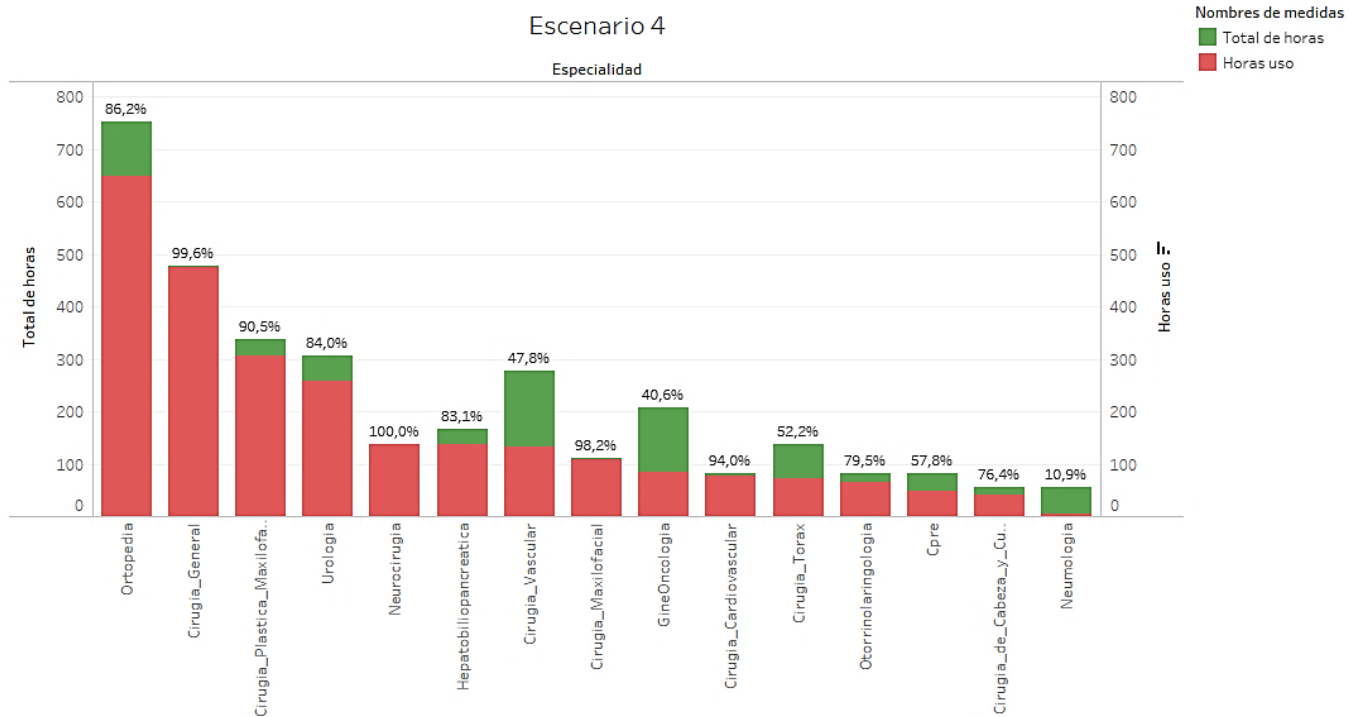
Gráfica 18. Porcentaje de utilización de horas por grupo de especialistas, escenario 1. Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 19. Porcentaje de utilización de horas por grupo de especialistas, escenario 2. Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 20. Porcentaje de utilización de horas por grupo de especialistas, escenario 3. Fuente: Elaboración propia.

