

**MODELO DE PROGRAMACIÓN DE CIRUGÍAS ELECTIVAS EN UNA IPS DEL
CENTRO DEL VALLE DEL CAUCA**

**MARIA CAMILA ARISTIZÁBAL CATAÑO
MILTON ALEXANDER LONDOÑO ROMAN**



**Zarzal
Universidad del Valle Sede Zarzal
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Industrial
2019**

**MODELO DE PROGRAMACIÓN DE CIRUGÍAS ELECTIVAS EN UNA IPS DEL
CENTRO DEL VALLE DEL CAUCA**

Proyecto de grado para optar por el título de Ingeniero(a) Industrial

**MARIA CAMILA ARISTIZÁBAL CATAÑO
MILTON ALEXANDER LONDOÑO ROMÁN**

**DIRECTOR
JULIÁN GONZÁLEZ VELASCO**

**CODIRECTOR
CARLOS ALBERTO ROJAS TREJOS**



**Zarzal
Universidad del Valle Sede Zarzal
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Industrial
2019**

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios por permitirme culminar esta etapa de mi vida, a mi madre y hermanas por su apoyo incondicional, a mi padre y abuelos, aunque ya no los tengo a mi lado les agradezco por brindarme su cariño e inculcarme sus valores que me permitieron llegar a esta meta, además agradezco a la Universidad del Valle Sede Zarzal en cabeza de sus directivos, administrativos y profesores por todo el apoyo recibido.

MILTON ALEXANDER LONDOÑO ROMAN

Esta fue una etapa muy importante en mi vida, el poder formarme como profesional hace que cada día me sorprenda de lo mucho que me puedo esforzar y retar por alcanzar lo que deseo; no fue fácil, pero sí que valió la pena.

Aunque soy yo quien se gradúa, llegar aquí fue un esfuerzo conjunto, por tanto quiero dar las gracias a Dios por permitirme llegar con vida y salud hasta este punto y brindarme el placer de compartir este triunfo con mi familia, a mis padres Claudia Lorena Cataño Lozano, Ramón Elías Aristizábal Taborda y hermano Jose Daniel Aristizábal Cataño por ser ese talón de Aquiles durante este periodo, por siempre brindarme el apoyo y amor incondicional necesario para no desfallecer en el camino y por último pero no menos importante, a mí novio, por aconsejarme siempre a perseverar y a convencerme de que soy capaz de lo que me proponga dando lo mejor.

Adicionalmente dar gracias a la Universidad del Valle sede Zarzal y a los profesores del programa, por brindarnos su espacio y tiempo para formarnos como personas y como profesionales, muchos de ellos al punto de convertirse para mí, en amigos. Muchas gracias

MARIA CAMILA ARISTIZÁBAL CATAÑO

ÍNDICE DE CONTENIDO

GLOSARIO DE TERMINOS	9
INTRODUCCIÓN	11
1 CARACTERIZACIÓN DEL MÉTODO ACTUALMENTE IMPLEMENTADO PARA LA PROGRAMACIÓN DE CIRUGÍAS ELECTIVAS EN LA IPS OBJETO DE ESTUDIO	18
1.1 PROGRAMACIÓN DE CIRUGÍAS.....	18
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	19
1.3 RECURSOS	21
1.4 CAPACIDAD.....	22
2 DEFINICIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO QUE CONSIDERE LOS FACTORES MÁS RELEVANTES DE LA PROGRAMACIÓN DE CIRUGÍAS ELECTIVAS	23
2.1 IDENTIFICACIÓN DE MÉTODOS DE SOLUCIÓN	23
2.2 SELECCIÓN DEL MÉTODO	25
2.3 SUPUESTOS DEL MODELO	26
2.3.1 Supuestos generales del problema.....	26
2.3.2 Supuestos de los pacientes	27
2.3.3 Supuestos de las salas de cirugía.....	27
2.3.4 Supuesto del equipo médico	27
2.3.5 Supuesto de los médicos	27
2.4 MODELO MATEMÁTICO	27
2.4.1 Conjuntos	27
2.4.2 Parámetros.....	28
2.4.3 Variables de decisión	28
2.4.4 Función objetivo	28
2.4.5 Restricciones.....	29
2.5 IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO	31
2.6 RESULTADOS OBTENIDOS	32
3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	34
3.1 INSTANCIAS CORRIDAS	34
3.2 VARIACIONES EN LA CIRUGÍA A PRACTICAR Y EL PARÁMETRO T_{00}	39

3.3	VARIACIONES EN LA FUNCIÓN OBJETIVO	41
3.4	ANÁLISIS CON RESPECTO A VARIACIONES EN LOS FACTORES PONDERADORES WP Y WS	41
3.5	COMPARACIÓN ENTRE LA PROGRAMACIÓN DE LA CLÍNICA Y LA PROPUESTA.	42
4	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	45
5	BIBLIOGRAFÍA.....	48
6	ANEXOS.....	50
6.1	Anexo 1. PREGUNTAS REALIZADAS EN LA ENTREVISTA	50
6.2	Anexo 2. PROGRAMACIÓN DE LAS VARIACIONES EN LA F. OBJETIVO 51	
6.3	Anexo 3. PROGRAMACIÓN DE COMBINACIONES EN WP Y WS.....	53
6.4	Anexo 4. EVIDENCIA DE PROGRAMACIÓN PARA UN DÍA.....	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Quejas presentadas respecto al servicio de salud en el Departamento del Valle del Cauca y el Municipio de Tuluá	12
Tabla 2 Actividades y herramientas de cada objetivo específico	17
Tabla 3 Disponibilidad del Personal Médico de la Clínica.....	21
Tabla 4 Resumen de los Documentos Estudiados	24
Tabla 5 Características y Resultados de la Instancia Máxima	32
Tabla 6 Programación de una Semana	33
Tabla 7 Características de las Instancias	34
Tabla 8 Resultado de las Instancias	35
Tabla 9 Programación Instancia 1	35
Tabla 10 Programación Instancia 2	36
Tabla 11 Programación Instancia 3	36
Tabla 12 Programación Instancia 4	37
Tabla 13 Características de las Instancias Ajustadas.....	39
Tabla 14 Resultados de las Instancias Ajustadas.....	39
Tabla 15 Programación Instancia 1 Ajustada	39
Tabla 16 Programación Instancia 2 Ajustada	40
Tabla 17 Comparación de las Variaciones con el Modelo Propuesto	41
Tabla 18 Resultado de la Instancia 2 con variaciones en los Factores Ponderadores	42
Tabla 19 Programación de la Clínica para Cirugías Electivas	43
Tabla 20 Programación Propuesta	43
Tabla 21 Tiempo Ocioso por Médico	44
Tabla A. 1 Programación 1ª Variación	51
Tabla A. 2 Programación 2ª Variación	52
Tabla A. 3 Programación WP = 40 WS = 60.....	53
Tabla A. 4 Programación WP = 30 WS = 70.....	54
Tabla A. 5 Programación WP = 20 WS = 80.....	54
Tabla A. 6 Programación WP = 10 WS = 90.....	55
Tabla A. 7 Programación WP = 80 WS = 20.....	55
Tabla A. 8 Programación WP = 90 WS = 10.....	56
Tabla A. 9 Programación WP = 60 WS = 40.....	57
Tabla A. 10 Programación WP = 50 WS = 50.....	57
Tabla A. 11 Programación de Cirugías Electivas en la Clínica para un día	59

