

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**



**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS**

**PROYECTO DE TITULACIÓN**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

**“MAGÍSTER EN CONTROL DE OPERACIONES Y GESTIÓN  
LOGÍSTICA”**

**TEMA:**

MODELO DE PROGRAMACIÓN MATEMÁTICA PARA LA  
PLANIFICACIÓN EN SALAS DE QUIRÓFANOS CENTRALES DE  
UN HOSPITAL PÚBLICO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

**AUTOR:**

JORGE STALIN QUICHIMBO MORAN

Guayaquil - Ecuador

2017

## **DEDICATORIA**

A mi mamá y a mi papá, por su guía y amor incondicional.

A mi hermana, por su eterna compañía.


A mi esposa, por su apoyo incondicional.

## **AGRADECIMIENTO**

A la directora de este proyecto, y a cada persona que realizó algún aporte para el desarrollo de este trabajo.

## DECLARACIÓN EXPRESA

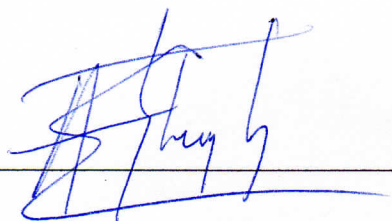
La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Graduación me corresponde exclusivamente; el patrimonio intelectual del mismo corresponde exclusivamente a la **Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Departamento de Matemáticas** de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.



---

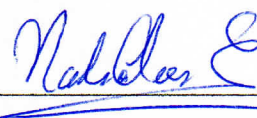
Jorge Stalin Quichimbo Moran

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



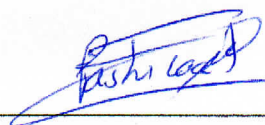
---

Fernando Francisco Sandoya  
Sánchez, Ph.D.  
Presidente



---

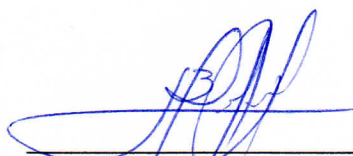
M.Sc. Nadia Lorena Cárdenas  
Escobar  
Director



---

María Nela Pastuizaca Fernández,  
Ph.D.  
Vocal

## **AUTOR DEL PROYECTO**

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, overlapping loops and a horizontal line extending to the left.

---

Jorge Stalin Quichimbo Moran

# ÍNDICE GENERAL

PRESENTACIÓN.....	xi
CAPÍTULO 1 .....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	4
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....	6
1.4. OBJETIVO GENERAL .....	6
1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
1.6. ALCANCE .....	7
1.7. ESTADO DEL ARTE.....	7
1.8. METODOLOGÍA .....	9
CAPÍTULO 2 .....	10
MARCO TEÓRICO .....	10
2.1. INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES .....	10
2.2. MODELOS DE PROGRAMACIÓN MATEMÁTICA .....	11
2.2. MODELOS DE PROGRAMACIÓN ENTERA Y SUS APLICACIONES .	12
CAPÍTULO 3 .....	16
DESARROLLO.....	16
3.1. DIAGNÓSTICO INICIAL .....	16
3.1.1. PROCESO ACTUAL DE LA PROGRAMACIÓN QUIRÚRGICA.....	16
3.1.2. DETECCIÓN DE NUDOS CRÍTICOS.....	20
3.2. PROPUESTA DE MEJORA AL PROCESO DE PLANIFICACIÓN DE CIRUGÍAS .....	22

3.2.1. REGISTRAR EN UNA BASE DE DATOS LOS PARTES PRE-QUIRÚRGICOS.....	22
3.2.2. EMITIR PARTE PRE-QUIRÚRGICO ELECTRÓNICAMENTE .....	22
3.2.3. DEFINIR UN NUEVO RESPONSABLE PARA LA PLANIFICACIÓN DE CIRUGÍAS .....	23
3.2.4. MODIFICAR EL ESQUEMA DE PLANIFICACIÓN DIARIO A UNO SEMANAL .....	23
3.2.5. DISEÑAR UN ESQUEMA SEMANAL DE ASIGNACIÓN DE PACIENTES A QUIRÓFANOS.....	24
3.2.6. PROPUESTA DE CREACIÓN DE UN COMITÉ QUIRÚRGICO.....	24
3.3. INCORPORACIÓN DE NUEVOS INDICADORES PARA EL PROCESO PROPUESTO .....	25
3.3.1. FICHAS DE INDICADORES.....	26
3.4. CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA ASIGNACIÓN DE PACIENTES A LOS QUIRÓFANOS DEL HOSPITAL.....	27
3.4.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	28
3.4.1.1. PRIORIZACIÓN DE PACIENTES .....	29
3.4.2. DISEÑO DEL MODELO DE PROGRAMACIÓN MATEMÁTICA .....	33
3.4.2.1. VARIANTE DEL MODELO PLANTEADO .....	36
3.4.3. SOLUCIÓN AL MODELO DE ASIGNACIÓN DE PACIENTES.....	37
3.4.3.1. PARÁMETROS DE ENTRADA DEL MODELO .....	37
3.4.3.2. SOLUCIÓN DEL MODELO EN GAMS.....	42
3.4.4. RESULTADOS OBTENIDOS .....	42
3.4.4.1. TIEMPO QUE LE TOMA AL MODELO ENCONTRAR LA SOLUCIÓN.....	43
3.4.4.2. ANÁLISIS DE LA PRIORIDAD DEL PACIENTE .....	44
3.4.4.3. OCUPACIÓN DE QUIRÓFANOS.....	45



CAPÍTULO 4 .....	47
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	47
4.1. CONCLUSIONES.....	47
4.2. RECOMENDACIONES.....	49
BIBLIOGRAFÍA .....	51
ANEXOS .....	53

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tabla de actividades del proceso de programación quirúrgica, posibles fallas y efectos que generan .....	21
Tabla 2: Ficha del indicador Porcentaje de pacientes en espera de ingresar a la LEQ.....	26
Tabla 3: Ficha del indicador Porcentaje de cirugías suspendidas por falta de recurso hospitalario.....	26
Tabla 4: Porcentaje de utilización de los quirófanos .....	27
Tabla 5: Clasificación de categorías .....	30
Tabla 6: Valoración de la edad del paciente .....	31
Tabla 7: Criterios y su nivel de prioridad .....	32
Tabla 8: Disponibilidad diaria de los médicos, para realización de cirugías (minutos) .....	38
Tabla 9: Relación paciente – médico .....	39
Tabla 11: Tiempo en segundos que le toma al modelo y su variante realizar la asignación de pacientes.....	43
Tabla 12: Pacientes seleccionados por la solución en cada escenario.....	44
Tabla 13: Valor de la función objetivo para cada escenario .....	45
Tabla 14: Porcentaje de ocupación esperado por cada quirófano .....	46

## INDICE DE GRÁFICOS Y DIAGRAMAS

Gráfico # 1: Evolución de cirugías del Hospital .....	3
Gráfico # 2: Porcentaje de cirugías por especialidad .....	40
Gráfico # 3: Duración promedio (en minutos) de intervenciones quirúrgicas por especialidad .....	41
Gráfico # 4 Cartera de servicios de la especialidad de Gastroenterología y duración promedio en minutos .....	42
Diagrama # 1: Modelo de Gestión del Ministerio de Salud Pública del Ecuador (MSP) .....	2
Diagrama # 2: Proceso actual de programación quirúrgica del hospital .....	17
Diagrama # 3: Subproceso de planificación de cirugías .....	18
Diagrama # 4: Proceso propuesto para la planificación de cirugías del hospital .....	25
Diagrama # 5: Proceso de categorización de pacientes .....	30

## PRESENTACIÓN

Las salas de cirugía forman parte de los recursos más valiosos de una unidad de salud. A la espera de acceder a este servicio existen, por un lado, pacientes que necesitan intervenciones quirúrgicas programadas, es decir que han pasado por un proceso de evaluación hasta llegar a determinar la necesidad de una cirugía. Por otro lado, existen los pacientes que requieren ser intervenidos de manera urgente sin una programación previa, es decir aquellos que ingresan por el servicio de emergencia, o que, estando hospitalizados, necesitan una intervención por alguna complicación. Este documento se centra en el primer caso descrito.

Con el objetivo de incrementar el número de pacientes que acceden al servicio de cirugías, y así aumentar las probabilidades de mejorar su calidad de vida, existen dos estrategias. La primera es construir nuevos quirófanos lo cual implica la inversión de tiempo y el uso de recurso financiero, muy limitado sobre todo en el ámbito de la salud pública. La segunda tiene que ver con el uso eficiente de los quirófanos, lo cual requiere organización, manejo efectivo y eficiente de las salas de cirugía, aprovechando al máximo el recurso disponible. El presente trabajo se desarrolla en el contexto de este último punto.

La programación de quirófanos es un proceso crítico para asegurar que los diferentes tipos de pacientes accedan a cirugías. Además, asegura un ambiente coordinado entre los diferentes actores del proceso (Levine & Dunn, 2015).

La planificación de salas quirúrgicas en un centro hospitalario es un proceso importante y a la vez un asunto complejo. Una adecuada planificación de los quirófanos causa un impacto directo a la calidad de vida del paciente y a la eficiencia del sistema en sí. Para una mejor comprensión del tema se introduce el concepto de lista de espera quirúrgica (LEQ). Los pacientes que integran la LEQ son aquellos que han pasado todas las evaluaciones médicas pertinentes y están preparados para ser intervenidos. La gestión adecuada de esta lista de

pacientes es el objetivo de la planificación. El tiempo que transcurre desde que se determina la necesidad de intervenir al paciente hasta el día de la cirugía afecta a su calidad de vida. Es válido recordar que, para llegar a este punto, se ha hecho uso de varios recursos sanitarios, entre los que se destaca el tiempo del personal asistencial y los reactivos para exámenes médicos necesarios para la valoración del paciente.

La complejidad de la planificación radica en la consideración de varias situaciones al momento de ejecutar este proceso. Entre éstas podemos citar: el número de quirófanos disponibles, la disponibilidad de médicos, tiempo de duración de los procedimientos quirúrgicos, el uso exclusivo de una sala quirúrgica para ciertas intervenciones, entre otras variables. La priorización del paciente a ser intervenido es otra variable para considerar, misma que se basa en el criterio del médico quien evalúa el tiempo que puede esperar el paciente para la cirugía de acuerdo con el diagnóstico. Se debe tener presente que las actividades quirúrgicas tienen una participación importante en los costos de un hospital, esto debido al alto valor de los recursos directamente involucrados en las cirugías (personal médico y de enfermería, equipos, instrumental y dispositivos médicos, medicina, entre otros). Una resolución adecuada a el problema de planificar los quirófanos en una unidad de salud es crucial para llegar a un uso eficiente de sus recursos y sobre todo para elevar las probabilidades de mejorar la calidad de vida del paciente.

# **CAPÍTULO 1**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

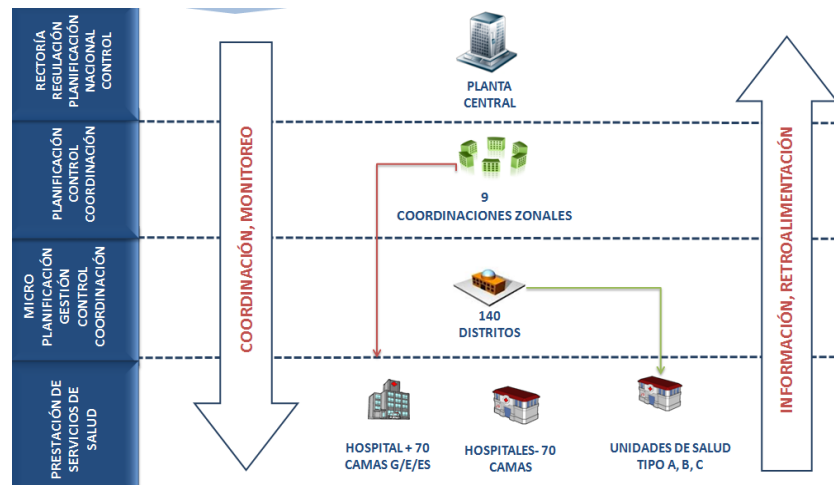
### **1.1. ANTECEDENTES**

El Ministerio de Salud Pública, creada el 16 de junio de 1967, tiene como misión ejercer la rectoría, regulación, planificación, coordinación, control y gestión de la Salud Pública ecuatoriana a través de la gobernanza, vigilancia y control sanitario. Además debe garantizar el derecho a la Salud a través de la provisión de servicios de atención individual, prevención de enfermedades, promoción de la salud e igualdad, la gobernanza de salud, investigación y desarrollo de la ciencia y tecnología; articulación de los actores del sistema, con el fin de garantizar el derecho a la Salud (Ministerio de Salud Pública, 2017).

Según las cifras del Ministerio, en los últimos años la inversión en salud supera los 16.000 millones de dólares. En cuanto a infraestructura se observa la creación de nuevos hospitales y la repotenciación de entidades de salud ya existentes. De igual forma se han construido nuevos centros de salud tipo A, B y C para fortalecer la atención primaria (Ministerio de Salud Pública, 2015).

Alrededor de 72.000 personas trabajan en el sistema de Salud Pública. Para el fortalecimiento de este talento humano el gobierno ha entregado becas a Institutos Técnicos y Universidades en coordinación con la Secretaria Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación y el Ministerio Coordinador del Conocimiento y Talento Humano (Agencia Pública de Noticias del Ecuador y Sudamérica, 2016).

Para ejercer su labor, el Ministerio de Salud se encuentra organizado territorialmente en 9 Coordinaciones Zonales y 140 Distritos. El diagrama mostrado a continuación muestra su modelo de gestión.