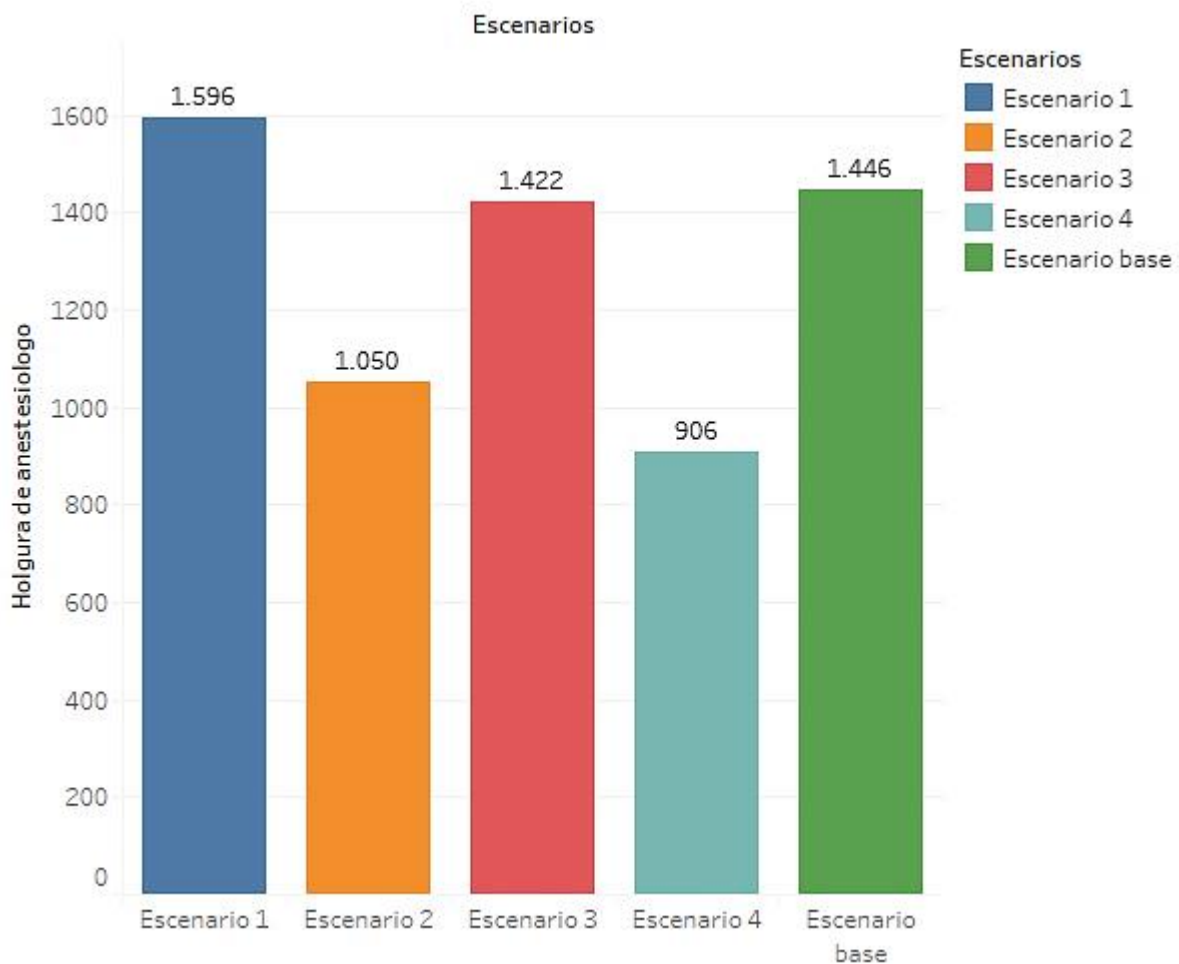


Gráfica 21. Porcentaje de utilización de horas por grupo de especialistas, escenario 4. Fuente: Elaboración propia.

Al estudiar la comparación de las anteriores gráficas, se evidencia que en el escenario 2 (disminución de estancias) es donde se usa el 100% de las horas disponibles de los grupos de cirujanos respectivos a las tres especialidades más demandadas que son Ortopedia, Cirugía general y Plástica y maxilofacial. El segundo escenario que también hace uso de más del 50% de horas disponibles para cada especialidad con excepción de Neumología, es el escenario 4 y que estos se asemejan a lo graficado en el escenario base. Lo que indica que el escenario 2 y 4, son los que hacen mayor uso de la disponibilidad de horas de los cirujanos.