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Diagrama de Flujo de Proceso de Programación de Cirugías Electivas	20
Ilustración 2 Categorización del Paciente	26

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Número de pacientes a quienes se les practicó alguna cirugía electiva en el primer trimestre del año 2018	22
Gráfica 2 Número de procedimientos realizados en el primer trimestre del año 2018	22

GLOSARIO DE TERMINOS

- **Seguridad Social:** Es el conjunto armónico de entidades públicas y privadas, normas y procedimientos y está conformado por los regímenes generales establecidos para pensiones, salud, riesgos laborales, subsidio familiar y los servicios sociales complementarios que se definen en la ley. Este es un sistema que cubre eventualidades como la de alteración a la salud, incapacidad laboral, desempleo, vejez y muerte, para cuya protección se establecieron los sistemas de Salud, Pensiones, Riesgos Laborales y de Subsidio Familiar.
- **Saneamiento Ambiental:** Es el conjunto de acciones, iniciativas, técnicas, estrategias sociales, económicas, políticas y de salud pública; con el objetivo de sanear, limpiar o mantener un espacio o zona contaminada, como también el manejo del agua potable, aguas residuales, residuos sólidos y otros problemas de contaminación y de riesgo para la salud del hombre.
- **Anestesia local:** Pérdida o ausencia temporal de la sensibilidad de una zona limitada del cuerpo.
- **Instrumentador quirúrgico:** Es un profesional de la salud que desarrolla la mayor parte de su actividad en el quirófano, asistiendo al paciente y al cirujano durante el acto quirúrgico.
- **Cirugía general:** La cirugía general es la especialidad de la medicina que tiene competencia en el diagnóstico y tratamiento de las patologías que se resuelven mediante procedimientos quirúrgicos o potencialmente quirúrgicos, tanto electivos como de urgencia, de origen benigno, inflamatorio, traumático o neoplásico en los siguientes aparatos, sistemas y áreas anatómicas: aparato digestivo, pared abdominal, sistema endocrino, mama, piel y partes blandas, retroperitoneo y afecciones externas de la cabeza y el cuello.
- **Cirugía plástica:** La Cirugía Plástica es una especialidad quirúrgica que se ocupa de la corrección de todo proceso congénito, adquirido, tumoral o simplemente involutivo, que requiera reparación o reposición, o que afecte a la forma y/o función corporal.
- **Cirugía vascular periférica:** Especialidad médico quirúrgica dedicada a la prevención, diagnóstico y tratamiento de las enfermedades de las arterias, venas, y en general de todo el sistema circulatorio, tales como obstrucciones arteriales, aneurismas y várices.

- **Ginecología:** Parte de la medicina que se ocupa del aparato genital femenino y sus enfermedades, incluidas las glándulas mamarias.
- **Neurocirugía:** Parte de la medicina que trata las enfermedades del sistema nervioso mediante operaciones quirúrgicas.
- **Obstetricia:** Parte de la medicina que se ocupa del embarazo, el parto y el período de tiempo posterior a este.
- **Oftalmología:** Parte de la medicina que estudia el ojo y se ocupa de sus enfermedades.
- **Oncología:** Parte de la patología que estudia los tumores y su tratamiento.
- **Ortopedia:** Tratamiento para prevenir o corregir de forma mecánica o quirúrgica las deformaciones o desviaciones de los huesos y de las articulaciones del cuerpo.
- **Pediatría:** Parte de la medicina que se ocupa del estudio del crecimiento y el desarrollo de los niños hasta la adolescencia, así como del tratamiento de sus enfermedades.
- **Urología:** Parte de la medicina que estudia la anatomía, la fisiología y las enfermedades del aparato urinario y, en el hombre, del aparato genital.
- **Consulta externa:** Es un servicio ambulatorio para pacientes con una cita asignada previamente que acceden a atenciones médicas para diferentes tipos de diagnósticos.
- **Patología:** Parte de la medicina que estudia los trastornos anatómicos y fisiológicos de los tejidos y los órganos enfermos, así como los síntomas y signos a través de los cuales se manifiestan las enfermedades y las causas que las producen.
- **Diabetes:** Enfermedad crónica e irreversible del metabolismo en la que se produce un exceso de glucosa o azúcar en la sangre y en la orina.
- **Hipertensión:** Es el término que se utiliza para describir la presión arterial alta.
- **Quirófano:** Local convenientemente acondicionado para hacer operaciones quirúrgicas.

INTRODUCCIÓN

La salud es uno de los principales derechos de los cuales deben gozar las personas en el país según la constitución política de Colombia en sus Artículos 48° y 49°, los cuales indican que: “La seguridad social es un servicio público de carácter obligatorio que se prestará bajo la dirección, coordinación y control del Estado, también la atención de la salud y el saneamiento ambiental son servicios públicos a cargo del Estado”. En el marco de estas normas, se garantiza a todas las personas el acceso a los servicios de promoción, protección y recuperación de la salud, donde el Ministerio de Salud y Protección Social es el encargado de velar por el cumplimiento de estos derechos.