**Diagrama # 1: Modelo de Gestión del Ministerio de Salud Pública del Ecuador (MSP)**

Fuente: Ministerio de Salud Pública-MSP (<http://capacitacion1.msp.gob.ec/course/view.php?id=107>)  
Elaboración: Ministerio de Salud Pública-MSP

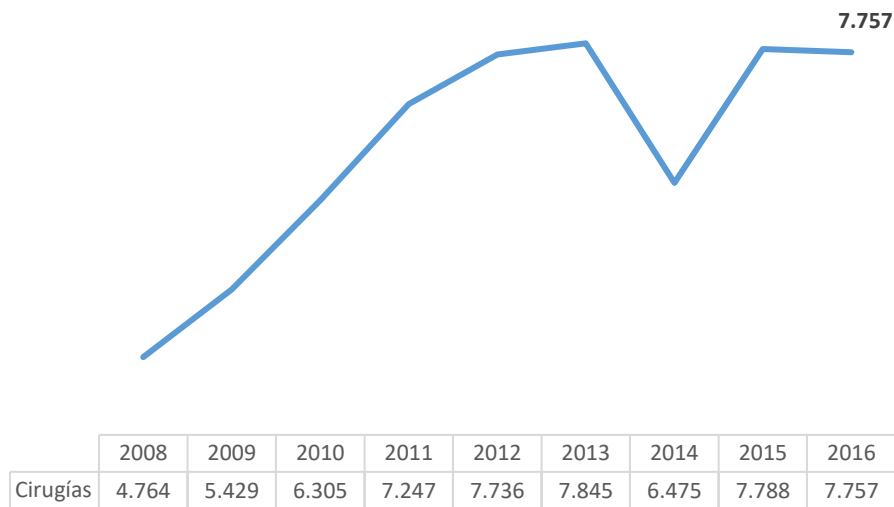
Como se observa en el diagrama anterior, en el cuarto nivel del modelo de gestión se encuentran los prestadores de salud (Hospitales de Especialidades, Hospitales Generales y las Unidades de Salud Tipo A, B y C).

El proyecto que se desarrolla a lo largo de este documento se basa en información provista por un Hospital de Especialidades, misma que pertenece a la Red Pública de Salud del Ecuador, ubicada en la ciudad de Guayaquil, y que presta atención a la población pediátrica, que, bajo las políticas de la institución, son aquellas personas menores a 15 años (neonatos, niños y adolescentes).

Esta Institución brinda atención de salud en las especialidades de Cardiología, Gastroenterología, Hematología, Infectología, Medicina Interna, Nefrología, Neumología, Oncología, Cuidado Neonatal, Cirugía general, Cirugía plástica,

Neurocirugía, Oftalmología, Otorrinolaringología, Unidad de Quemados y Traumatología/Ortopedia.

Uno de los servicios de mayor demanda es el de cirugías. El gráfico a continuación muestra la evolución de las cirugías realizada desde el año 2008 al 2016.



**Gráfico # 1: Evolución de cirugías del Hospital**

*Fuente: Registros del Hospital  
Elaboración: Autor del proyecto*

Como se aprecia en el gráfico anterior, el número de intervenciones quirúrgicas entre los años 2008 al 2016 sigue una tendencia creciente. En el año 2013 se observa el mayor número de cirugías, (7.845). En el año 2014 el Hospital entra a un proceso de intervención para mejorar su infraestructura, lo que implicó limitar la realización de cirugías.

El Hospital cuenta con un quirófano en la planta baja del edificio principal para intervenciones de emergencia, y un pabellón con 4 quirófanos en el primer piso, disponibles durante 7 horas al día de lunes a viernes, destinados para cirugías programadas, pero también son utilizados en situaciones de emergencia en caso de presentarse esta necesidad. Este proyecto se enfoca en la gestión de cirugías programadas, por lo que, de aquí en más, toda la



información brindada será referente a los quirófanos destinados para este tipo de intervenciones quirúrgicas, salvo se especifique lo contrario.

El médico de cada especialidad tiene asignado un tiempo en quirófano, siguiendo un modelo de programación en bloque (Colomer et al., 2009). Para la realización de cirugías se cuenta con un equipo de anestesiólogos y enfermeras disponibles exclusivamente para el centro quirúrgico. Para la administración de este pabellón, la institución tiene definido un médico coordinador de quirófanos.

## **1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

En la actualidad, de acuerdo con la política interna del hospital, la responsabilidad de la programación quirúrgica recae en el coordinador de quirófanos. Este proceso inicia con la con la evaluación médica del paciente y posterior emisión del parte quirúrgico realizada por el especialista. Este formato, que se registra de manera manual (no existe registros electrónicos), contiene la información referente al paciente y al tipo de intervención a realizar. Diariamente, el personal de enfermería consolida los partes de los pacientes a ser intervenidos. A diario el médico coordinador dedica al menos una hora en la asignación de estos pacientes a los distintos quirófanos. El horizonte de planificación es de dos días, es decir, el día que se realiza la planificación, será para que los pacientes sean intervenidos dos días después. Entre las consideraciones para asignar pacientes a los quirófanos se encuentra el tiempo que cada médico tiene destinado a actividades de cirugía, y el tiempo destinado a cada intervención. Este tiempo lo define el médico coordinador en base a su experiencia. Una vez realizada la asignación de pacientes, se emite una lista con los nombres de los mismos, el quirófano asignado, y el día de realización del procedimiento. Finalmente, este listado es comunicado a todas las áreas que intervienen en el proceso de programación quirúrgica. Terminada la jornada de cirugías, el personal de enfermería entrega el parte posquirúrgico al coordinador de quirófanos, para su registro en una base de datos.

La descripción del proceso descrito previamente se realizó con la asistencia del personal administrativo y asistencial involucrado, quienes, a su vez, ayudaron a detectar algunos problemas que surgen con el actual proceso de programación quirúrgica que está implementado en el Hospital, los cuales se detallan a continuación:

- La forma manual en la que se lleva los partes quirúrgicos incrementa el riesgo de pérdida de información.
- La programación quirúrgica es una de las aristas primordiales en la gestión del pabellón de quirófanos ya que tiene repercusión en la institución, el personal asistencial y los pacientes. La forma como se programa determina el funcionamiento de otras áreas del hospital (Colomer et al., 2009). Con el proceso de programación diario que actualmente está implementado, ocurre problemas de retraso en la entrega de información. Por ejemplo, al no recibir a tiempo el listado de pacientes a ser intervenidos, el área de admisión no gestiona adecuadamente el ingreso de pacientes al sistema informático.
- La falta de camas y, en segundo lugar, la inadecuada preparación prequirúrgica son las causas más frecuentes de cancelación para pacientes con cirugía en hospitalización convencional, de conformidad con la Association of Anaesthetists of Great Britain and Ireland (Colomer et al., 2009). Si bien es cierto, existe un déficit de camas en la institución, la programación diaria no permite un margen de acción más amplio para gestionar este recurso. Por otro lado, según información recabada de los registros del hospital, al menos una cirugía al mes es suspendida por falta de una medicación, a causa de una débil planificación para gestionar su adquisición. Nuevamente el proceso actual no permite una adecuada coordinación con todos los actores que intervienen en la programación de cirugías.
- El médico responsable de la programación dedica diariamente al menos una hora a esta actividad, lo que invita a meditar que, mejorando el

proceso actual, el tiempo dedicado a esta tarea administrativa podría ser invertido en la atención al paciente.

### **1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

Considerando la importancia de la programación quirúrgica para la gestión de los quirófanos, y observando la problemática que se presenta al seguir el esquema actual de asignación de pacientes a los quirófanos, se evidencia la necesidad de mejorar este proceso, para lo cual se plantea evaluar e identificar mejoras al flujo actual de actividades, y diseñar un modelo de asignación de pacientes a los quirófanos, basado en la teoría de la programación matemática

### **1.4. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un modelo basado en la programación matemática que permita una adecuada asignación de pacientes a los quirófanos centrales de un hospital Público en la ciudad de Guayaquil, y plantear mejoras al esquema actual de asignación de pacientes a quirófanos, disminuyendo el tiempo actual que toma este proceso en un 20%. Este proyecto se lo realizará entre los meses de enero y junio del año 2017.

### **1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Levantar el proceso que se sigue actualmente para la planificación de cirugías y detectar posibles mejoras.
- Desarrollar un modelo para la asignación de pacientes a los quirófanos basado en la programación matemática.
- Desarrollar una solución computacional para el modelo a diseñarse.

## **1.6. ALCANCE**

Este proyecto de tipo correlacional está enfocado en el desarrollo de un instrumento basado en la teoría de la programación matemática para la asignación de pacientes a los quirófanos de un hospital de la red pública de salud en la ciudad de Guayaquil, excluyendo los casos de emergencia, es decir, sólo se considera a los pacientes que han sido evaluados por el servicio de consulta externa y se les ha determinado la necesidad de una intervención, esto debido a que las intervenciones quirúrgicas de emergencia tienen otro tratamiento, inclusive en el hospital existe un quirófano exclusivo para estos casos. Para este desarrollo se levantará el proceso actual que se sigue en el hospital para la planificación de cirugías. Luego, en base a estudios relacionados con el tema, a la teoría desarrollada para la resolución de este tipo de problemas, y el criterio de la parte asistencial, se desarrolla y presenta a la institución, las mejoras planteadas al esquema de planificación de cirugías y el modelo diseñado para la asignación de pacientes a quirófanos, sin que necesariamente se llegue a la implementación de los mismos.

## **1.7. ESTADO DEL ARTE**

Revisando la literatura disponible, se han encontrado estudios que presentan varias ideas de cómo afrontar el problema de la programación quirúrgica.

En un artículo de la facultad de economía de la Universidad de Leuven, Bélgica, sus autores plantean una solución que busca la optimización de múltiples objetivos para la programación de pacientes quirúrgicos en una unidad de salud. En este estudio se considera la disponibilidad limitada de recursos, así como también ciertas precauciones médicas como la limpieza exhaustiva del quirófano para el caso de pacientes infectados. La metodología de resolución plantea el desarrollo de un algoritmo exacto y una heurística. Al

final, las soluciones propuestas son probadas y evaluadas sobre datos reales de un hospital universitario (Cardoen, Demeulemeester, & Beliën, 2009).

Un componente del problema de la programación de pacientes que requieren cirugía es cómo definir la prioridad para cada paciente en su ingreso al quirófano. En un estudio referente a la priorización de listas de espera quirúrgicas, en un hospital en la ciudad de Santiago de Chile, su autora plantea el diseño de un proceso para asignar prioridades a los pacientes que integran la LEQ con la participación del área asistencial a través de comités médicos. Este proceso va de la mano con una propuesta de mejora en la calidad de la información para la toma de decisiones referente a la programación de pacientes (Cisneros, 2010).

En el ámbito ecuatoriano, la literatura revisada muestra un estudio que propone mejorar el proceso de programación de cirugías en un hospital privado de la ciudad de Guayaquil. En éste se desarrolla y propone un conjunto de políticas y procedimientos destinados a mejorar el proceso. Para evaluar y dar seguimiento a esta propuesta se diseña un conjunto de indicadores soportados por el criterio y experiencia del personal asistencial (Echeverría, 2015).

En cuanto a la normativa vigente dictada por el MSP, se considera el Estatuto Orgánico de Gestión Organizacional por Procesos de los Hospitales del Ministerio de Salud Pública, firmado por la Ex Ministra de Salud Carina Vance Mafla, el 13 de julio de 2012, donde, en el capítulo 4.2 establece que el área de Gestión de Admisiones entre sus productos y servicios tiene a cargo la Programación Quirúrgica en coordinación con el centro quirúrgico (Ministerio de Salud Pública, 2012).

## **1.8. METODOLOGÍA**

La metodología utilizada en el presente proyecto se detalla en el siguiente listado de actividades:

- Levantar el proceso actual que se sigue para la asignación de pacientes a los quirófanos, a través de entrevistas con el personal asistencial y administrativo del hospital. Se define un esquema de entrevistas con preguntas abiertas con el objetivo de recabar cada detalle del proceso.
- Diseñar diagramas de flujo como ayuda visual para el entendimiento de este proceso y detectar posibles mejoras. Para esto se utilizará el software especializado y de acceso libre BIZAGI.
- Analizar la información disponible que aporte a la resolución de la problemática planteada. Para su procesamiento se utilizará Microsoft Excel y el software de acceso libre R.
- Desarrollar y resolver un modelo basado en la programación matemática, planteando objetivos y restricciones en función de la realidad del hospital. Para esto se identificarán las variables y parámetros necesarios para la formulación y resolución del modelo. La modelización se lo realizará con el software especializado GAMS, y para las pruebas necesarias, se hará uso del servicio web de acceso libre para resolver problemas de optimización numérica NEOS Server.

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO TEÓRICO**

En este capítulo se detalla la teoría en la que se fundamenta el modelo propuesto.

#### **2.1. INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES**

La investigación de operaciones es una ciencia que, a través de la aplicación de la teoría, métodos y técnicas, trata de obtener, a partir de un conjunto de soluciones factibles, una “solución óptima” de un problema existente en los diversos sistemas que se encuentran en la naturaleza, lo que permite la “toma óptima de decisiones”, que es el objetivo más importante de la aplicación de esta ciencia (Vidal, 2013).

Para obtener la solución a un problema, éste es representado a través de un modelo. De manera general, un modelo, es una representación de un sistema presente en la realidad, y que trata de mostrar las características y las relaciones que pueden existir entre los entes presentes en el sistema.

A menudo, el interés de la investigación de operaciones se centra en los modelos abstractos. Estos modelos, hacen uso del simbolismo matemático, para reflejar las características y relaciones de los objetos inherentes a la situación que se estudia. La principal característica de un modelo matemático es que exhibe un conjunto de relaciones matemáticas (ecuaciones,

desigualdades, etc.), que reflejan situaciones prácticas de la vida real (Williams, 2008)

La construcción de un modelo matemático tiene tres componentes:

1. La definición de lo que busca el modelo (variables del problema).
2. Las restricciones a las que debe someterse las variables, para satisfacer las limitaciones del sistema que está siendo representado.
3. La definición del objetivo/meta a alcanzar para determinar la solución óptima de entre todos los valores factibles que puede tomar las variables.