Así mismo como se estudiaron a los cirujanos, también hay que hacerlo con los anestesiólogos ya que estos también hacen parte tanto del servicio de cirugía como de la realización del proceso quirúrgico, teniendo en cuenta que mensualmente se tienen 3504 horas disponibles de

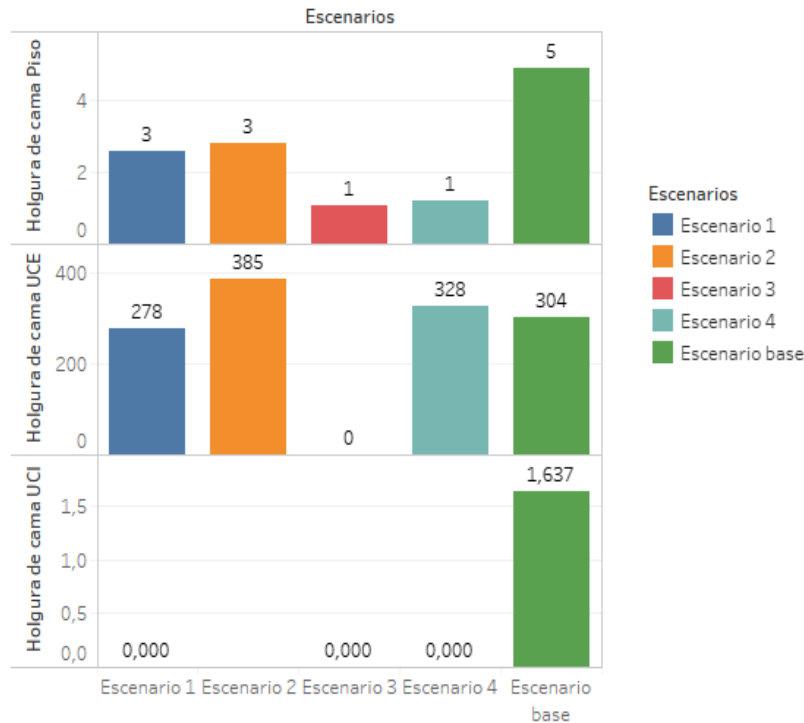
anestesiólogo, basado en esto se realiza el análisis de la holgura de anestesiólogos por escenario en la Gráfica 22.



Gráfica 22. Holgura de anestesiólogos por escenario. Fuente: Elaboración propia.

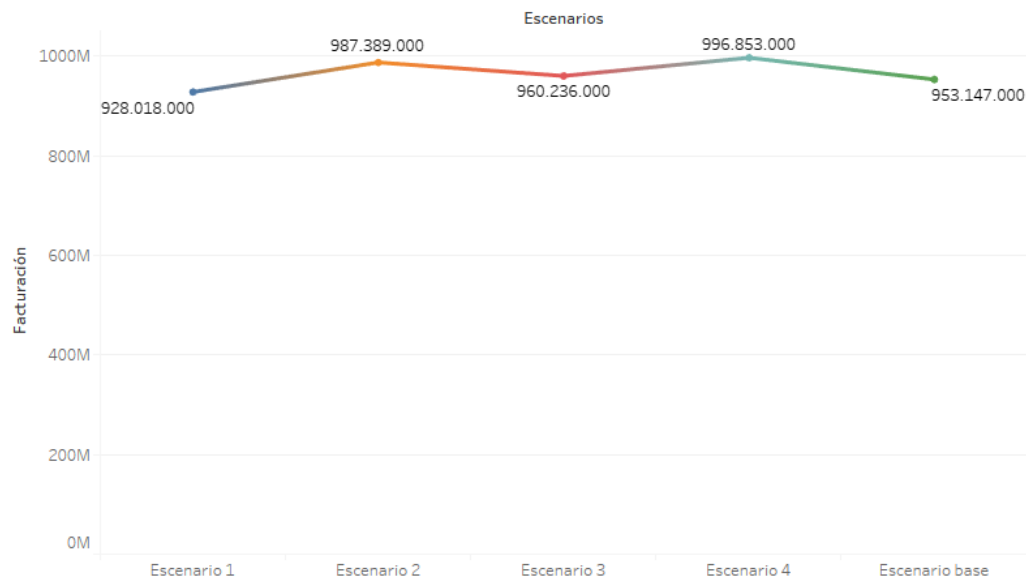
Se observa en la Gráfica 22, que al igual que sucede con las horas de cirujanos, el escenario 2 y 4 son los que mayor uso de horas de anestesiólogo hace y estando los escenarios 2,3 y 4 por debajo de la holgura del escenario base, sin embargo hay que tener en cuenta que algunas horas disponibles de anestesiólogo son también para las interconsultas y rondas de pacientes. Sin embargo, este recurso no parece ser restrictivo de la capacidad del servicio de cirugía.