Es así que en el reporte del ASIS (*Análisis de Situación en Salud*) del año 2014, se informa que en Colombia hay 48.572 instituciones habilitadas para la prestación de servicios de salud. El 97,45% tiene carácter privado, el 2,48% público y el 0,07%, mixto. Las IPS (*Instituciones Prestadoras de Servicios*) están concentradas en Bogotá con el 26,96%, el 14,39% en Antioquia, el 11,03% en el Valle del Cauca y el 4,53% en Santander. Es decir, en estas ciudades se concentra el 57% de las instituciones. (Ministerio de Salud, 2015)

Sin embargo, la prestación de los servicios de salud se ha venido deteriorando; esta situación se ve expuesta en el reporte del Ministerio de Salud en su documento “*La Tutela en Salud*”, la cual expresa que en el año 2016 se efectuaron 164.274 tutelas por salud, representando el 26,5% del total, con un crecimiento del 9% con respecto al año 2015 en el cual el número de tutelas por este concepto fueron 150.728. Para el departamento del Valle del Cauca, en el mismo año se presentaron 17.291 tutelas por concepto de salud, teniendo el 10,5% de participación en el total por este concepto y ubicándose como el tercer departamento con mayor número de tutelas después de Antioquia y Bogotá. (Ministerio de Salud y Protección Social, 2018)

Según la Gobernación del Valle del Cauca, en el año 2017 se atendió un total de 2.698 quejas por concepto de mala prestación del servicio de salud, en la cual se da incumplimiento a atributos como accesibilidad, afiliación irregular, calidad en atención, cobro irregular, continuidad, estándares de habilitación, falta de oportunidad en autorizaciones, irregularidad en la prestación del servicio, negación del servicio, negación de medicamento, oportunidad y pertinencia. En la *Tabla 1* se puede ver la frecuencia de cada una de las quejas presentadas con respecto a cada atributo. (Gobernación del Valle del Cauca, 2017)

Así mismo, se muestran las quejas presentadas específicamente en la Zona Centro de Tuluá para el mismo año, con un total de 242 quejas dentro de las cuales están incluidas, las correspondientes a los municipios que se encuentran dentro de la Defensoría de la Zona Centro Tuluá que son Riofrío, Tuluá, San Pedro, Andalucía,

Bugalagrande, Trujillo, Bolívar, Roldanillo, el Dovio, Sevilla, Caicedonia.
(Gobernación del Valle del Cauca, 2017)

Tabla 1 Quejas presentadas respecto al servicio de salud en el Departamento del Valle del Cauca y el Municipio de Tuluá

Atributos de Incumplimiento	1 TRIMESTRE 2017		2 TRIMESTRE 2017		3 TRIMESTRE 2017	
	Valle del Cauca	Tuluá	Valle del Cauca	Tuluá	Valle del Cauca	Tuluá
Accesibilidad	11	4	35	16	37	14
Afiliación irregular	22	2	38	2	39	0
Calidad en atención	48	3	72	13	28	1
Cobro irregular	0	0	3	0	9	0
Continuidad	10	0	18	0	20	1
Estándares de habilitación	0	0	2	0	0	0
Falta de oportunidad en autorizaciones	89	8	283	25	235	12
Irregularidad prestación servicio	110	7	240	25	409	20
Negación de servicio	39	1	67	9	82	6
Negación medicamento	65	2	102	4	164	2
Oportunidad	23	2	84	8	161	44
Pertinencia	4	0	11	2	9	0
(en blanco)	4	3	26	4	99	2
Total general	425	32	981	108	1292	102

Fuente: Gobernación del Valle del Cauca

En la *Tabla 1*, se evidencia que, para el departamento del Valle del Cauca, del primer trimestre al segundo trimestre, el total de quejas presentadas, pasa de 425 a 981 incrementando un 131%, del segundo semestre al tercero, pasa de 981 a 1.292 incrementando así un 31,7% respecto al segundo trimestre. En cuanto al indicador que corresponde a la Falta de Oportunidad en Autorizaciones, en la cual se encuentra inmersa la autorización de cirugías electivas¹, se ve que del primer al segundo trimestre, pasa de tener un total de 89 quejas a 283 lo cual es un incremento bastante significativo con un porcentaje de 218% aproximadamente; a pesar de que del segundo al tercer trimestre las quejas disminuyen, no lo hacen en la misma proporción en la que aumentaron del primer al segundo trimestre, ya que la disminución se dio al pasar de 283 a 235 disminuyendo un 17% aproximadamente.

¹ **Cirugías Electivas:** Son aquellas cirugías que no son urgencias, es decir, la llegada de los pacientes no es espontánea, por el contrario, es la clínica quien las programa.

Con respecto a las quejas presentadas en la Zona Centro Tuluá, el número de quejas presentadas del primer al segundo trimestre pasa de 32 a 108 incrementando un 237,5% y, por último, del segundo al tercer trimestre se dio una disminución del total de quejas pasando de 108 a 102 quejas con un porcentaje de disminución del 5,5%. Con respecto al indicador de Falta de Oportunidad en Autorizaciones, pasa de un total de 8 quejas en el primer trimestre a 25 quejas en el segundo, incrementando un 212,5%, del segundo al tercer trimestre se presenta una disminución pasando de 25 a 12 quejas totales, disminuyendo así un 108,3%.

En lo que concierne al servicio de cirugías, se tiene que en el Valle del Cauca el indicador de cancelación² de cirugías electivas del 2009 al 2014 es de 7,62%; 6,21%; 6,64%; 8,27%; 10,1% y 7,37% respectivamente, se identifica que los porcentajes de los años 2011 al 2013 presentan un comportamiento de tendencia creciente teniendo el pico mínimo en el 2010 y el máximo en el año 2013. Referente al indicador de oportunidad³ de realización de las cirugías electivas durante los mismos periodos, se presentaron valores de 12,8; 11,3; 11,8; 12,1; 17,7; 16 días, en él se evidencia que de los años 2010 al 2013 se presenta un aumento significativo, teniendo este último año la cantidad de días más alta en relación a los años contemplados en la evaluación. (Ministerio de Salud, 2015)

“La cancelación de cirugías electivas puede estar relacionada con ineficiencia en los procesos de programación o asignación de recursos, planificación de la atención al paciente, y son un fenómeno de frecuente ocurrencia en nuestras instituciones. La oportunidad en la respuesta a la necesidad de realización de procedimientos quirúrgicos tiene impacto sobre la capacidad resolutoria de los casos por su detección y atención temprana disminuyendo los riesgos de incapacidad en tiempo y severidad y secuelas. El tiempo de respuesta en los prestadores puede resultar útil para medir la eficiencia en los procesos clínicos y administrativos que deben confluir para que estos procesos de atención en salud se den exitosamente”. (Ministerio de la Protección Social, 2011)

Con base en lo anterior, se puede resaltar la logística hospitalaria como una de las ramas de la ingeniería industrial que se ocupa de la buena interacción de los recursos en un hospital, agrupando las actividades de transformación y de flujo de insumos y pacientes que soportan la prestación de los servicios de salud. A pesar de que en ocasiones la amplitud a veces insospechada de los recursos destinados

² **Indicador de Cancelación:** El indicador se obtiene de una relación porcentual entre el número de cirugías canceladas en el período, dividido el número de cirugías programadas. La unidad de medida para este indicador es porcentual y el reporte tiene una periodicidad semestral.