## **2.2. MODELOS DE PROGRAMACIÓN MATEMÁTICA**

Los problemas de programación matemática, u optimización, aparecen en muchas situaciones de la vida real, desde la programación de rutas de distribución, la planificación de producción, determinación de los niveles óptimos de inventario, entre otros.

Un problema de programación matemática está estructurado por un par  $(F, c)$ , donde  $F$  es el dominio de puntos factibles y  $c$  es una función de utilidad/coste. El problema radica en hallar un punto factible  $x \in F$  tal que  $\forall y \in F$  verifique,  $c(x) \leq y(x)$ . Cada punto  $x$  verificando las condiciones anteriormente descritas se denomina óptimo global del problema (Vidal, 2013)

Existen conceptos básicos relacionados a la búsqueda de la solución de estos problemas, entre los que podemos citar los siguientes:

**Espacio de búsqueda:** es el conjunto de todas las posibles soluciones de un problema.



**Objetivo:** es la instancia del modelo matemático desarrollado, que permite resolver el problema de manera óptima.

**Función objetivo:** es la ecuación que es optimizada dadas las restricciones y variables del sistema. Es la medida del rendimiento del sistema a maximizar o minimizar.

**Variables:** es una abstracción de las características del sistema y representan las decisiones que se pueden tomar en torno al problema, que hacen que el valor de la función objetivo varíe.

**Restricciones:** Representan las limitaciones del sistema, que las variables están obligados a cumplir. Son expresadas a través de ecuaciones o desigualdades.

Resolver un problema de optimización, consiste en determinar el valor que deben tomar las variables, que hacen que la función objetivo sea óptima, respetando las limitaciones o restricciones del sistema modelado.

Existen algunas clases de modelos de programación matemática, y una clasificación es estos podría ser la siguiente:

- Modelos de programación lineal
- Modelos de programación no lineal
- Modelos de programación entera

## **2.2. MODELOS DE PROGRAMACIÓN ENTERA Y SUS APLICACIONES**

Existen muchos problemas prácticos que pueden ser modelados usando variables enteras y restricciones de tipo lineal. En algunos casos se requiere

que el valor óptimo de la función objetivo sea resultado de valores enteros para todas las variables de decisión (programación entera pura). Por otro lado, existen modelos que combinan variables continuas con variables enteras. Estos modelos son conocidos como de programación entera mixta, MIP por sus siglas en inglés. (Williams, 2008)

De manera general, se busca una solución al problema:

Minimizar  $c(x)$

Sujeto a las restricciones:

$$g_i(x) \geq 0 \quad \forall i = 1, \dots, m$$

$$h_j(x) = 0 \quad \forall j = 1, \dots, l$$

$$x \in Z^n$$

Siendo  $c$ ,  $g_i$  y  $h_j$  funciones lineales (Vidal, 2013)

A continuación, se muestran diferentes tipos de problemas para los cuales se pueden construir modelos de programación entera.

### **Problemas con datos de entrada y de salida de tipo discretos**

Existen problemas donde sólo es posible producir *cantidades enteras de productos / bienes* o hacer *uso de cantidades enteras de un recurso*. Para ilustrar por qué regularmente es necesario el uso de la programación entera en estas situaciones, se considera el siguiente modelo:

Maximizar  $x_1 + x_2$

Sujeto a las restricciones

$$-2x_1 + 2x_2 \geq 1$$

$$-8x_1 + 10x_2 \leq 13$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

Si las variables representan cantidades de dos diferentes artículos a ser producidos, es importante definir si la respuesta al modelo debe ser íntegra, es decir, el resultado se refiere a productos indivisibles como autos, mesas, televisores etc. De no ser el caso, y si las variables representan productos divisibles como galones de aceite, litros de cerveza o leche, etc., la solución al problema es  $x_1 = 4$ ,  $x_2 = 4\frac{1}{2}$ .

Por otro lado, restringiendo las variables a que solo tomen valores enteros, esto fuerza a aceptar la solución entera óptima que es  $x_1 = 1$ ,  $x_2 = 2$ . Es complejo obtener una solución entera óptima a partir de una solución de tipo continuo. En el caso anterior, redondear la solución continua al valor entero más cercano produce una solución no factible. En muchas circunstancias, como en el ejemplo presentado, es necesario resolver el problema a través de un modelo de programación entera. Este problema se presenta en actividades como la planificación de la producción de una fábrica.

Otro problema particular donde se hace uso de los modelos de programación entera es el denominado problema de la mochila, el cual consiste en, dada la capacidad limitada de un almacén o bodega, mantener en existencia bienes de diferentes volúmenes, con el objetivo de maximizar, por ejemplo, el valor total de los productos en la bodega. Es un problema que ocurre en la práctica, pero por lo regular es un sub-problema que debe ser resuelto como parte de uno más grande (Williams, 2008).

### **Problemas con condiciones lógicas**

Con frecuencia, se desea imponer condiciones de tipo lógica a un problema. Por ejemplo, en los problemas de *mix de productos*, donde se requiere determinar la cantidad óptima de cada bien posible que una fábrica produce, sujeto a restricciones de capacidad, probablemente es deseable agregar una condición extra de la forma “si se produce el bien A entonces se produce el

bien B o C". Este tipo de condiciones lógicas pueden modelarse a través de modelos de programación entera (Williams, 2008)

## **Problemas combinatorios**

Los problemas combinatorios tienen la característica de tener un gran número de soluciones factibles. Este tipo de problemas pueden subdividirse en dos, por un lado, están los problemas de secuenciación y por otro los de localización.

Un ejemplo de los problemas de secuenciación es el denominado problema del vendedor viajero, donde el objetivo es encontrar el orden óptimo de visita a un conjunto de ciudades y retornar al punto de partida recorriendo la distancia mínima.

El problema de balancear una línea de ensamblaje, que consiste en asignar trabajadores a tareas en una línea de producción, para obtener un determinado nivel de producción, es considerado un problema de localización (Williams, 2008).

## **CAPÍTULO 3**

### **DESARROLLO**

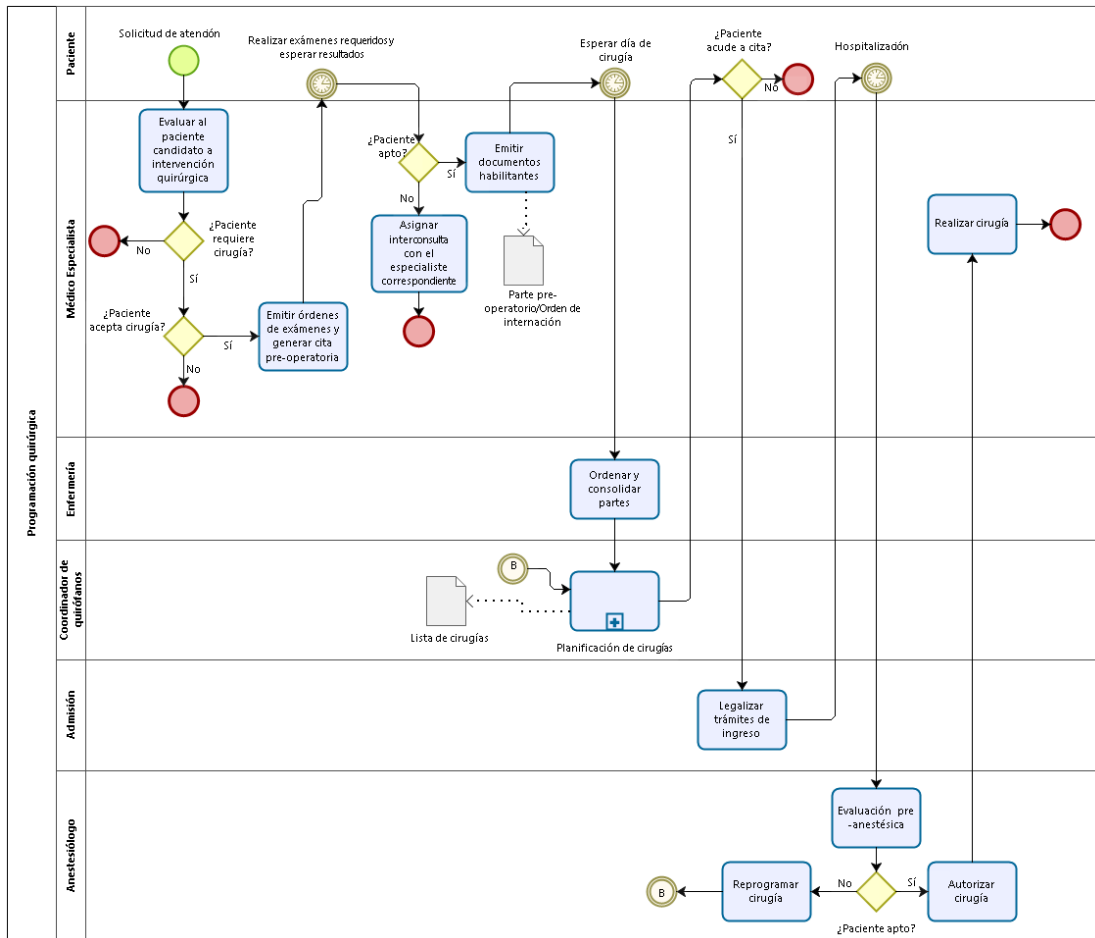
El objetivo de este capítulo es, en una primera parte, describir el proceso actual implantado en el Hospital para la programación de cirugías. Se identificarán los nudos críticos del proceso y luego se desarrollará una propuesta de mejora al mismo, que cumplirá con la normativa vigente, a la que se encuentra sometida la Institución.

Luego, aplicando la teoría de la programación lineal, se desarrollará un modelo para la asignación de pacientes a los quirófanos, que respete las condiciones particulares del Hospital, y que se ajuste al esquema propuesto. Finalmente se desarrolla una solución computacional al modelo y se realizan pruebas con datos reales del hospital.

#### **3.1. DIAGNÓSTICO INICIAL**

##### **3.1.1. PROCESO ACTUAL DE LA PROGRAMACIÓN QUIRÚRGICA**

Con la finalidad de ayudar a la comprensión del flujo de actividades, que actualmente se sigue en el Hospital para la programación de cirugías, se elabora un diagrama de procesos, que se presenta a continuación.



**Diagrama # 2: Proceso actual de programación quirúrgica del hospital**

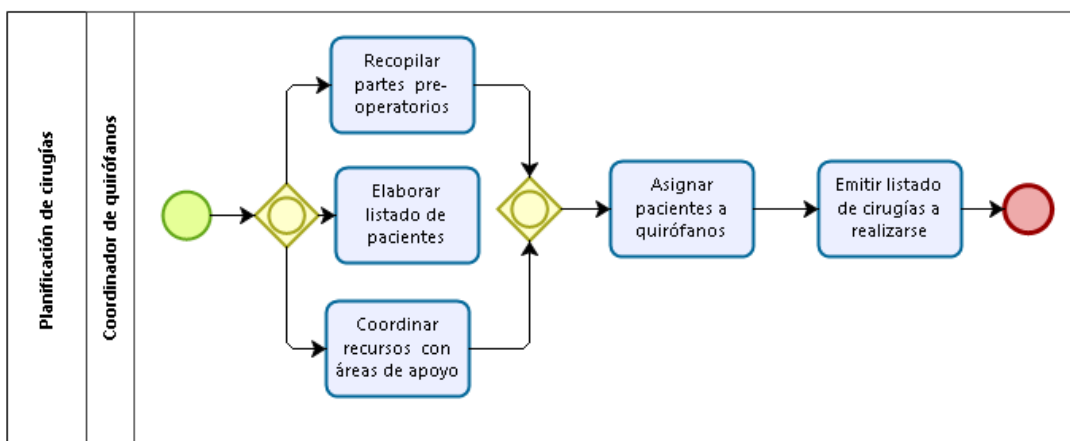
Fuente: Entrevistas realizadas al personal asistencial y administrativo del hospital  
Elaboración: Autor del proyecto

El proceso de programación quirúrgica inicia con la atención del paciente por parte del médico especialista, quien evalúa la pertinencia de intervenirlos quirúrgicamente. De ser así, el paciente decide realizarse la cirugía o no. En caso de no aceptar, el proceso termina, mientras que, si existe su aceptación, el especialista emite las ordenes de exámenes necesarios y le agenda al paciente una cita para evaluar los resultados. Los exámenes rutinarios solicitados son la evaluación cardiológica (placa de tórax y electrocardiograma) y de laboratorio como hemograma, hemoglobina, hematocrito, tiempo de coagulación, recuento de plaquetas. La fecha de la cita preoperatoria se determina en función de un registro manual que tiene el médico, donde detalla por día, los pacientes que son candidatos a cirugía.

Luego de realizarse los exámenes médicos, el paciente acude a la cita preoperatoria, donde el especialista evalúa la condición del paciente en base a los resultados obtenidos de las pruebas. Si al paciente se le detecta alguna anomalía, el médico crea una interconsulta para que sea atendido por otro especialista y así recuperar la condición física del paciente. De no encontrarse alguna novedad en los exámenes, el especialista tratante emite el parte preoperatorio donde se detalla información referente al paciente y la cirugía a realizar, y además entrega al paciente la orden de internación, que es presentado el día de su ingreso al hospital (un día antes de la cirugía). Es importante indicar que el especialista asigna el día de la operación, misma que es informada al paciente.

Diariamente, las enfermeras ordenan los partes en función de las fechas que se realizarán las cirugías asignadas por el especialista, y los consolidan en una carpeta física.

En este punto, inicia el subproceso de planificación de cirugías. El siguiente diagrama muestra las actividades relacionadas al mismo, que son ejecutadas por el coordinador de quirófanos.