Agregando a esto tal y como se ha dicho anteriormente, las estancias pre y post quirúrgicas demasiado prolongadas, se vuelven una gran restricción para la programación, es por esto que se estudian las holguras de los tipos de cama para cada escenario, ya que este es el recurso que se gasta en las estancias. En la Gráfica 23, se grafica la comparación de las holguras por tipo de cama y por escenario, donde se refleja que el escenario que más consume cama es el escenario 3, debido a que al aumentar la oferta aumenta a su vez las cirugías realizadas y por ende las estancias hospitalarias, creando la necesidad del uso de camas. Aquí se observa que la UCI es el recurso más restrictivo en cualquiera de los escenarios analizados.



Gráfica 23. Holgura de camas por escenario y tipo de cama. Fuente: Elaboración propia.

Por último y más importante se hace la comparación del valor facturado en los diferentes escenarios.



Gráfica 24. Facturación por escenarios. Fuente: Elaboración propia.

En la Gráfica 24, se observa que todos los escenarios obtienen mayor valor facturado en comparación del escenario base, excepto el escenario 1, que genera 2,64% menos de facturación, lo cual se produce porque al tomar toda la demanda de urgencias también se toma sus estancias, además que los valores facturados por este tipo de especialidad son menores a comparación de otras como por ejemplo Neurocirugía.

Los escenarios que mayor facturación son el escenario 4 y 2, aumentando el valor facturado en comparación al escenario base en un 4,59% y 3,59% respectivamente, debido a que estos escenarios permiten aumentar la oferta para las especialidades quirúrgicas hospitalarias, por lo que hacen mayor utilización de los recursos como camas, anestesiólogos y grupo de cirujanos.

CONCLUSIONES

Con el fin de maximizar la facturación de las cirugías y la eficiencia del servicio de cirugía de la IPS Universitaria, se diseñó un modelo de matemático. Enfocado a la planeación táctica del servicio ofrecido en la sede León XIII. Se tuvieron en cuenta los recursos utilizados y disponibles en la prestación del servicio, la demanda y facturación promedio y el cuartil superior de los tiempos quirúrgicos, para cada una de las especialidades.

Entre las principales conclusiones se tiene que la mayor demanda de procedimientos quirúrgicos corresponde a las especialidades de Ortopedia (27,36%), Cirugía General (24,37%), Urología (10,14%) y Plástica (8,33%), donde más del 50% de sus pacientes son hospitalarios. Además de esto las EPS que más se les presta el servicio de cirugía son: Nueva EPS (26,54%), Coomeva EPS (12,23%), Alianza EPS PGP (Savia Salud PGP) (12,23%). Tal y como se mencionó anteriormente con el fin de aumentar la eficiencia del servicio de cirugía se midió la utilización de los quirófanos mediante un indicador, el cual arrojó que el promedio de porcentaje de utilización de los quirófanos es del 63,2%; se puede considerar que este intermedio ya que la unidad de quirófanos no debería sobrepasar el 80% de ocupación debido a que se satura la programación y la asignación de cirugías.

Al explorar los cuatro escenarios expuestos, se obtuvieron hallazgos importantes, como lo es la importancia de disminuir las estancias pre y post quirúrgicas y la capacidad de poder aumentar la oferta de especialidades.

Según los resultados arrojados por los diferentes modelos, se recomienda diseñar estrategias para aplicar el modelo desde el escenario 2 y/o 4, donde las EPS más relevantes para tomar su demanda son Nueva EPS, Medimas y Sumimedical.

Teniendo en cuenta el escenario 2 y 4, una de las conclusiones más importantes es la restricción de las estancias por lo que una propuesta de mejora es crear estrategias y políticas para disminuir las estancias clínicas de pacientes quirúrgicos, y fortalecer las ya existentes a partir del modelo de atención Sermás.

No obstante, hay que resaltar una ventaja del escenario 2 ante el 4 y es que no hay necesidad de aumentar ni de disminuir como tal un recurso, ya que si se opta por implementar el escenario 4 habría que hacer una reestructuración a la distribución de cuadros de turnos y/o contratar más especialistas, por esto y por las ventajas observadas en los análisis se propone implementar el escenario 2.