³ **Indicador de Oportunidad:** El indicador se obtiene del cociente entre la sumatoria de los días transcurridos entre la solicitud de la cirugía electiva y el momento en el cual es realizada la cirugía, dividido por el número total de cirugías programadas en el período. La unidad de medida para este indicador es días y el reporte tiene una periodicidad semestral.

a las actividades logísticas y sus funcionarios, generan gran dificultad para implantar prácticas que puedan mejorar su desempeño. (Rivard, Landry, & Beaulieu, 2002), existen experiencias que demuestran que las instituciones de salud pueden realizar proyectos de innovación que perfeccionan radicalmente el funcionamiento de sus actividades logísticas. (Amaya, Beaulieu, Landry, Rebolledo, & Velasco, 2010).

Teniendo en cuenta esto y con el ánimo de aportar a esos adelantos logísticos, se toma como contexto la sala de cirugías ya que contribuye al proceso misional del hospital o IPS. La sala de cirugías es un lugar indispensable en un centro médico el cual siempre debe estar disponible, equipado y dispuesto para llevar a cabo la actividad que le corresponde. Existen diversidad de elementos que influyen en el desempeño y eficiencia de las salas de cirugía tales como cancelaciones de último minuto, complicaciones en el quirófano, horas extra innecesarias de personal médico, entre otros; lo cual se traduce en mayores costos, retrasos y operaciones que presentan una duración mayor a la estimada. Mejorar el funcionamiento de la sala de cirugías, hace que este tipo de estudios sean tomados en cuenta ya que los costos asociados son altos y al optimizar los recursos involucrados se incrementa la viabilidad económica del hospital. (Estupiñán & al., 2016)

Las cirugías que se ejecutan en un centro médico en general se clasifican como de carácter urgente o electivo; específicamente las cirugías electivas según *Bejarano (2011)*, tienen un porcentaje de utilización de los quirófanos que es dependiente de muchos factores, entre ellos una adecuada programación que inicia y termina a tiempo y un rápido recambio. Por esta razón una buena programación de este tipo de cirugías, atendiendo las limitantes de recursos y variables como quirófanos, horarios disponibles de estos, duración de las cirugías y la disponibilidad de insumos y recursos médicos, permite la reducción de tiempos de espera en la asignación y además maximiza la utilización de los quirófanos. Cabe resaltar que, al abordar los procesos o métodos de programación de cirugías, se puede mejorar los resultados de indicadores de calidad del servicio, logrando que este sistema sea más eficiente.

Considerando la tardanza, en muchas ocasiones los pacientes que requieren de cirugías electivas deben esperar un tiempo prolongado para ser atendidos y en repetidos casos, se debe a la falta de disponibilidad de recursos con los que cuenta el hospital o la inadecuada programación de los procedimientos que se deben realizar. Las variables involucradas en el momento de la asignación de secuencias de cirugías son: la variedad de operaciones quirúrgicas, los tiempos de operación, las prioridades relativas de las cirugías, la capacidad del centro médico y hospitalización y los horarios médicos. (Dexter & Macario, 2002)

De acuerdo con la Encuesta Nacional de Evaluación de los Servicios de las EPS 2017, “en el análisis de debilidades y fortalezas, se encontró que las debilidades más importantes de las EPS, sigue siendo el tiempo de espera en la atención y la simplicidad y agilidad en los trámites”. En la encuesta se evidencia un incremento del paso de 2016 a 2017 en el promedio de número de días esperados en la mayoría

de los servicios que son evaluados, teniendo como resultado una favorabilidad del 51% con respecto a los tiempos de espera en atención. (Ministerio de Salud, 2017)

Con base en lo anterior, se ve reflejada la baja calidad de atención al usuario por las entidades promotoras de salud, y varias de las razones son el tiempo de espera en la asignación de citas de cirugía general y el tiempo de espera para la programación de la cirugía. De acuerdo con el Ministerio de Salud, las IPS, reportaron que el tiempo de asignación de citas de cirugías general ha presentado un incremento, al pasar de 9,1 días en 2016 a 15,6 días en 2017. Por estas razones, se deben fortalecer los procesos que giran alrededor de la programación de cirugías. (Ministerio de Salud, 2017)

En este trabajo, se intenta contribuir a esas mejoras logísticas que se pueden dar en los hospitales, a través de la solución a una pregunta generada que indica ¿Cuál es la mejor programación de cirugías electivas para una institución prestadora de servicios de salud en un municipio del Centro del Valle del Cauca?, para este caso la Clínica objeto de estudio, la cual presta servicios de salud hasta nivel III y tiene una cobertura de algunos municipios del centro y norte del departamento del Valle del Cauca como Tuluá, Andalucía, Bugalagrande, Riofrío, Trujillo, San Pedro, Roldanillo, El Dovio, Bolívar, Sevilla y Caicedonia. Esta contribución se realiza a través de la programación de las cirugías electivas, mediante la formulación de un modelo matemático que contribuya a minimizar el tiempo de espera en el servicio. Adicionalmente, este trabajo también se justifica en el hecho de que contribuye a generar un DSS (*Decision Support system*) para la clínica en cuanto a la toma de decisiones con respecto al scheduling y todos los recursos que este contempla, como las salas, el personal médico, e instrumentos necesarios para llevar a cabo las cirugías que se programen.

Basados en la literatura con respecto a la problemática considerada, el tema abordado en este trabajo se denomina como “*Operating Room Scheduling*”. Este problema ha sido uno de los temas de investigación más complejos en los últimos años. (Landa, Aringhieri, Soriano, Tanfani, & Testi, 2016). Vijayakumar, Parikh, Scott, Barnes, & Gallimore (2013), denominan NP-Hard a este problema, debido a la gran cantidad de variables de decisión y restricciones. De igual forma, el problema presentado en este documento, posee la misma complejidad, generando un mayor consumo de recurso computacional para proporcionar una solución óptima.

Generalmente, estas problemáticas se resuelven por medio de tres tipos de métodos categorizados en exactos, heurísticos y meta-heurísticos. Los métodos exactos garantizan que la solución óptima se encontrará si se le otorga suficiente tiempo y espacio (*memoria*). Las heurísticas son aquellos métodos de resolución que frecuentemente encuentran una solución factible rápidamente con una calidad de solución razonable. (Ropke, 2005) Finalmente, una metaheurística puede verse como un marco algorítmico general que puede aplicarse a diferentes problemas de optimización con relativamente pocas modificaciones para adaptarlos a un

problema específico. Los ejemplos de metaheurísticas incluyen recocido simulado (SA), búsqueda tabú (TS), búsqueda local iterada (ILS), algoritmos evolutivos (EC) y optimización de colonias de hormigas (ACO). (Dorigo, 2019)

De acuerdo con la literatura científica, acerca de cómo se han abordado este tipo de problemáticas y los tipos de métodos, se encontró elementos que son comunes en la resolución de los mismos. *Jansson & Delgado (2000)* y *Patiño, Moreno, & Toro (2012)* aplican para la solución de la problemática abordada la programación lineal entera. El objetivo del primero era lograr la mejor asignación de los recursos con el fin de satisfacer la totalidad de la demanda; por otra parte, el segundo tiene como objetivo incrementar la utilización de los quirófanos, logrando así, optimizar el proceso de cirugía, obteniendo holguras positivas de horas médico año con respecto a la disponibilidad e incrementando la utilización de los quirófanos.