**Diagrama # 3: Subproceso actual de planificación de cirugías**

*Fuente: Entrevistas realizadas al personal asistencial y administrativo del hospital  
Elaboración: Autor del proyecto*

Previo a la tarea de asignación de pacientes el médico coordinador realiza las siguientes actividades:

**Recopilar partes preoperatorios:** El coordinador acude con cada especialista y solicita los partes quirúrgicos que ha emitido. Según lo descrito, en un informe interno del hospital, esta es la actividad que más tiempo le toma al coordinador. A diario invierte al menos una hora en obtener los partes preoperatorios.

**Elaborar listado de pacientes:** Con los partes en su poder, el coordinador procede a ingresar la información de los partes a una hoja electrónica. En el mismo informe mencionado en la descripción de la actividad anterior, se indica que esta tarea le toma al coordinador alrededor de media hora diariamente.

**Coordinar recursos con áreas de apoyo:** Existen cirugías que requieren algún recurso en particular, por lo que se coordina con las diferentes áreas de apoyo (farmacia o insumos médicos) la disponibilidad de este recurso.

Realizadas estas actividades, usando la base de datos diseñada a partir de los partes preoperatorios, se procede a asignar los pacientes a los diferentes quirófanos. Para determinar en qué quirófano será intervenido el paciente, el coordinador toma en consideración aspectos como, el horario del médico, la duración de la cirugía y la disponibilidad de los quirófanos. Realizada la asignación, se emite un listado con los pacientes a operarse y el quirófano asignado, y es comunicado a las áreas asistencial, de enfermería, farmacia, dispositivos médicos, y admisiones, terminando así el subproceso de planificación de cirugías.

El proceso de programación quirúrgica continúa con el ingreso del paciente al hospital. El paciente se acerca al área de Admisiones para registrar su información. El personal de Admisiones emite una carpeta física con la historia clínica del paciente, e imprime y le coloca un brazalete para su identificación. El



personal de admisiones previamente debe gestionar una cama para el paciente.

El paciente es guiado al área asignada, donde permanece hospitalizado al menos un día hasta la hora de la cirugía.

El día de la intervención, un médico anesthesiólogo, examina a los pacientes para determinar si existe alguna complicación antes de ingresar al quirófano. Dado que los pacientes son de tipo pediátrico, el anesthesiólogo evalúa si el paciente ha sido afectado por algún agente viral como la gripe, o si ha incumplido la dieta estricta al que se somete previa a la cirugía. Si encuentra alguna novedad, el paciente no es intervenido, de ser necesario, se le asigna una cita con el médico pediatra, y luego de su recuperación, se le asigna una cita con el médico especialista tratante para la reprogramación de la cirugía. Por otro lado, de encontrarse al paciente en condiciones aptas para la intervención, se procede a la realización de la cirugía. Con esta última actividad culmina el proceso.

### **3.1.2. DETECCIÓN DE NUDOS CRÍTICOS**

Previo a la elaboración de la propuesta de mejora al proceso que se sigue para la planificación de cirugías en el hospital, se realiza un análisis de cada actividad, y se identifica las fallas o errores que causan la forma en que éstas se ejecutan. Para este análisis, se realizaron reuniones de trabajo con el personal tanto administrativo como asistencial.

La siguiente tabla muestra, las actividades que potencialmente causan problemas al proceso, y los efectos que estos problemas generan.

**Tabla 1: Tabla de actividades del proceso de programación quirúrgica, posibles fallas y efectos que generan**

<b>Actividad</b>	<b>Posible Falla</b>	<b>Efecto</b>
Emitir órdenes de exámenes y generar cita preoperatoria	Para la generación de la cita preoperatoria, el especialista tiene un registro manual por día, de los pacientes potenciales a recibir una cirugía.	Al no existir un mecanismo de seguimiento y control automático, que permita a las autoridades del hospital conocer el número total de pacientes que requieren una cirugía, se vuelve una tarea ardua elaborar estrategias para la pronta atención de los pacientes, en caso de ser necesario.
Emitir documentos habilitantes	Se emite el parte preoperatorio de manera física.	Retardo en la entrega de los partes al coordinador de cirugías, para la asignación de pacientes a los quirófanos.
Ordenar y consolidar partes médicos	Recopilación y consolidación diaria de partes pre-quirúrgicos físicos.	Pérdida o manipulación de los partes quirúrgicos.
Planificación de cirugías	De manera diaria, el Coordinador de cirugías, manualmente asigna pacientes a los diferentes quirófanos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Errores al momento de la asignación de pacientes a los quirófanos, al no considerar la disponibilidad del personal asistencial.</li> <li>- Suspensión de cirugías, por un nivel bajo de respuesta, para gestionar recursos necesarios en la realización cirugías (camas, medicamentos, dispositivos médicos).</li> <li>- Retrasos en la entrega de información para la gestión administrativa referente al ingreso del paciente.</li> <li>- Inversión del tiempo del personal asistencial en actividades administrativas.</li> </ul>
Evaluación pre-anestésica	Evaluación del paciente el mismo día de la cirugía	Uso poco eficiente del recurso hospitalario durante la hospitalización de un paciente, que no

		debió ingresar por la presencia de alguna complicación en su salud.
--	--	---

*Fuente: Entrevistas realizadas al personal asistencial y administrativo del hospital  
Elaboración: Autor del proyecto*

## **3.2. PROPUESTA DE MEJORA AL PROCESO DE PLANIFICACIÓN DE CIRUGÍAS**

En base al diagnóstico inicial del proceso y los potenciales problemas que se generan en el esquema actual, se propone algunas mejoras que son detalladas a continuación.

### **3.2.1. REGISTRAR EN UNA BASE DE DATOS LOS PARTES PRE-QUIRÚRGICOS**

Una de las mejoras que se propone es que, al momento que el especialista determina la necesidad de intervenir a un paciente, se genere un registro informático que sea guardado en una base de datos, y que contenga toda la información del parte pre-quirúrgico. En una primera instancia, el estado de este registro debe ser “en espera”, hasta que el especialista determine que el paciente está apto para intervenirlo, en cuyo caso el estado del parte cambiaría a “idóneo”.

### **3.2.2. EMITIR PARTE PRE-QUIRÚRGICO ELECTRÓNICAMENTE**

Evaluados los resultados de los exámenes, el médico cambia el estado del registro electrónico del parte pre-quirúrgico a “idóneo”, indicando que un paciente está listo para ser considerado en la programación de quirófanos, con lo que el responsable de la asignación de pacientes no necesita esperar la entrega física del parte. Además, se evita el trabajo operativo de recopilar los

partes, con los riesgos que esta actividad implica (pérdida o manipulación de partes).

### **3.2.3. DEFINIR UN NUEVO RESPONSABLE PARA LA PLANIFICACIÓN DE CIRUGÍAS**

De acuerdo con el Estatuto Orgánico de Gestión Organizacional por Procesos de los Hospitales del Ministerio de Salud Pública del Ecuador, en su capítulo 4, sección 4.2. literal u, se indica que el área de Admisiones, en coordinación con el centro quirúrgico, es el responsable de la programación quirúrgica (Ministerio de Salud Pública, 2012). En cumplimiento a esta normativa, se propone al área de Admisiones como responsable de la asignación de pacientes a los quirófanos del hospital. Labor que la realizaría en coordinación con el médico coordinador de quirófanos.

### **3.2.4. MODIFICAR EL ESQUEMA DE PLANIFICACIÓN DIARIO A UNO SEMANAL**

Se propone cambiar el esquema diario de planificación de cirugías a un esquema semanal, es decir, el responsable de la programación debe emitir la lista de pacientes a operarse toda una semana. Esta lista se emite en un día específico de la semana que antecede a la programación elaborada. Para esto se introduce el concepto de lista de espera quirúrgica (LEQ). La LEQ va estar conformada por aquellos pacientes que se encuentran “idóneos” para recibir una intervención, y será el insumo para la tarea de asignar pacientes a los quirófanos.

### **3.2.5. DISEÑAR UN ESQUEMA SEMANAL DE ASIGNACIÓN DE PACIENTES A QUIRÓFANOS**

Bajo el esquema propuesto, se dificulta la asignación de pacientes de manera manual, considerando que la LEQ aproximadamente contará con alrededor de de 100 pacientes para asignarlos durante una semana, esto de acuerdo con el registro histórico de cirugías del hospital. Es aquí donde se propone el desarrollo de un modelo basado en la programación matemática, que permita asignar pacientes a los distintos quirófanos del hospital. Se dará más detalle del modelo en la sección 3.4.

### **3.2.6. PROPUESTA DE CREACIÓN DE UN COMITÉ QUIRÚRGICO**

Con el objetivo de reducir el riesgo de no realizar cirugías por falta de algún recurso hospitalario, se propone la creación de un comité quirúrgico, integrado por los líderes de las siguientes áreas:

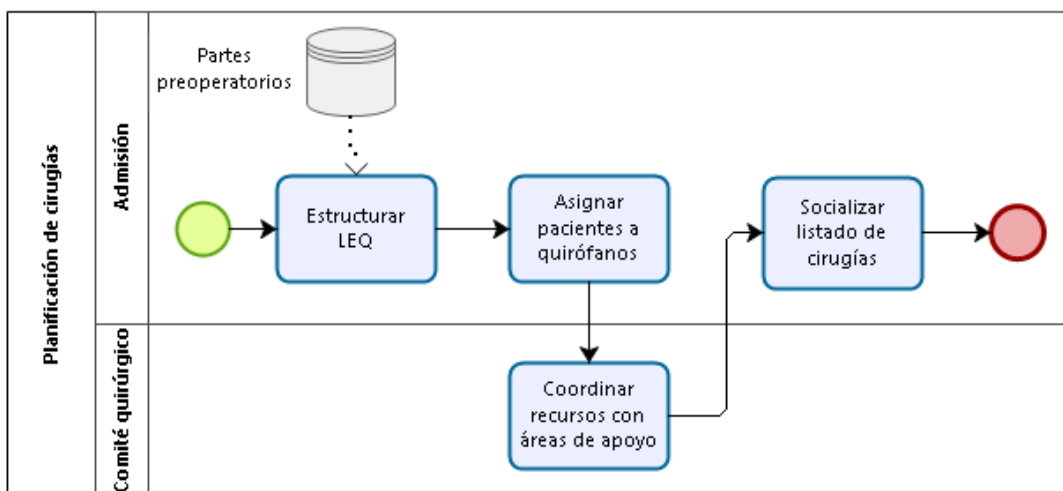
- Área asistencial quirúrgica
- Dispositivos médicos
- Farmacia
- Enfermería
- Anestesiología
- Admisiones
- Gestión de atención al usuario

Más que una instancia de aprobación, la función de este comité será de coordinar los requerimientos necesarios para la programación de cirugías. Cada área será responsable de las actividades de acuerdo con su ámbito de competencia. Previa a la reunión del comité, el jueves de cada semana, admisiones realizará la planificación de cirugías, misma que será socializada

después del comité. Esta instancia, es mencionada por Ministerio de Sanidad y Política Social del Gobierno de España, en los estándares y recomendaciones del Bloque Quirúrgico en hospitales (Colomer et al., 2009).

Es de señalar que, a diferencia del esquema actual de cirugías, el paciente no tendrá conocimiento de la fecha exacta de su cirugía, por lo que, el área de Gestión al usuario, se le asignará la función de localizar a los pacientes, vía llamada telefónica, tres días antes de la intervención

El diagrama mostrado a continuación, muestra el proceso de planificación de cirugías propuesto, que incluye las mejoras descritas en los puntos anteriores.



**Diagrama # 4: Proceso propuesto para la planificación de cirugías del hospital**

*Fuente: Entrevistas realizadas al personal asistencial y administrativo del hospital  
Elaboración: Autor del proyecto*

### **3.3. INCORPORACIÓN DE NUEVOS INDICADORES PARA EL PROCESO PROPUESTO**

Al momento el hospital cuenta con un sistema de indicadores, pero la propuesta diseñada, permitiría la incorporación de algunas métricas que se detallan a continuación:

- Número de pacientes en espera de ingresar a la lista de espera quirúrgica
- Porcentaje de cirugías suspendidas por falta de recurso hospitalario
- Porcentaje de utilización de los quirófanos

### 3.3.1. FICHAS DE INDICADORES

Para cada indicador propuesto se elabora una ficha, que detalla el nombre del indicador, el objetivo que busca, una breve descripción, la periodicidad de medición, la manera de calcular el indicador, y la meta a alcanzar.