Por último, se plantea como trabajo futuro un plan estratégico enfocado a implementar el modelo con las variaciones del escenario 2, incluir en este modelo la planeación operativa; en este trabajo futuro se realizaría una utilización más profunda de los tiempos quirúrgicos, por procedimiento y especialista, así como otros factores que en el modelo de planeación táctica no se tuvieron en cuenta. Obteniendo así un modelo matemático integral en pro de la maximización de facturación y de la eficiencia del servicio de cirugía.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mis agradecimientos por el acompañamiento y apoyo al docente del departamento de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, Juan Guillermo Villegas.

De igual forma, resalto la ayuda y asesoría en la realización de este trabajo, tanto en el suministro de información como en la validación de los resultados, al personal de la IPS Universitaria; especialmente a mis asesoras y guías Alma Rodríguez y Paula Velázquez. Y por supuesto al servicio de cirugía por la disposición prestada en el desarrollo del trabajo en especial al Coordinador de cirugía el Doctor Oscar Ríos, Doctora María Inés Restrepo y la jefe de enfermería Alejandra Amariles.

También agradezco a la empresa FICO, que suministró, a través de un acuerdo académico, el software Xpress MP. Empleado en la solución del modelo y la experimentación de los escenarios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso, E., Tobón, Á., Andrea, P., Restrepo, V., & Villegas, J. G. (2015). *Analyzing the Capacity of the IPS Universitaria Surgery Service Via Integer Programming*. 127–132.
- Basto Núñez, F., & López Camacho, V. L. (2019). *Posibles riesgos de implementar el Modelo de contratación PGP (pago global prospectivo) en entidades del sector salud de la ciudad de Popayán*. Retrieved from <http://repositorio.ucm.edu.co:8080/jspui/handle/10839/2433>
- Cardoen, B., Demeulemeester, E., & Beliën, J. (2010). Operating room planning and scheduling: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 201(3), 921–932.
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.04.011>
- Costa Jr, A. da S. (2017). Assessment of operative times of multiple surgical specialties in a public university hospital. *Einstein (São Paulo)*, 15(2), 200–205.
<https://doi.org/10.1590/s1679-45082017gs3902>
- Gamboa, Andres; Rodriguez, M. (n.d.). *MAESTRIA EN PRODUCCIÓN Y*. (14).
- González-Neira EM, E. M., Estupiñán AM, A. M., Caro MP, M. P., Torres MJ, M. J., Pérez N, N., & Barrera D, D. (2016). Reglas de despacho en la programación de procedimientos quirúrgicos electivos: impacto en los indicadores de ocupación y oportunidad. *Ciencias de La Salud*, 14(2), 211–222. <https://doi.org/10.12804/revsalud14.02.2016.06>
- Jerrold, H., Spangler, W. E., Strum, D. P., & Vargas, L. G. (2011). *y oportunidades de futuro*. 20(3), 392–405.
- Latorre, G. (2018). *Programación eficiente de salas de operaciones*.
- Montaño, A. G., & Nava, G. F. (2006). *La suspensión de cirugía programada como un indicador de calidad en la atención hospitalaria*. 7(2), 59–62.
- Ramos, A. (n.d.). *Índice ¾ Optimización*.

Requesens Berrueta, A., Vega Malagón, É., Montes Alvarado, G., Aburto Fernández, M. del C., & Cedillo Sosa, M. V. (2008). Tiempo perdido entre cirugías y su repercusión en el cumplimiento de la programación quirúrgica del Hospital General de Querétaro. *Cirujano General*, 30, 4.

Rothstein, D. H., & Raval, M. V. (2018). Operating room efficiency. *Seminars in Pediatric Surgery*, 27(2), 79–85. <https://doi.org/10.1053/j.sempedsurg.2018.02.004>

Saavedra Moreno, Carolina;Castaño, F. (2018). *Evaluación de reglas de prioridad para la programación de cirugías en ambientes con limitada disponibilidad de recursos*. 23(01), 58–69.

Samudra, M., Van Riet, C., Demeulemeester, E., Cardoen, B., Vansteenkiste, N., & Rademakers, F. E. (2016). Scheduling operating rooms: achievements, challenges and pitfalls. *Journal of Scheduling*, 19(5), 493–525. <https://doi.org/10.1007/s10951-016-0489-6>

Velásquez-Restrepo, P. A., Rodríguez-Quintero, A. K., & Jaén-Posada, J. S. (2013). Aproximación metodológica a la planificación y a la programación de las salas de cirugía: una revisión de la literatura. *Revista Gerencia y Políticas de Salud*, 12(24), 249–266.