De igual forma, *Leguizamón & Paz (2011)* y *Rubilar (2016)*, utilizaron algoritmos como la heurística Best-Fit Descending y la metaheurística GRASP (*Greedy Randomized Adaptive Search Procedures*) con el objetivo de mejorar los indicadores de eficiencia del hospital y (*Rubilar, 2016*) consideró como medida de desempeño la maximización de la prioridad con la cual son listados los pacientes; con esto obtuvieron un aumento en el porcentaje de utilización por quirófano, lo cual reflejó una disminución importante de los costos operaciones permitiendo la inclusión de nuevos procedimientos y secuenciar las cirugías a realizarse durante un periodo de programación.

Por otro lado, *Wolff, Durán, & Rey (2012)* y *Mohammad, Saiedeh, & Reza (2018)* implementan un modelo de programación lineal entera mediante la aplicación de algoritmos constructivos desarrollados por los autores, obteniendo mejoras entre un 10% y un 15% del tiempo total de utilización de los quirófanos, lo cual, comparado con los métodos manuales utilizados en el caso de estudio, tienen un rendimiento mucho mejor apoyados en la prueba estadística. El análisis numérico muestra que el enfoque propuesto supera significativamente el calendario real del hospital. Finalmente, *Estupiñán & al., (2016)* utilizan las reglas de despacho, con el objetivo de reducir la variabilidad diaria en el servicio de cirugías y así aumentar la disponibilidad de los quirófanos y mejorar el tiempo de oportunidad por cirugía, para ello, implementaron el algoritmo Bin Packing con las reglas de despacho Longest Processing Time y Shortest Processing Time, como resultado incrementaron la tasa de ocupación promedio del servicio al pasar de un 51,06% a un 86%.

Para lograr el objetivo general del proyecto consistente en proponer un modelo de apoyo al proceso de toma de decisiones en la programación de cirugías electivas en una IPS del Centro del Valle del Cauca que contribuya a minimizar la tardanza total, se establecen tres objetivos específicos alineados al objetivo general como se detallan en la *Tabla 2*.

Tabla 2 Actividades y herramientas de cada objetivo específico

Objetivo	Actividad	Herramienta
Caracterizar el método actualmente implementado para la programación de cirugías electivas en la IPS objeto de estudio	Levantamiento de procesos.	Entrevistas y Bases de datos
	Identificación de restricciones.	
	Identificación de recursos disponibles.	
	Recolección de datos históricos.	
Definir un modelo matemático que considere los factores más relevantes de la programación de cirugías electivas	Determinación de factores, variables y recursos.	Software IBM ILOG y Base de datos
	Revisión de la literatura.	
	Elección de herramienta o método de solución.	
	Planteamiento del modelo de programación.	
	Implementación del modelo.	
Realizar un análisis y discusión de los resultados	Ejecución de diferentes instancias	Software IBM ILOG
	Variación de valores ponderadores	
	Validación	

Fuente: Autores

1 CARACTERIZACIÓN DEL MÉTODO ACTUALMENTE IMPLEMENTADO PARA LA PROGRAMACIÓN DE CIRUGÍAS ELECTIVAS EN LA IPS OBJETO DE ESTUDIO

La caracterización se realizó en una Clínica ubicada en el municipio de Tuluá Valle del Cauca, para lo cual se realizaron visitas a la institución con el fin de entrevistar al profesional encargado del área de cirugías y a dos auxiliares de cirugía (Ver 6.1 Anexo 1.), para entender cada uno de los procesos que se llevan a cabo en la programación de las cirugías electivas, conocer cuáles características del paciente se tienen en cuenta en el momento de listar una cirugía y por último, saber las limitantes para la clínica dentro del proceso de programación.

1.1 PROGRAMACIÓN DE CIRUGÍAS

- Las personas encargadas de realizar la programación de las cirugías electivas son los dos auxiliares de cirugía a través de una plataforma con la que cuenta la clínica, llamada GIIS (*Gestión Integral de Información de Salud*), allí se determina la hora inicio de la cirugía; el tiempo que esta tarda, cuyo tiempo de alistamiento del quirófano está contemplado en treinta minutos; el paciente a operar, la EPS a la cual pertenece, el teléfono, la edad y observaciones que se tengan sobre este, el procedimiento que se le realizará; el médico cirujano encargado de la operación así como el anestesiólogo y ayudante.
- Para las intervenciones que se realizan en la clínica, debe estar presente el médico especialista, encargado de llevar a cabo la cirugía, el anestesiólogo, un enfermero circulante, un ayudante médico y un instrumentador; ellos son asignados de acuerdo a la disponibilidad del especialista, ya que la institución depende del tiempo de estos y todo se programa con respecto a dicho tiempo.
- Para establecer el orden o prioridad en la programación de las cirugías de los pacientes se tiene en cuenta la edad y algunas patologías tales como diabetes, hipertensión o padecimiento de algún dolor intenso; ubicando al paciente de primero en la lista, sin embargo, este procedimiento se hace de manera subjetiva de acuerdo a la consideración que tenga el auxiliar de cirugía encargado de la programación.
- Con respecto al tiempo máximo establecido entre la solicitud de la cirugía y la ejecución de la misma, la normatividad estipula que debe ser 30 días calendario, sin embargo, según lo expresado por los auxiliares de cirugía, esto puede tardar un día, ocho días o hasta dos meses, dependiendo de la ocupación que tengan los especialistas.