*Tabla 2: Ficha del indicador Porcentaje de pacientes en espera de ingresar a la LEQ*

<b>Proceso</b>	Programación de cirugías
<b>Nombre del indicador</b>	Porcentaje de Pacientes en espera de ingresar a la LEQ
<b>Objetivo</b>	Mejorar los tiempos de atención a pacientes en espera a ser intervenidos
<b>Descripción</b>	Mide el porcentaje de pacientes que se encuentran a la espera de ser programados para una cirugía
<b>Frecuencia de medición</b>	Semanal
<b>Forma de cálculo</b>	(Total de pacientes que se encuentran en estado "en espera" en la base de partes operatorios / el total de pacientes ingresados a la base de partes operatorios) x 100
<b>Meta</b>	< 20%

*Fuente: Entrevistas realizadas al personal asistencial y administrativo del hospital  
Elaboración: Autor del proyecto*

*Tabla 3: Ficha del indicador Porcentaje de cirugías suspendidas por falta de recurso hospitalario*

<b>Proceso</b>	Programación de cirugías
<b>Nombre del indicador</b>	Porcentaje de cirugías suspendidas por falta de recurso hospitalario
<b>Objetivo</b>	Reducir el número de cirugías suspendidas por falta de recursos hospitalarios como camas, medicina o dispositivos médicos

<b>Descripción</b>	Mide la proporción de cirugías programadas y que fueron suspendidas por falta de algún recurso hospitalario para su realización
<b>Frecuencia de medición</b>	Semanal
<b>Forma de cálculo</b>	(Total de cirugías suspendidas por falta de camas, medicina o algún dispositivo médico / Total de pacientes programados)
<b>Meta</b>	$\leq 5\%$

*Fuente: Entrevistas realizadas al personal asistencial y administrativo del hospital  
Elaboración: Autor del proyecto*

**Tabla 4: Porcentaje de utilización de los quirófanos**

<b>Proceso</b>	Programación de cirugías
<b>Nombre del indicador</b>	Porcentaje de utilización de los quirófanos
<b>Objetivo</b>	Medir la eficiencia del uso de quirófanos
<b>Descripción</b>	Mide el porcentaje de tiempo de uso de los quirófanos
<b>Frecuencia de medición</b>	Semanal
<b>Forma de cálculo</b>	(Total de minutos de duración de las cirugías / total de minutos disponibles de los quirófanos) x 100
<b>Meta</b>	$\geq 80\%$

*Fuente: Entrevistas realizadas al personal asistencial y administrativo del hospital  
Elaboración: Autor del proyecto*

### **3.4. CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA ASIGNACIÓN DE PACIENTES A LOS QUIRÓFANOS DEL HOSPITAL**

En esta sección se muestra el desarrollo de un modelo matemático para la asignación de pacientes a los quirófanos. Para esto se sigue un esquema donde en una primera instancia se analiza el problema y los parámetros que constituyen el insumo para el modelo a desarrollar. Luego se procede a la construcción del modelo, mismo que guarda relación con las condiciones y restricciones propias del problema. Se continúa con el desarrollo de una



solución computacional al modelo planteado, para lo cual se hará uso de un software para el modelado de sistemas para la optimización matemática. Al final, se utiliza los datos disponibles del hospital, para la validación del modelo, y se analizará los resultados obtenidos.

### **3.4.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

La asignación de pacientes a quirófanos en el hospital está sujeta a varias situaciones, que se detallan a continuación:

- Lista de espera quirúrgica LEQ: el insumo principal para el proceso de asignación de pacientes a los quirófanos es la LEQ, que la integran las personas que se encuentran aptas para ser intervenidas quirúrgicamente.
- Tipos de cirugías: el tipo de cirugías que se considera son planificadas, es decir existe un proceso previo de preparación antes que el paciente ingrese a la lista de espera quirúrgica, por tanto, las cirugías de emergencia no entran en este esquema.
- Disponibilidad horaria de los médicos: al momento de asignar pacientes a quirófanos, se debe tomar en cuenta, el horario que cada especialista del área quirúrgica dedica a actividades de cirugía.
- Médico asignado a cada paciente: en el caso particular del hospital, y debido al tipo del paciente (pediátrico), se debe respetar que el especialista tratante del paciente, que es el mismo que emite el parte operatorio, es quien realiza la cirugía.
- Paciente relacionado a una cirugía: al igual que un paciente tiene asignado previamente un médico, existe una cirugía relacionada al paciente, por tanto, el médico que está asociado a un paciente está capacitado para realizar la intervención.
- Duración de las cirugías y disponibilidad de quirófanos: el tiempo de duración de una cirugía depende de su complejidad, algunas

intervenciones tienen un tiempo de duración mucho más alto que otras. Por otro lado, existe una restricción en cuanto a la disponibilidad de quirófanos, por tanto, el modelo debe ser capaz de representar esta relación, de manera que las intervenciones escogidas deben atenerse a la disponibilidad de salas quirúrgicas.

- Número de pacientes: es importante analizar el comportamiento del modelo desarrollado, a medida que existe modificaciones en el número de pacientes a programar.

Con lo dicho anteriormente, el problema consiste, en determinar, el día y el quirófano, al que un paciente es asignado para que su médico especialista realice la intervención.

En esta instancia, es válido preguntarse, ¿cuál es la medida u objetivo a conseguir para determinar la solución al problema planteado?

Para dar respuesta a esta interrogante, se hace referencia a una solución diseñada en una tesis de un estudiante de la Universidad de Chile, donde su autor plantea como una medida del rendimiento a este tipo de problemas, el respeto a la prioridad del paciente (Wolff, 2011). En este trabajo se indica que, al establecer un nivel de prioridad a cada paciente como parámetro del problema, el modelo debe respetar esta prioridad al momento de realizar la asignación. Dada la importancia de este parámetro para la resolución del problema, los detalles de cómo se establece esta prioridad, para el caso del hospital al que hace referencia este proyecto, se muestran en la siguiente sección.

### **3.4.1.1. PRIORIZACIÓN DE PACIENTES**

En el documento de la Universidad de Chile citado anteriormente (Wolff, 2011), su autor hace referencia a un estudio de la Universidad de Génova y el Hospital

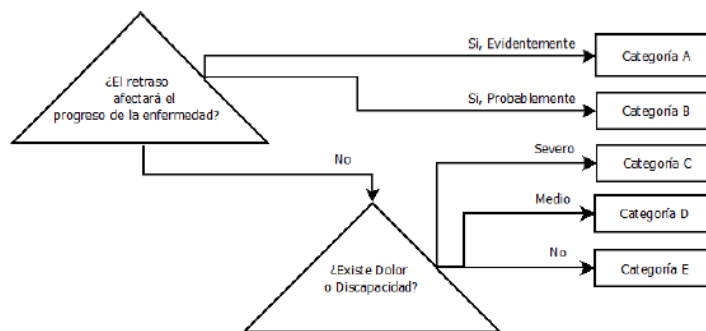
Villa Scassi de esta ciudad (Italia). Aquí, se propone el diseño 5 categorías de urgencias, y a cada una de ellas asocian un tiempo de espera máximo recomendado, mismas que son presentadas en la siguiente tabla:

**Tabla 5: Clasificación de categorías**

Categorías	Tiempo de espera recomendado
A	1 semana
B	1 mes
C	3 meses
D	6 meses
E	1 año

Fuente: Tesis "Modelos de Programación Matemática para asignación de pabellones quirúrgicos en hospitales Públicos"  
Elaboración: Autor del proyecto

La decisión de determinar la categoría a la que pertenece un paciente se base en tres criterios: el avance de la enfermedad, el dolor y el nivel de discapacidad causado. El siguiente diagrama muestra cómo los médicos toman esta decisión:



**Diagrama # 5: Proceso de categorización de pacientes**

Fuente: Tesis "Modelos de Programación Matemática para asignación de pabellones quirúrgicos en hospitales Públicos"  
Elaboración: Autor de la Tesis "Modelos de Programación Matemática para asignación de pabellones quirúrgicos en hospitales Públicos"

Como bien acota el autor de la tesis referida, este método permite una clasificación de los pacientes por diferentes categorías, mientras que el parámetro de la prioridad a utilizar por el modelo a diseñar se refiere a la posición relativa que ocupa un paciente en la LEQ.

Para este trabajo, la forma de determinar la prioridad del paciente dentro de la lista de espera quirúrgica se basa en dos criterios, los cuales fueron discutidos por los líderes del personal asistencial del área quirúrgica, y son los siguientes: la edad del paciente y el riesgo de deterioro de la calidad de vida del paciente asociado al tiempo de espera por la realización de la intervención.

La edad, por el tipo de pacientes que son atendidos en el hospital, es un factor clave en la priorización. A menor edad, mayor nivel de prioridad. La siguiente tabla muestra una posible valoración de la prioridad del paciente en función de su edad.

*Tabla 6: Valoración de la edad del paciente*

Edad del paciente	Valoración
Menores a 1 año	10
Mayores a 1 año y menores a 5 años	Entre 9 y 7
Mayores a 5 años y menores a 10 años	Entre 6 y 4
Mayores a 10 años	Entre 3 y 1

*Fuente: Líderes asistenciales del hospital  
Elaboración: Autor del proyecto*

Otro criterio es el riesgo que puede sufrir la calidad de vida del paciente por esperar la realización de la cirugía. A menor riesgo, menos nivel de prioridad.

Dado estos criterios, la prioridad  $Pri$  de un paciente  $p$  se la define de la siguiente manera:

$$(3.1) \quad Pri_p = f_{Edad} * Edad_p + f_{Riesgo} * Riesgo_p$$

donde  $f_{Edad} \in (0,1)$  y  $f_{Riesgo} = 1 - f_{Edad}$  representan factores asociados a cada criterio. Los valores de  $Edad_p$  y  $Riesgo_p$  representan la valoración de

los criterios de edad del paciente y riesgo que sufre la calidad de vida del paciente por esperar la realización de la cirugía.

En base a la experiencia del personal asistencial, se define que el factor de edad tiene un peso de 0,70, por consiguiente, el factor asociado al riesgo es 0,30.

Para la valoración de ambos criterios se definió una escala del 1 al 10 donde 1 representa el menor nivel de prioridad y 10 el mayor. Según el criterio médico, a menor edad del paciente el nivel de prioridad debe ser mayor. Por otra parte, a mayor riesgo de deterioro de la calidad de vida del paciente por esperar la realización de la cirugía, mayor nivel de prioridad.

**Tabla 7: Criterios y su nivel de prioridad**

Factor 0,70		Factor 0,30	
Edad del paciente	Nivel de prioridad	Riesgo de deterioro de la calidad de vida del paciente por esperar la realización de la cirugía	Nivel de prioridad
Más edad	1	Menor riesgo	1
	2		2
	3		3
	4		4
	5		5
	6		6
	7		7
	8		8
	9		9
Menos edad	10	Mayor riesgo	10

*Fuente: Líderes asistenciales de hospital  
Elaboración: Autor del proyecto*

La tabla anterior, muestra los valores que pueden tomar los criterios para determinar el nivel de prioridad de un paciente.

### **3.4.2. DISEÑO DEL MODELO DE PROGRAMACIÓN MATEMÁTICA**

Previo a la formulación del modelo, se presenta un conjunto de consideraciones, inherentes al problema.

- Un paciente solo puede ser asignado a un solo día del periodo de planificación, es decir, no es correcto que un paciente aparezca programado dos días en una misma semana.
- Un paciente es asignado a un solo quirófano. En un mismo día, un paciente no puede estar asignado a dos quirófanos.
- A cada paciente se le asocia un nivel de prioridad, el cual debe ser respetado. Sin embargo, un paciente con alta prioridad no podría ser seleccionado por el tiempo de duración de la cirugía, recordando que existe una limitante de tiempo por quirófano y del médico.
- No existen quirófanos especializados. Es decir, cada quirófano está equipado para resolver cualquier tipo de cirugías.
- Cada quirófano está disponible de lunes a viernes durante 7 horas al día para cirugías programadas.
- Dado el limitado número de especialistas pediátricos, el médico que trata de un paciente es el mismo que le realiza la cirugía, por tanto, el médico está capacitado para resolver el problema de salud asociado al paciente.
- La norma general es, que el equipo de cirugía lo conforma el médico especialista, el médico anestesiólogo y el personal de enfermería. Excepcionalmente ingresa un segundo especialista como apoyo al médico principal.
- Un médico puede realizar varias cirugías al día y en la semana, dependiendo de su disponibilidad para actividades quirúrgicas.

- Toda cirugía tiene asociada un tiempo de duración. En éste se encuentra incluido los tiempos de preparación y limpieza de los quirófanos.

La perspectiva utilizada para resolver el problema presentado es utilizar un modelo de programación entera, dado el tipo de la variable de decisión que se plantea.

A continuación, se define el problema formalmente, desde el punto de vista de la programación matemática.

Primero se precisa los índices utilizados por el modelo:

$p$ : pacientes

$med$ : médico

$d$ : día

$q$ : quirófano

Luego se detallan los parámetros de entrada del modelo:

$Cupo_{med}^d$ : disponibilidad del médico  $med$  el día  $d$  expresada en minutos

$$PacMed_p^{med} = \begin{cases} 1, & \text{si el médico } med \text{ está asociado al paciente } p \\ 0, & \text{sino} \end{cases}$$

$Pri_p$ : Nivel de prioridad asignado al paciente  $p$

$DurCir_p$ : Duración de la cirugía en minutos asociada al paciente  $p$

$Disp_{d,q}$ : Disponibilidad en minutos del quirófano  $q$  en el día  $d$

La variable de decisión se define de la siguiente manera:

$$x_p^{med,d,q} := \begin{cases} 1, & \text{si el paciente } p \text{ asociado al médico } med \text{ es} \\ & \text{asignado el día } d \text{ al quirófano } q \\ 0, & \text{sino} \end{cases}$$

A continuación, se presenta las restricciones del modelo

### **Restricción respecto al horario del médico**

La siguiente restricción se refiere a que no se programe una cirugía cuando el horario del médico no lo permite.

$$(3.2) \quad \sum_{p,q} DurCir_p * x_p^{med,d,q} \leq Cupo_{med}^d \quad \forall med, d$$

### **Restricción referente a asignar un paciente a un día a la semana**

Con esta restricción, se limita a que el paciente sea programado sólo en un día del horizonte de planificación

$$(3.3) \quad \sum_{med,d,q} x_p^{med,d,q} \leq 1 \quad \forall p$$

### **Restricción del total de operaciones por día**

Con esta restricción, se limita a que el total de operaciones asignadas a cada día no sobrepase el tiempo disponible por quirófano.

$$(3.4) \quad \sum_{p,med} DurCir_p * x_p^{med,d,q} \leq Disp_{d,q} \quad \forall d, q$$



### **Restricción de un médico asociado a un paciente**

Con esta restricción se asegura, que el paciente tenga asociado el mismo especialista que lo ha tratado.

$$(3.5) \quad \sum_{d,q} x_p^{med,d,q} \leq PacMed_p^{med} \quad \forall p, med$$

A continuación, se muestra la naturaleza de la variable:

$$(3.6) \quad x_p^{med,d,q} \in \{0,1\}, \quad \forall p, med, d, q$$

### **Objetivo**

La función objetivo se plantea de manera que se cumpla la elección del paciente con un mayor nivel de prioridad

$$(3.7) \quad \text{Maximizar} \quad \sum_{p,med,d,q} Pri_p * x_p^{med,d,q}$$

#### **3.4.2.1. VARIANTE DEL MODELO PLANTEADO**

Una de las consideraciones que se tomaron en cuenta para la formulación del modelo, es que no existen quirófanos especializados, es decir todos los quirófanos tienen la capacidad resolutoria para cualquier tipo de intervención quirúrgica. Sin embargo, de acuerdo con lo expresado por el médico coordinador de quirófanos, pueden existir casos, donde un quirófano es destinado para uso de una especialidad en particular.

Dado esta situación se plantea una variante al modelo, donde se incorpora un nuevo parámetro que relaciona un paciente a un quirófano:

$$PacQui_p^q = \begin{cases} 1, & \text{si el paciente } p \text{ puede ser intervenido en el quirófano } q \\ 0, & \text{sino} \end{cases}$$

Adicionalmente, se plantea una restricción que fuerce al modelo a cumplir la relación paciente-quirófano:

$$(3.7) \quad \sum_{med,d} x_p^{med,d,q} \leq PacQui_p^q \quad \forall p, q$$

### **3.4.3. SOLUCIÓN AL MODELO DE ASIGNACIÓN DE PACIENTES**

En esta sección se desarrolla una solución para el modelo planteado. En una primera instancia, se detalla los valores de los parámetros a utilizar. Luego se procede a escribir un código utilizando el software de modelización GAMS, mismo que ejecutará utilizando un solver gratuito, que se encuentra en la web y cuya dirección es:

<https://neos-server.org/neos/>

#### **3.4.3.1. PARÁMETROS DE ENTRADA DEL MODELO**

##### **Número de pacientes**

El modelo planteado se desarrolló con la finalidad de que su desempeño sea adecuado ante situaciones reales. De manera diaria, en promedio se llegan a programar 20 pacientes. Para evaluar el funcionamiento del modelo se crea escenarios de 100, 125 y 150 pacientes para ser programados semanalmente.

##### **Disponibilidad de médicos**

La jefatura asistencial facilitó el horario de los médicos de las distintas especialidades quirúrgicas. Este horario detalla el tiempo que invierte un médico en el servicio de consulta externa, visita a pacientes en hospitalización, y el tiempo dedicado a la realización de cirugías. Esta última información permite la construcción de la siguiente matriz que muestra el tiempo en minutos por día, que cada médico tiene asignado para actividades quirúrgicas.

*Tabla 8: Disponibilidad diaria de los médicos, para realización de cirugías (minutos)*

<b>Especialidad</b>	<b>Médico</b>	<b>Lunes</b>	<b>Martes</b>	<b>Miércoles</b>	<b>Jueves</b>	<b>Viernes</b>
Cardiología	Médico1		180	180	180	
Cirugía General	Médico2	90	90	90	90	90
Cirugía General	Médico3			90	90	
Cirugía General	Médico4	120	120			
Cirugía General	Médico5			120	120	
Cirugía General	Médico6		90			90
Cirugía General	Médico7		90		90	
Cirugía General	Médico8			240	240	
Cirugía General	Médico9		120		120	
Cirugía General	Médico10			150		150
Cirugía General	Médico11	120		120		
Cirugía Plástica	Médico12		90			90
Cirugía Plástica	Médico13	90			90	
Gastroenterología	Médico14				90	
Neurocirugía	Médico15	180	180	180	180	180
Neurocirugía	Médico16	180	180	180	180	180
Oftalmología	Médico17		90		90	
Oftalmología	Médico18	120		120		
Oncología	Médico19		90			90
Otorrinolaringología	Médico20	150			150	
Otorrinolaringología	Médico21		150			150
Otorrinolaringología	Médico22		90		90	
Traumatología	Médico23			180		180
Traumatología	Médico24	180	180			
Traumatología	Médico25		180			180
Traumatología	Médico26	180			180	
Urología	Médico27			150		150

*Fuente: Base de datos del Hospital  
Elaboración: Autor del proyecto*

## **Médico asociado al paciente**

Como se mencionó anteriormente, dado que la población objetivo del hospital son los pacientes pediátricos, de antemano se define que el mismo médico que trata al paciente, es quien realiza la cirugía. Esta particularidad surge del limitado personal médico pediátrico en las distintas especialidades.

La siguiente tabla muestra la representación de la relación entre paciente / médico. Para efectos ilustrativos sólo se mostrará la información de 5 pacientes asociados a un médico, y que será utilizada para la solución del modelo.

*Tabla 9: Relación paciente – médico*

Paciente	Médico3	Médico27	Médico7	Médico12
p1	1	0	0	0
p2	0	1	0	0
p3	0	0	1	0
P9	0	0	0	1
P10	0	0	0	1

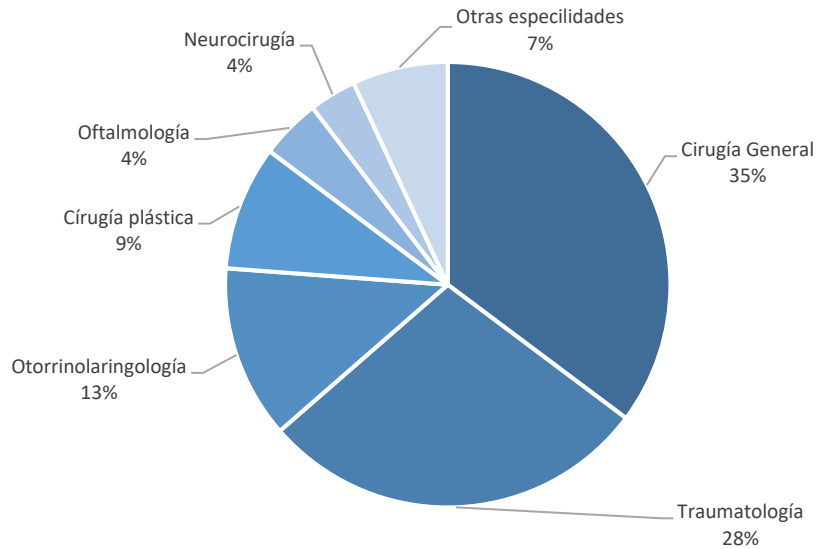
*Fuente: Base de datos del hospital  
Elaboración: Autor del proyecto*

Se puede observar que, en un periodo de planeación, un paciente tiene asociado un único médico, pero un médico puede tener asociado varios pacientes.

## **Disponibilidad de quirófanos**

El hospital cuenta con cuatro quirófanos. Cada uno se encuentra a disposición 7 horas por día para cirugías planificadas. No existen quirófanos especializados, cada uno tiene la capacidad de brindar servicio a cualquier especialidad. Sin embargo, para la variante del modelo planteado, se define un parámetro, que detalla el quirófano en el que un paciente puede ser operado.

Para la variante del modelo se considera el siguiente resultado, obtenido luego de analizar la base de datos de cirugía del hospital.



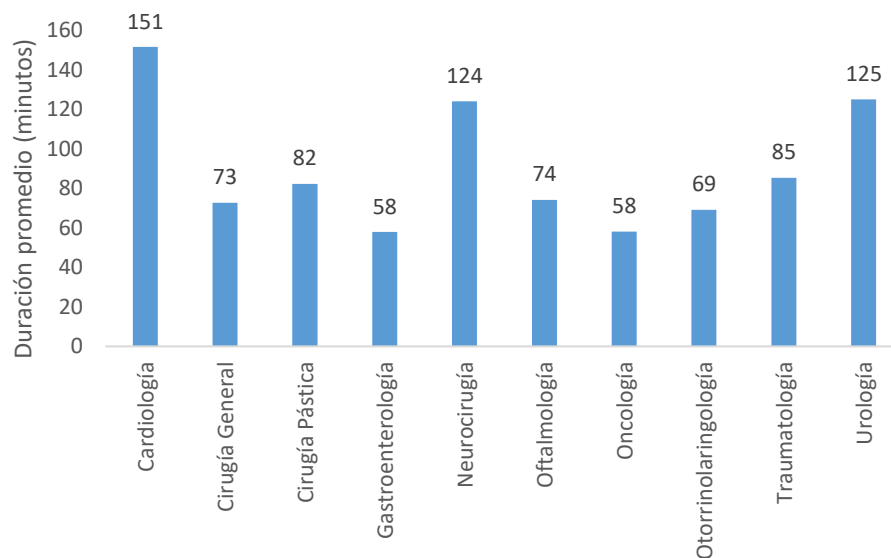
**Gráfico # 2: Porcentaje de cirugías por especialidad**

*Fuente: Base de datos del hospital  
Elaboración: Autor del proyecto*

En el gráfico anterior se puede observar que la mayor parte de cirugías realizadas en el hospital, pertenecen a las especialidades de Cirugía General y Traumatología. Si se observa el personal médico con el que cuenta el hospital (Tabla 6), hay menos médicos traumatólogos, que cirujanos generales, aun teniendo demandas similares. Dado esto, el diseño de los escenarios para la variante del modelo contempla que todos los pacientes de Traumatología son intervenidos en el quirófano 4, y los pacientes de las demás especialidades serán asignados entre los quirófanos 1, 2 y 3.

### **Duración de las cirugías**

El tiempo de duración de las cirugías varía, en función del grado de complejidad de las mismas. En base a la información de las cirugías realizadas en el hospital durante el año 2016, se realiza el siguiente análisis.



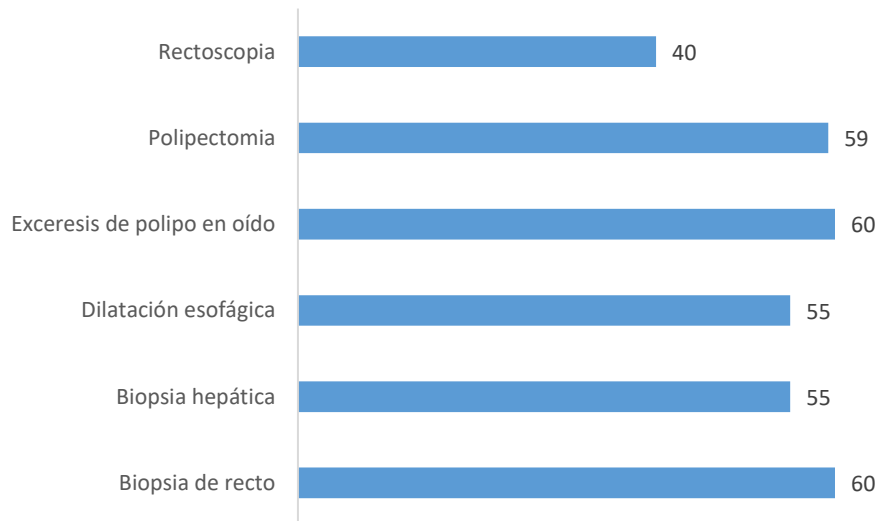
**Gráfico # 3: Duración promedio (en minutos) de intervenciones quirúrgicas por especialidad**

*Fuente: Base de datos del hospital*

*Elaboración: Autor del proyecto*

A través del gráfico anterior se puede observar, que las cirugías en las especialidades de Cardiología, Neurocirugía, y Urología, en promedio tienen una duración mayor a dos horas. Es importante indicar que en estos tiempos están incluidos los tiempos de limpieza de los quirófanos.

El hospital en sus registros emplea una denominación estándar para cada intervención quirúrgica, lo que permite, en base al histórico, definir una “Cartera de procedimientos quirúrgicos”, a la que se le asocia un tiempo de duración, que es el promedio de todas las intervenciones realizadas de cada tipo de cirugía. Un ejemplo de la cartera de procedimientos quirúrgicos se muestra a continuación.



**Gráfico # 4 Cartera de servicios de la especialidad de Gastroenterología y duración promedio en minutos**

*Fuente: Base de datos del hospital  
Elaboración: Autor del proyecto*

El gráfico anterior muestra las diferentes cirugías realizadas por la especialidad de Gastroenterología, y la duración promedio expresada en minutos, en base a datos históricos del hospital del año 2016.

### **3.4.3.2. SOLUCIÓN DEL MODELO EN GAMS**

Para el desarrollo del código, se hace uso del software para modelamiento GAMS. El detalle del código se encuentra en el anexo de este documento. Por limitaciones de licenciamiento, el código elaborado se lo ejecuta a través del servidor web de acceso libre NEOS.

### **3.4.4. RESULTADOS OBTENIDOS**

Para resolver el modelo propuesto se hace uso del solver CPLEX, que con frecuencia es utilizado para solucionar problemas de programación matemática entera.

Tanto el modelo propuesto como su variante se someten a tres escenarios, que varían por el número de pacientes a programar (100, 120 y 150). Para la variante del modelo, el parámetro que guarda la relación entre el paciente y el quirófano asignado fue configurado de manera que los pacientes de la especialidad de Traumatología sean asignados al quirófano 4. Los demás parámetros son similares para todos los escenarios.

### **3.4.4.1. TIEMPO QUE LE TOMA AL MODELO ENCONTRAR LA SOLUCIÓN**

Un primer aspecto que analizar es el tiempo que toma encontrar una solución al problema. La siguiente tabla muestra este tiempo en segundos para cada escenario diseñado.

*Tabla 10: Tiempo en segundos que le toma al modelo y su variante realizar la asignación de pacientes*

	Modelo			Modelo (Variante)		
	# Pacientes 100	# Pacientes 125	# Pacientes 150	# Pacientes 100	# Pacientes 125	# Pacientes 150
Tiempo en segundos que le toma al modelo realizar la asignación de pacientes	1,163	1,240	0,986	0,764	0,238	0,493

*Fuente: Resultados de ejecución del modelo  
Elaboración: Autor del proyecto*

Se puede observar que la variante del modelo tiene tiempos más bajos que el modelo principal. Por ejemplo, en el escenario con 150 pacientes, el tiempo de asignación en el modelo principal es de 0,986 segundos, a diferencia de los 0,493 segundos de la variante del modelo. Esto se da porque la variante del modelo incluye restricciones que limitan el número de combinaciones factibles totales. Para todos los escenarios los tiempos de asignación son razonables, tomando en consideración que la persona encargada de esta actividad tendrá a disposición 1 hora a la semana para realizar esta actividad.