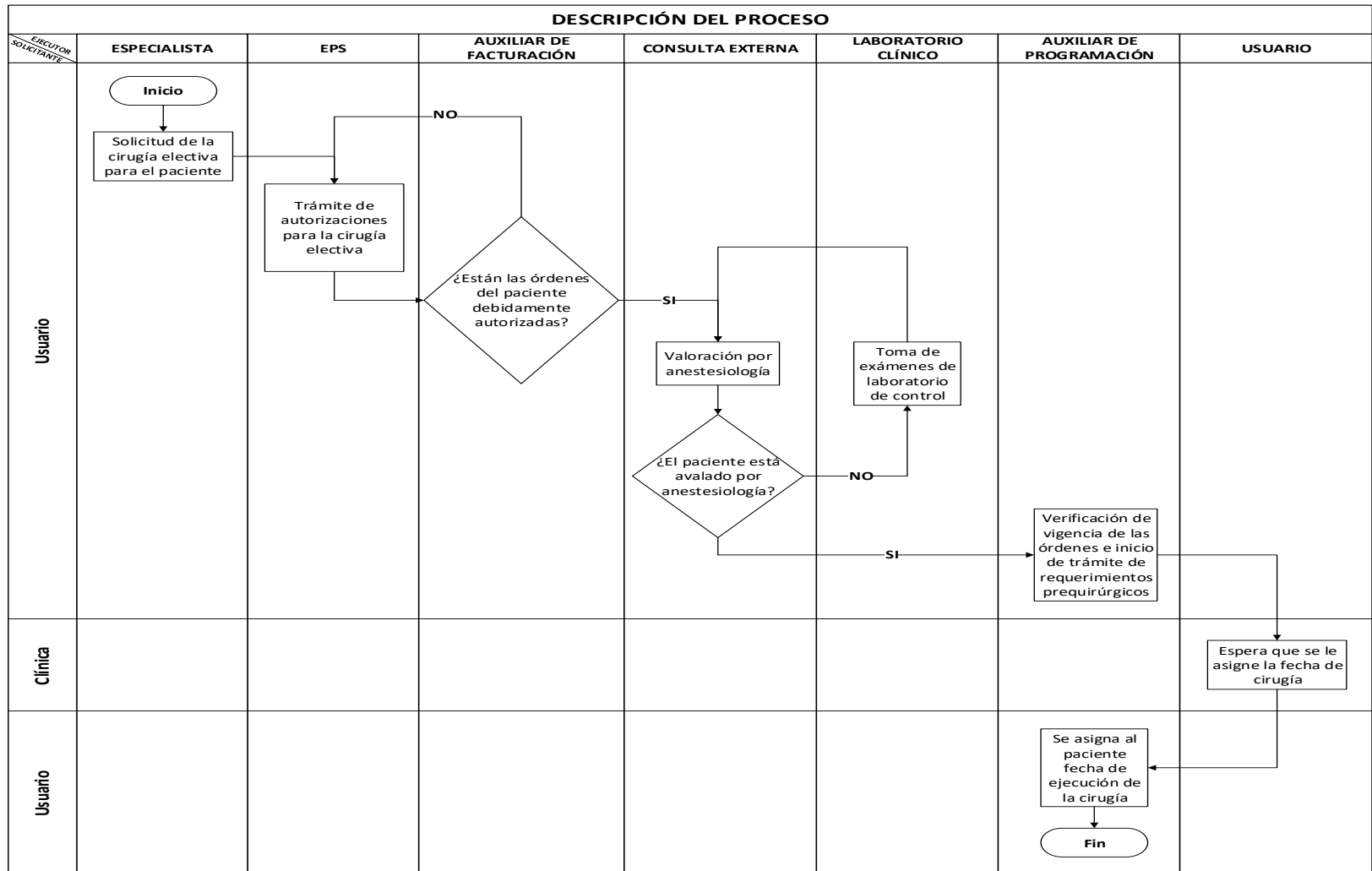
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

- 1.** Para iniciar el proceso de programación de una cirugía electiva, el paciente deberá solicitar las órdenes de la cirugía al médico especialista tratante.
- 2.** Posteriormente, el paciente se dirigirá hacia su EPS para la tramitación de la autorización de las órdenes.
- 3.** Con ellas, el paciente deberá dirigirse hacia el auxiliar de facturación de la Clínica para la posterior validación de las órdenes de prestación de servicios.

Si las órdenes están debidamente autorizadas, el paciente se enviará hacia consulta externa, de lo contrario, deberá redirigirse hacia la EPS para realizar nuevamente el proceso de autorización de órdenes.

- 4.** Una vez en consulta externa, el paciente es valorado por anestesiología; de ser avalado, el auxiliar de programación se encargará de la verificación de la vigencia de las órdenes autorizadas e inicio de trámites de requerimientos prequirúrgicos; si no es avalado, se enviará al paciente para toma de laboratorios de control y posterior a ello, el paciente deberá volver a consulta externa para ser valorado una vez más por anestesiología.
- 5.** Después de la realización de las diligencias, el paciente debe esperar a que le sea asignada la fecha de ejecución de la cirugía, cuya forma dependerá del tipo de intervención que se le vaya a realizar. Si al paciente le realizan uno o varios procedimientos menores, es decir, aquellos que no exigen más que la anestesia local, las indicaciones se harán vía telefónica y la fecha se asignará de igual forma, si por el contrario requiere uno o más procedimientos mayores, las indicaciones se harán de manera personal en el área de programación.

Ilustración 1 Diagrama de Flujo de Proceso de Programación de Cirugías Electivas



Fuente: Autores a partir de información de la IPS objeto de estudio

1.3 RECURSOS

- Actualmente la clínica cuenta con 5 quirófanos, de los cuales 4, están destinados a la realización de cirugías electivas, el restante, siempre está dispuesto para atender cirugías de urgencia. Estas salas, tienen la capacidad de realizar cualquier tipo de cirugía que se lleve a cabo en la institución según la información brindada por el personal.
- Los cuatro quirófanos dispuestos para la realización de cirugías electivas, están habilitados de 7:00am a 6:00pm de lunes a viernes.
- La clínica oferta 12 especialidades quirúrgicas las cuales son: Cirugía general, ginecología, obstetricia, ortopedia, pediatría, urología, oftalmología, oncología, neurocirugía, cirugía vascular periférica, cirugía plástica y anestesiología.
- Como se evidencia en la *Tabla 3*, la IPS cuenta con 26 profesionales especialistas, en ella se especifica cómo están asignados los médicos a los quirófanos, así como los días y los periodos en los cuales se encuentran.