### 3.4.4.2. ANÁLISIS DE LA PRIORIDAD DEL PACIENTE

Una medida del desempeño del modelo es observar el paciente que no es tomado en cuenta en la solución encontrada luego de ejecutar el modelo. La siguiente tabla muestra los primeros 20 pacientes, ordenados de mayor a menor en función del nivel de prioridad, para cada escenario diseñado. Se sombrea de negro los pacientes que son considerados en cada solución obtenida.

*Tabla 11: Pacientes seleccionados por la solución en cada escenario*

100 pacientes				125 pacientes				150 pacientes			
Modelo principal		Modelo (Variante)		Modelo principal		Modelo (Variante)		Modelo principal		Modelo (Variante)	
Orden	Paciente	Orden	Paciente	Orden	Paciente	Orden	Paciente	Orden	Paciente	Orden	Paciente
1	p006	1	p006	1	p006	1	p006	1	p006	1	p006
2	p022	2	p022	2	p022	2	p022	2	p147	2	p147
3	p051	3	p051	3	p051	3	p051	3	p022	3	p022
4	p060	4	p060	4	p060	4	p060	4	p051	4	p051
5	p064	5	p064	5	p064	5	p064	5	p060	5	p060
6	p024	6	p024	6	p024	6	p024	6	p064	6	p064
7	p034	7	p034	7	p034	7	p034	7	p024	7	p024
8	p020	8	p020	8	p020	8	p020	8	p034	8	p034
9	p048	9	p048	9	p048	9	p048	9	p020	9	p020
10	p025	10	p025	10	p109	10	p109	10	p048	10	p048
11	p045	11	p045	11	p116	11	p116	11	p109	11	p109
12	p028	12	p028	12	p125	12	p125	12	p116	12	p116
13	p094	13	p094	13	p112	13	p112	13	p125	13	p125
14	p019	14	p019	14	p025	14	p025	14	p112	14	p112
15	p096	15	p096	15	p045	15	p045	15	p025	15	p025
16	p017	16	p017	16	p028	16	p028	16	p045	16	p045
17	p066	17	p066	17	p094	17	p094	17	p138	17	p138
18	p068	18	p068	18	p019	18	p019	18	p028	18	p028
19	p073	19	p073	19	p096	19	p096	19	p094	19	p094
20	p075	20	p075	20	p101	20	p101	20	p019	20	p019

Fuente: Resultados de ejecución del modelo  
Elaboración: Autor del proyecto

Analizando los primeros 20 pacientes, se observa que los escenarios para 100 y 125 pacientes, tanto el modelo principal como su variante seleccionan los mismos pacientes. Una situación diferente se observa en el escenario para 150

pacientes, donde el modelo principal no considera a 3, mientras que el modificado no toma en cuenta a 2 pacientes.

Por otro lado, como la principal medida del desempeño del modelo, se analiza el valor al que llega la función objetivo para cada escenario. Es importante recordar que el valor de la función objetivo representa la sumatoria de la prioridad de todos los pacientes que forman parte de la solución obtenida.

**Tabla 12: Valor de la función objetivo para cada escenario**

	100 pacientes		125 pacientes		150 pacientes	
	Modelo principal	Modelo (Variante)	Modelo principal	Modelo (Variante)	Modelo principal	Modelo (Variante)
Valor de la función objetivo	406,90	406,90	441,80	443,00	475,20	482,60

*Fuente: Resultados de la ejecución del modelo  
Elaboración: Autor del proyecto*

La tabla anterior muestra que la solución encontrada por la variante del modelo para 150 pacientes permite que el valor de la función objetivo sea la más alta comparado con el modelo principal. Situación similar se observa para el escenario de 125 pacientes. De esto se puede concluir, que la variante del modelo elige una solución que incluye pacientes con mayor nivel de prioridad. En el contexto médico, este resultado es deseable ya que permite cumplir el objetivo de dar atención a pacientes con mayor nivel de prioridad.

### **3.4.4.3. OCUPACIÓN DE QUIRÓFANOS**

Dentro de los resultados obtenidos de las pruebas realizadas, se puede analizar el porcentaje de ocupación esperado de cada quirófano, con la asignación de pacientes hecha por el modelo.

A continuación, la siguiente tabla muestra los valores que toma este indicador, en los diferentes escenarios en los que se prueba el modelo.

**Tabla 13: Porcentaje de ocupación esperado por cada quirófano**

		100 pacientes				125 pacientes				150 pacientes			
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
<b>Modelo principal</b>	<b>Tiempo ocupado (minutos x semana)</b>	1856	1875	925	0	1816	1950	1195	0	1816	1894	1430	80
	<b>Tiempo disponible (minutos x semana)</b>	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
	<b>% Ocupación</b>	88%	89%	44%	0%	86%	93%	57%	0%	86%	90%	68%	4%
<b>Modelo (Variante)</b>	<b>Tiempo ocupado (minutos x semana)</b>	1881	1360	265	1150	1781	1505	445	1260	1871	1514	540	1395
	<b>Tiempo disponible (minutos x semana)</b>	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
	<b>% Ocupación</b>	90%	65%	13%	55%	85%	72%	21%	60%	89%	72%	26%	66%

*Fuente: Resultados de la ejecución del modelo  
Elaboración: Autor del proyecto*

Comparando el porcentaje de ocupación esperado de quirófanos obtenido con las soluciones del modelo principal y su variante en los diferentes escenarios diseñados, el modelo principal distribuye las cirugías entre los quirófanos 1, 2 y 3, mientras que existe un mayor equilibrio de este indicador, cuando el modelo plantea asignar el quirófano 4 para la segunda especialidad con más alta demanda que es Traumatología. En ambos modelos el nivel de ocupación de uno de los quirófanos es bajo, esto se debe a que no existe más disponibilidad de médicos que permita la inclusión de más pacientes en las soluciones encontradas.

## **CAPÍTULO 4**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **4.1. CONCLUSIONES**

Las conclusiones derivadas de este proyecto son las siguientes:

- En cuanto al proceso de programación de pacientes a quirófanos, el proyecto pretende dar ideas de solución a problemas encontrados, tales como actividades manuales que desembocan en manipulación y pérdida de información.
- La propuesta desarrollada, intenta reducir la carga de trabajo administrativa que genera el proceso de planificación de cirugías para el personal asistencial que actualmente está a cargo, incluyendo nuevos actores al proceso, siguiendo la normativa vigente bajo la que se rige el hospital.
- En el esquema actual, el tiempo invertido en el proceso de asignación de pacientes a los quirófanos, de acuerdo con un informe interno del hospital, es alrededor de 8 horas semanales, considerando actividades de recopilación y transcripción de partes de forma manual, coordinación con áreas de apoyo asistencial, de la asignación de pacientes como tal y de la comunicación del plan de cirugías. Bajo el esquema propuesto, la LEQ, es obtenida automáticamente de registros informáticos por lo que no existe recopilación y transcripción de partes de forma manual. El tiempo que al modelo le toma realizar la asignación de pacientes es menos de un minuto. La coordinación de actividades entre las áreas de

apoyo asistencial se la realiza a través de una reunión del comité quirúrgico, que por política de la institución no debe durar más de una hora. La socialización del plan de cirugías, mediante el sistema de comunicación interna de la institución toma media hora. Sumados estos tiempos, bajo el esquema propuesto, el proceso de planificación de cirugías tomará alrededor de 2 horas semanales, con lo que se llegaría al objetivo de reducir el tiempo que toma realizar este proceso.

- Se propone la inclusión de nuevos indicadores dentro del cuadro de mando del hospital, que mida el rendimiento del proceso de programación quirúrgica bajo el esquema propuesto.
- En cuanto al modelo de asignación de pacientes, el modelo escogido que se ajusta al tipo de problema observado es el de programación entera.
- Tanto el modelo principal como su variante cumplen con las restricciones relacionadas a la realidad del hospital.
- El modelo de asignación trabaja de manera adecuada con una cantidad de pacientes cercana a la realidad que maneja el hospital, esto es alrededor de 100 pacientes semanales, según la base de datos de cirugías de la institución. Se diseñaron escenarios de 125 y 150 pacientes, donde se observó que el modelo también es funcional para este número de pacientes.
- Las soluciones encontradas por el modelo, depende del tiempo de duración de las cirugías y de la disponibilidad de personal asistencial para actividades quirúrgicas.
- El modelo ayuda a evaluar el impacto que puede causar variaciones en los parámetros tales como la disponibilidad del personal asistencial, o estrategias como asignar un quirófano a una especialidad en función de su demanda, entre otras.

## **4.2. RECOMENDACIONES**

- Es necesario elaborar instructivos para las actividades que lo requieran dentro del proceso de programación quirúrgica propuesto, poniendo especial atención, al mantenimiento de la LEQ, a medida que los pacientes vayan accediendo a la realización de una cirugía, así como a la salida de la misma.
- Se sugiere el desarrollo de un método que permite acercarse a los tiempos reales de duración de las cirugías, para encontrar mejores soluciones al problema. Por ejemplo, se podría incluir en los parámetros del modelo un tiempo adicional a los tiempos promedios de duración de las cirugías, en base a la probabilidad de complicaciones en la realización de las mismas.
- Se conoce que, por limitaciones de talento humano, no se puede incrementar el tiempo de disponibilidad de los quirófanos, pero se propone revisar el tiempo que los cirujanos tienen asignado a actividades de cirugía para aprovechar el tiempo disponible de quirófanos.
- Es importante la puesta en marcha de la propuesta desarrollada, por un lado, para dar cumplimiento a lo indicado en el Estatuto de Gestión Organizacional por Procesos de los Hospitales del Ministerio de Salud Pública del Ecuador, y por otro, para reducir los riesgos inherentes a las actividades que se realizan en el esquema actual.
- Se puede usar el modelo de programación matemática desarrollado como punto de partida para nuevos modelos que incluyan otras restricciones no consideradas en este trabajo, como, por ejemplo, la asignación de cirugías a determinadas horas de un día, o la asignación de pacientes más urgentes al inicio del horizonte de planificación.



## **BIBLIOGRAFÍA**

- Agencia Pública de Noticias del Ecuador y Sudamérica. (2016). El gobierno del Ecuador ha invertido 13.500 millones de dólares en salud durante sus 9 años. Recuperado a partir de <http://www.andes.info.ec/es/noticias/gobierno-ecuador-invertido-13500-millones-dolares-salud-durante-sus-9-anos.html>
- Cardoen, B., Demeulemeester, E., & Beliën, J. (2009). Scheduling surgical cases in a day-care environment: a branch-and-price approach. *Department of decision sciences and information management*.
- Cisneros, M. del C. (2010). *Priorización de listas de espera de Cirugía para la gestión de pabellones quirúrgicos del Hospital Pediátrico Dr. Exequiel González Cortes*. Universidad de Chile.
- Colomer, J., Arias, J., Barturen, F., García, J., Gomez, J. I., Gonzales, A., ... Ruíz, J. M. (2009). *Bloque Quirúrgico Estándares y recomendaciones. Informes, estudios e investigación 2009*. Madrid.
- Echeverría, L. E. Z. (2015). *Contribución al mejoramiento de la productividad en el proceso de programación de cirugías de un hospital privado de la ciudad de Guayaquil*. ESPOL.
- Levine, W. C., & Dunn, P. F. (2015). Optimizing Operating Room Scheduling. *Anesthesiology Clinics*, 33(4), 697-711. <https://doi.org/10.1016/j.anclin.2015.07.006>
- Ministerio de Salud Pública. Estatuto Orgánico de Gestión Organizacional por Procesos de los Hospitales del Ministerio de Salud Pública (2012). Ecuador.
- Ministerio de Salud Pública. (2015). Rendición de cuentas 2015. Recuperado a



partir de [http://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2016/03/ppt\\_rc\\_29.04.15.pdf](http://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2016/03/ppt_rc_29.04.15.pdf)

Ministerio de Salud Pública. (2017). Valores, misión y visión. Recuperado a partir de <http://www.salud.gob.ec/valores-mision-vision/>

Vidal, A. (2013). *Algoritmos Heurísticos en Optimización*. Universidad de Santiago de Compostela.

Williams, H. P. (2008). *Model Building in Mathematical Programming*. (J. Wiley, Ed.) (Cuarta). Londres.

Wolff, P. A. (2011). *Modelos de Programación Matemática para Asignación de Pabellones Quirúrgicos en hospitales públicos*. Universidad de Chile.

# ANEXOS

## Anexo 1 – Código del modelo principal

```

Title Asignación de pacientes a quirófanos

$ontext
En el primer bloque de sentencias se procede a configurar
los índices y parámetros a utilizar en el problema
$offtext

sets p Paciente /p001,p002,p003,p004,p005,p006,p007,p008,p009,p010,p011,p012,p013,p014,p015,p016,p017,p018,p019,p020,p021,p022,p023,p024,p025,p026,p027,p028,p029,p030/
med Médico /M01,M02,M03,M04,M05,M06,M07,M08,M09,M10,M11,M12,M13,M14,M15,M16,M17,M18,M19,M20,M21,M22,M23,M24,M25,M26,M27/
d Día /Lun,Mar,Mie,Jue,Vie/
q Quirófano /Q1,Q2,Q3,Q4/

Table Cupo(med,d) Cupos de intervenciones quirúrgicas por médico y día (horario en minutos)
M01 Lun Mar Mie Jue Vie
M02 0 180 180 180 0
M03 90 90 90 90 90
M04 0 0 90 90 0
M05 120 120 0 0 0
M06 0 0 120 120 0
M07 0 90 0 0 90
M08 0 0 240 240 0
M09 0 120 0 120 0
M10 0 0 150 0 150
M11 120 0 120 0 0
M12 0 90 0 0 90
M13 90 0 0 90 0
M14 0 0 0 90 0
M15 180 180 180 180 180
M16 180 180 180 180 180
M17 0 90 0 90 0
M18 120 0 120 0 0
M19 0 90 0 0 90
    
```

```

Table PacMed(p,med) Médico asignado a cada paciente
M01 M02 M03 M04 M05 M06 M07 M08 M09 M10 M11 M12 M13 M14 M15 M16 M17 1
p001 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
p002 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
p003 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
p004 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
p005 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0
p006 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
p007 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
p008 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
p009 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0
p010 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0
p011 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
p012 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
p013 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
p014 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0
p015 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
p016 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
p017 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0
p018 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0
p019 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0
p020 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
p021 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
p022 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0
p023 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
p024 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
p025 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
p026 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
p027 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
p028 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
p029 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0
p030 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0
    
```

```
gamside: C:\Users\User\Documents\gamsdir\projdir\gmsproj.gpr - [C:\Users\User\Documents\TESIS JORGE\entregable\ModeloGams\mejorado\Pruebasmejorado\100.pacient]
File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help
MIP: bid [optima] (a)
AsignacionQuirofanosMejorado100.lst | AsignacionQuirofanosMejorado100.gms

Table disp (d,q) Disponibilidad de cada quirófano por día en minutos
      Q1  Q2  Q3  Q4
Lun   420 420 420 420
Mar   420 420 420 420
Mie   420 420 420 420
Jue   420 420 420 420
Vie   420 420 420 420;

Parameter Pri (p) Nivel de prioridad asignado a cada paciente
/p001 1.6
p002 3.5
p003 3.9
p004 4.3
p005 5.6
p006 10
p007 2.2
p008 4.7
p009 7.3
p010 6.6
p011 2.6
p012 2.9
p013 6.3
p014 5.8
p015 3.8
p016 3
p017 7.9
p018 7.1
p019 7.9
p020 8.7
p021 6.9
```

```
gamside: C:\Users\User\Documents\gamsdir\projdir\gmsproj.gpr - [C:\Users\User\Documents\TESIS JORGE\entregable\ModeloGams\mejorado\Pruebasmejorado\100.pacient]
File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help
MIP: bid [optima] (a)
AsignacionQuirofanosMejorado100.lst | AsignacionQuirofanosMejorado100.gms

Parameter DurCir (p) Duracion de la cirugía de cada paciente
/p001 80
p002 75
p003 80
p004 60
p005 65
p006 45
p007 90
p008 60
p009 45
p010 35
p011 80
p012 60
p013 60
p014 90
p015 70
p016 180
p017 150
p018 90
p019 45
p020 45
p021 51
p022 60
p023 75
p024 60
p025 75
p026 70
p027 90
p028 55
p029 240
p030 75
p031 150
p032 105
```

```

Title AsignacionQuirofanosMejorado100.gms

Variables
fo Obj
x(p,med,d,q) Variable de decisión
Binary variable x;

Equations
Objetivo ecuación que determina qué paciente escoger en función de su prioridad
Cupos(med,d) restricción de cupos de médicos por día
PacienteSemana(p) restricción para intervenir un paciente en el periodo a programar
TiempoCirugia(d,q) restricción para que el total de operaciones por día no sobrepase el tiempo disponible por día y quirófano
PacienteMedico(p,med) paciente relacionado a médico;

Objetivo.. fo =e= sum((p,med,d,q), Pri(p)*x(p,med,d,q));
Cupos(med,d).. sum((p,q), DurCir(p)*x(p,med,d,q)) =l= cupo(med,d);
PacienteSemana(p).. sum((med,d,q), x(p,med,d,q)) =l= 1;
TiempoCirugia(d,q).. sum((p,med), DurCir(p)*x(p,med,d,q)) =l= disp(d,q);
PacienteMedico(p,med).. sum((d,q), x(p,med,d,q)) =l= PacMed(p,med);

Model AsignacionQuirofanos /All/;

Solve AsignacionQuirofanos Using MIP Maximizing fo;
    
```

## Anexo 2 – Código de la variante del modelo

```

Title Asignación de pacientes a quirófanos

$Context
En el primer bloque de sentencias se procede a configurar
los índices y parámetros a utilizar en el problema
$offtext

sets p Paciente /p001,p002,p003,p004,p005,p006,p007,p008,p009,p010,p011,p012,p013,p014,p015,p016,p017,p018,p019,p020,p021,p022,p023,p024,p025,p026,p027,p028/
med Médico /M01,M02,M03,M04,M05,M06,M07,M08,M09,M10,M11,M12,M13,M14,M15,M16,M17,M18,M19,M20,M21,M22,M23,M24,M25,M26,M27/
d Día /Lun,Mar,Mie,Jue,Vie/
q Quirófano /Q1,Q2,Q3,Q4/

Table Cupo(med,d) Cupos de intervenciones quirúrgicas por médico y día (horario en minutos)
      Lun   Mar   Mie   Jue   Vie
M01    0    180   180   180    0
M02    90    90    90    90    90
M03    0     0     90    90    0
M04   120   120    0     0     0
M05    0     0    120   120    0
M06    0     90    0     0     90
M07    0     90    0     90    0
M08    0     0    240   240    0
M09    0    120    0    120    0
M10    0     0    150    0    150
M11   120    0    120    0     0
M12    0     90    0     0     90
M13    90    0     0     90    0
M14    0     0     0     90    0
M15   180   180   180   180   180
M16   180   180   180   180   180
M17    0     90    0     90    0
M18   120    0    120    0     0
M19    0     90    0     0     90
    
```

gamside: C:\Users\User\Documents\gamsdir\projdir\gmsproj.gpr - [C:\Users\User\Documents\TESIS JORGE\entregable\ModeloGams\mejorado\Pruebasmejorado2,100 pacien]

MIP: bid [optima] (a)

AsignacionQuirofanosMejorado100.lst | AsignacionQuirofanosMejorado100.gms | AsignacionQuirofanosMejorado2\_100.gms

Table	FacMed (p, med) Medico asignado a cada paciente																
	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17
p001	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p003	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
p006	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
p010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
p011	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p014	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
p015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p016	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
p018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
p019	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
p020	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p021	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
p023	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p025	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p026	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p027	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
p028	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p029	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p030	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

33: 49 Modified Insert

gamside: C:\Users\User\Documents\gamsdir\projdir\gmsproj.gpr - [C:\Users\User\Documents\TESIS JORGE\entregable\ModeloGams\mejorado\Pruebasmejorado2,100 pacien]

MIP: bid [optima] (a)

AsignacionQuirofanosMejorado100.lst | AsignacionQuirofanosMejorado100.gms | AsignacionQuirofanosMejorado2\_100.gms

Table	disp (d, q) Disponibilidad de cada quirofano por dia en minutos			
	Q1	Q2	Q3	Q4
Lun	420	420	420	420
Mar	420	420	420	420
Mie	420	420	420	420
Wie	420	420	420	420
Vie	420	420	420	420

Table	FacQui (p, q) Paciente asignado a un quirofano en particular			
	Q1	Q2	Q3	Q4
p001	1	1	1	0
p002	1	1	1	0
p003	1	1	1	0
p004	0	0	0	1
p005	1	1	1	0
p006	1	1	1	0
p007	1	1	1	0
p008	0	0	0	1
p009	1	1	1	0
p010	1	1	1	0
p011	1	1	1	0
p012	0	0	0	1
p013	1	1	1	0
p014	1	1	1	0
p015	0	0	0	1
p016	0	0	0	1
p017	1	1	1	0
p018	1	1	1	0
p019	1	1	1	0
p020	1	1	1	0
p021	1	1	1	0
p022	1	1	1	0

33: 49 Modified Insert

**Diseño de un modelo basado en la programación matemática para la asignación de pacientes a los quirófanos centrales de un hospital público en la ciudad de Guayaquil**

The screenshot shows a GAMS IDE window with the following content:

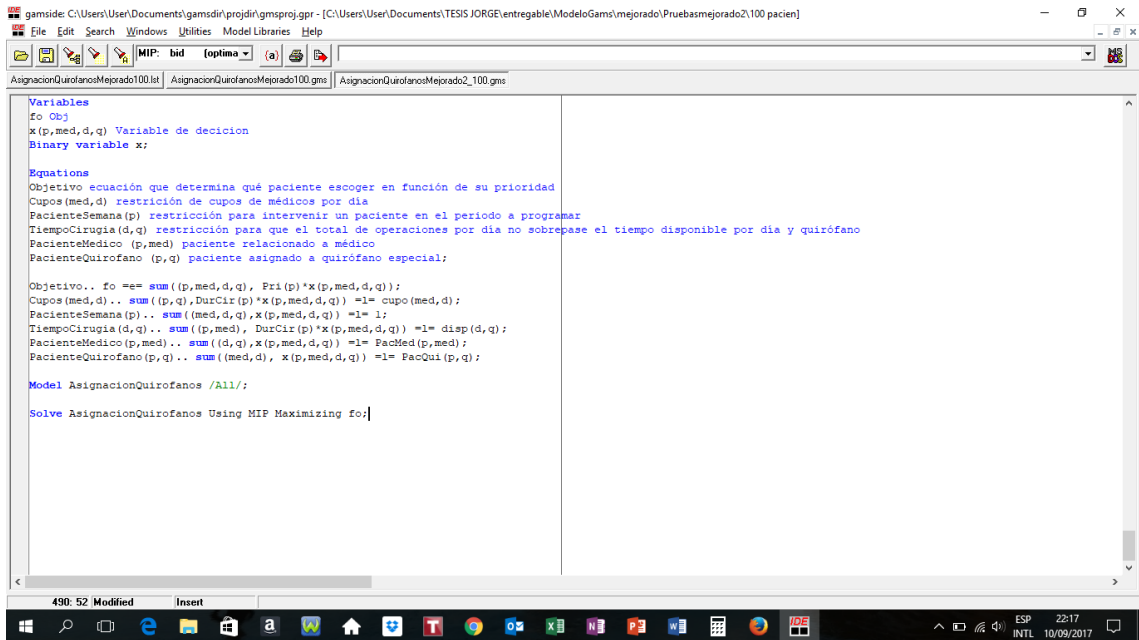
```
gamside: C:\Users\User\Documents\gamsdir\projdir\gmsproj.gpr - [C:\Users\User\Documents\TESIS JORGE\entregable\ModeloGams\mejorado\Pruebasmejorado2_100 pacien]
File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help
MIP: bid [optima] (a)
AsignacionQuirofanosMejorado100.lst AsignacionQuirofanosMejorado100.gms AsignacionQuirofanosMejorado2_100.gms

Parameter Fti(p) Nivel de prioridad asignado a cada paciente
/p001 1.6
p002 3.5
p003 3.9
p004 4.3
p005 5.6
p006 1.0
p007 2.2
p008 4.7
p009 7.3
p010 6.6
p011 2.6
p012 2.9
p013 6.3
p014 5.8
p015 3.8
p016 3
p017 7.9
p018 7.1
p019 7.9
p020 8.7
p021 6.9
p022 9.4
p023 5.5
p024 8.8
p025 8.3
p026 3.9
p027 7.4
p028 8
p029 4.6
p030 4.8
p031 6.2
```

The screenshot shows a GAMS IDE window with the following content:

```
gamside: C:\Users\User\Documents\gamsdir\projdir\gmsproj.gpr - [C:\Users\User\Documents\TESIS JORGE\entregable\ModeloGams\mejorado\Pruebasmejorado2_100 pacien]
File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help
MIP: bid [optima] (a)
AsignacionQuirofanosMejorado100.lst AsignacionQuirofanosMejorado100.gms AsignacionQuirofanosMejorado2_100.gms

Parameter DurCir(p) Duracion de la cirugía de cada paciente
/p001 80
p002 75
p003 80
p004 60
p005 65
p006 45
p007 90
p008 60
p009 45
p010 35
p011 80
p012 60
p013 60
p014 90
p015 70
p016 180
p017 150
p018 90
p019 45
p020 45
p021 51
p022 60
p023 75
p024 60
p025 75
p026 70
p027 90
p028 55
p029 240
p030 75
p031 150
```



```
gamside: C:\Users\User\Documents\gamsdir\projdir\gmsproj.gpr - [C:\Users\User\Documents\TESIS JORGE\entregable\ModeloGams\mejorado\Pruebasmejorado2_100 pacien]
File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help
MIP: bid [optima] (a)
AsignacionQuirofanosMejorado100.lst | AsignacionQuirofanosMejorado100.gms | AsignacionQuirofanosMejorado2_100.gms

Variables
fo Obj
x(p,med,d,q) Variable de decision
Binary variable x;

Equations
Objetivo ecuación que determina qué paciente escoger en función de su prioridad
Cupos(med,d) restricción de cupos de médicos por día
PacienteSemana(p) restricción para intervenir un paciente en el periodo a programar
TiempoCirugia(d,q) restricción para que el total de operaciones por día no sobrepase el tiempo disponible por día y quirófano
PacienteMedico(p,med) paciente relacionado a médico
PacienteQuirofono(p,q) paciente asignado a quirófano especial;

Objetivo.. fo = sum((p,med,d,q), Pri(p)*x(p,med,d,q));
Cupos(med,d).. sum((p,q), DurCir(p)*x(p,med,d,q)) =l= cupo(med,d);
PacienteSemana(p).. sum((med,d,q), x(p,med,d,q)) =l= 1;
TiempoCirugia(d,q).. sum((p,med), DurCir(p)*x(p,med,d,q)) =l= disp(d,q);
PacienteMedico(p,med).. sum((d,q), x(p,med,d,q)) =l= FacMed(p,med);
PacienteQuirofono(p,q).. sum((med,d), x(p,med,d,q)) =l= PacQui(p,q);

Model AsignacionQuirofanos /All/;

Solve AsignacionQuirofanos Using MIP Maximizing fo;
```