Tabla 3 Disponibilidad del Personal Médico de la Clínica

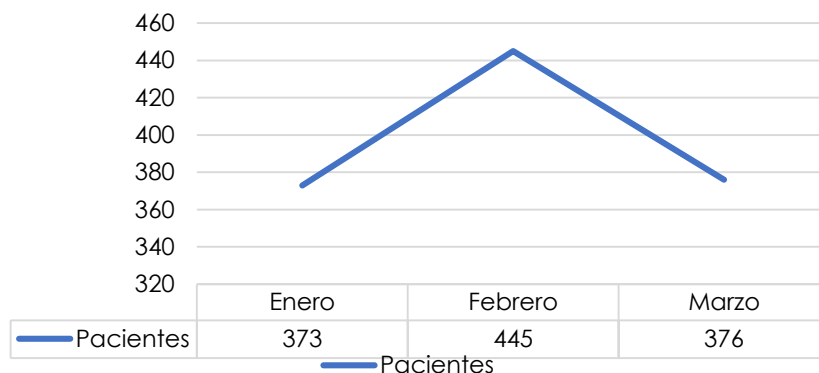
	LUNES			MARTES			MIÉRCOLES			JUEVES			VIERNES		
HORA	Q1	Q2	Q3	Q1	Q2	Q3	Q1	Q2	Q3	Q1	Q2	Q3	Q1	Q2	Q3
7:00			M4		M8	M10		M14	M16		M18	M22		M8	M16
8:00															
9:00															
10:00															
10:30	M1	M3	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M17	M20 – M21	M22	M23	M4	M25 – M26
11:00															
12:00															
13:00															
14:00	M1	M3	M5	M7	M9	M11	M13	M15		M17	M20 – M21		M23	M4	M25 – M26
15:00															
16:00															
17:00															
18:00															

Fuente: IPS Objeto de Estudio

1.4 CAPACIDAD

- No está establecido un límite respecto al número de pacientes a operar. En la *Gráfica 1* se muestra el número de pacientes que fueron intervenidos en el primer trimestre del año 2018.

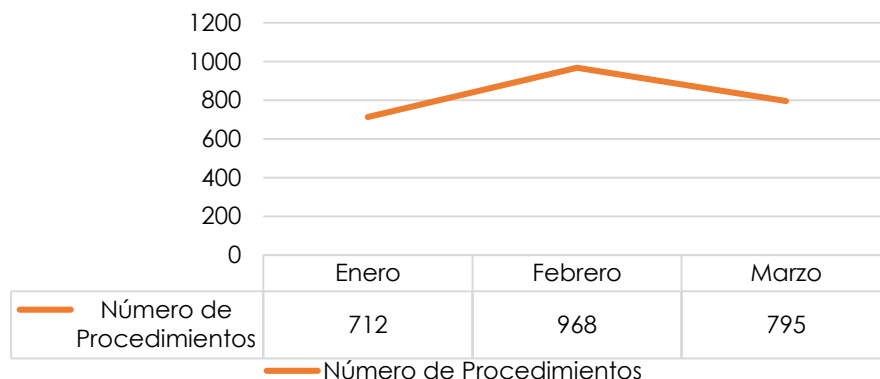
Gráfica 1 Número de pacientes a quienes se les practicó alguna cirugía electiva en el primer trimestre del año 2018



Fuente: Autores a partir de la información de la IPS objeto de estudio

- En la *Gráfica 2* se muestra las cirugías y/o procedimientos realizados en el mismo periodo.

Gráfica 2 Número de procedimientos realizados en el primer trimestre del año 2018



Fuente: Autores a partir de la información de la IPS objeto de estudio

- Con relación al cumplimiento de las cirugías, en ocasiones se presentan retrasos o cancelación debido a la preparación del quirófano o demoras en la cirugía que precede, sin embargo, no se tiene un registro detallado de estos eventos.

2 DEFINICIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO QUE CONSIDERE LOS FACTORES MÁS RELEVANTES DE LA PROGRAMACIÓN DE CIRUGÍAS ELECTIVAS

En este apartado se presenta de forma concreta los resultados de la búsqueda realizada a través de la literatura sobre los métodos que se han utilizado para solucionar problemas de programación de cirugías electivas permitiendo definir el modelo que más se adecuen al caso de estudio planteado en este documento.

Con base en la búsqueda realizada, se menciona el método escogido que considere las particularidades del problema.

Además, se muestran los supuestos o consideraciones y una descripción del modelo en cuanto a sus índices, parámetros, variables de decisión, función objetivo y restricciones.

Finalmente, se expone el resultado de programación generado por el modelo para la instancia máxima.

2.1 IDENTIFICACIÓN DE MÉTODOS DE SOLUCIÓN

En la literatura se encontraron varios métodos utilizados para la programación de cirugías electivas. En la *Tabla 4*, se presenta un resumen de diferentes contribuciones, de acuerdo al tipo de problema, recursos considerados, función objetivo y métodos de solución implementados.

Tabla 4 Resumen de los Documentos Estudiados

Artículo	Problema	Recursos					Función objetivo*	Método de solución**
	Schedulling	Quirófanos	Médicos	Enfermeras	Anestesiólogos	Equipos y herramientas		
Jansson & Delgado (2000)	X	X	X			X	[6]	[1]
Leguizamón & Paz (2011)	X	X					[2]	[2]
Wolff, Durán, & Rey (2012)	X	X	X				[1]	[1] [2]
Patiño, Moreno, & Toro (2012)	X	X					[2]	[1]
Rubilar (2016)	X	X	X				[1] [3]	[1] [3]
Estupiñan & al., (2016)	X	X					[2]	[2]
Mohammad, Saiedeh, & Reza (2018)	X	X	X	X	X	X	[4] [2] [5]	[1] [3]

Fuente: Autores

* [1] Maximización de la prioridad de los pacientes, [2] Maximización de la utilización de quirófanos, [3] Minimización del sobretiempo de utilización de los quirófanos, [4] Minimización de la tardanza de las cirugías, [5] Minimización del uso de horas extras, [6] Satisfacción de la demanda.

** [1] Modelación Matemática, [2] Heurísticas, [3] Meta-Heurísticas

En la tabla comparativa de trabajos, se puede observar una amplia implementación de la modelación matemática como método de solución al problema de programación de cirugías electivas, además los trabajos con mayor grado de similitud al proyecto abordado en este documento, son (Wolff, Durán, & Rey, 2012), (Rubilar, 2016) y (Mohammad, Saiedeh, & Reza, 2018) ya que desarrollan un modelo de programación de cirugías electivas que considera recursos limitados como lo son: los quirófanos, médicos especialistas y tiempo.

2.2 SELECCIÓN DEL MÉTODO

Después de analizar la literatura y considerando el alcance del proyecto que consiste en minimizar la tardanza en la asignación de los procedimientos quirúrgicos, se implementó la modelación matemática ya que se caracteriza por brindar soluciones de buena calidad considerando las diferentes restricciones.

Como modelos matemáticos base para la adecuación e implementación de acuerdo a las condiciones de la Clínica las cuales fueron presentadas en el capítulo anterior, se tomaron dos trabajos, el Algoritmo GRASP para la programación de cirugías electivas en un hospital público Chileno (Rubilar, 2016) al cual se seguirá denominando como “*primer trabajo*” y Programación de salas de operaciones de múltiples períodos y múltiples recursos bajo incertidumbre: Un caso de estudio (Mohammad, Saiedeh, & Reza, 2018) al cual se seguirá llamando como “*segundo trabajo*”.

El primer trabajo, se enfoca únicamente en la programación de las cirugías electivas, por tanto, todos los componentes del modelo van orientados hacia ello. El segundo trabajo, contempla adicionalmente los pacientes categorizados como semi - urgentes y los procesos pre y pos quirúrgicos.

En general, para la programación de cirugías electivas, ambos trabajos convergen en los índices que fueron tomados para el modelo presentado. Los parámetros establecidos se derivaron de ambos trabajos; donde aquellos relacionados con el tiempo de ejecución que es de carácter determinístico y la capacidad de médicos y salas para la realización de las cirugías, fueron tomados del primer trabajo; en el segundo trabajo se encuentra la disponibilidad de los médicos, el último día en que se puede realizar la cirugía de cada paciente y los factores ponderadores de la función objetivo.

Respecto a las variables de decisión, las primeras cinco del modelo presentado, se encuentran en los dos trabajos tomados como referencia y la última variable que está relacionada con la ocupación de los quirófanos fue tomada del segundo trabajo.

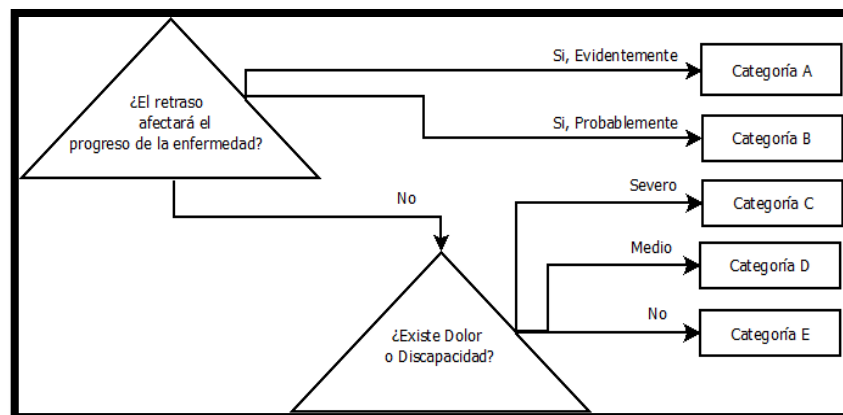
La función de desempeño que más se ajusta al objetivo de la presente investigación y que por tanto fue seleccionada, corresponde a la del segundo trabajo relacionada con la minimización de la tardanza. Con relación a las restricciones, siete de las catorce contempladas (*Sin contar la naturaleza de las variables*), son abordadas en ambos trabajos; cinco fueron tomadas del primer trabajo y dos del segundo.

2.3 SUPUESTOS DEL MODELO

2.3.1 Supuestos generales del problema

- El hospital cuenta con información detallada de la disponibilidad del personal médico especializado.
- Los médicos son especialistas en operar algunas intervenciones.
- Las intervenciones quirúrgicas requieren únicamente de un médico especialista.
- Para la disponibilidad de los médicos y la duración de la cirugía por paciente, se establecen periodos de tiempo de treinta minutos. *Rubilar (2016)*.
- No se consideran horas extras para los médicos y las salas quirúrgicas.
- En el modelo se contempla un parámetro dt_p el cual será dado a priori por el médico especialista que atendió al paciente. Este dato en el modelo es tomado como el último día d para realizar la cirugía del paciente p , el cual ayuda a considerar una prioridad del paciente en el momento en que una cirugía es programada; esta decisión será tomada por el médico para lo cual se sugiere tener en cuenta el siguiente árbol de decisión. (*Ver Ilustración 2*)

Ilustración 2 Categorización del Paciente



Fuente: (Wolff, Durán, & Rey, 2012)

2.3.2 Supuestos de los pacientes

- Las cirugías de los pacientes que van a ser programados son de carácter electivo.
- Los pacientes están disponibles para el instante de tiempo en que se les programe la cirugía.
- El tiempo de duración de la cirugía es determinístico dado que la Clínica objeto de estudio no proporcionó registros históricos de las duraciones reales de las cirugías por procedimiento.

2.3.3 Supuestos de las salas de cirugía

- Las salas quirúrgicas son paralelas, es decir, las cuatro salas que se encuentran disponibles para la ejecución de cirugías electivas, están equipadas para realizar cualquier tipo de procedimiento independientemente de la especialidad.
- Se contemplan periodos de alistamiento de treinta minutos los cuales son incluidos dentro del tiempo de ejecución de la cirugía.

2.3.4 Supuesto del equipo médico

- El personal encargado que debe estar en la ejecución de la cirugía son el médico especialista, el anestesiólogo, un enfermero circulante, un ayudante médico y un instrumentador.
- Siempre habrá equipo médico disponible si hay médico especialista para la cirugía.

2.3.5 Supuesto de los médicos

- Los médicos poseen cierta disponibilidad de horarios para la ejecución de las cirugías, así como atributos que permiten o no la realización de determinada cirugía ya que cada uno de ellos tiene asociada una especialidad.

2.4 MODELO MATEMÁTICO

2.4.1 Conjuntos

$p: \{1 \dots P\} \rightarrow$ Pacientes a programar, indexados por el subíndice p .

$m: \{1 \dots M\} \rightarrow$ Médicos disponibles para realizar las cirugías, indexado por el subíndice m .

$s: \{1 \dots S\} \rightarrow$ Número de salas de cirugía disponibles, indexado por el subíndice s .

$d: \{1 \dots D\} \rightarrow$ Días en los que se llevarán a cabo las cirugías, indexado por el subíndice d .

$t: \{1 \dots T\} \rightarrow$ Periodos de tiempo durante el día, indexado por el subíndice t .

2.4.2 Parámetros

$Toop_p$: Periodos necesarios para la cirugía del paciente p .

$Capm_{pm}$: 1, si el paciente p puede ser operado por el médico m .
0, en caso contrario.

$Caps_{ps}$: 1, si el paciente p puede ser operado en la sala s .
0, en caso contrario.

med_{mtd} : 1, si el médico m está disponible en el periodo t el día d .
0, en caso contrario.

RT : Última franja de los periodos t .

dt_p : Último día d para realizar la cirugía del paciente p .

WP : Factor ponderador para la minimización del tiempo de espera de las cirugías.

WS : Factor ponderador para la minimización del tiempo de inactividad de las salas.

2.4.3 Variables de decisión

X_{psmtd} : 1, si el paciente p se programa en la sala s con el médico m en el periodo t del día d .
0, en caso contrario.

Y_{psd} : 1, si el paciente p se programa en la sala s el día d .
0, en caso contrario.

U_{pm} : 1, si el paciente p es asignado al médico m .
0, en caso contrario.

ts_p : Periodo de inicio de la cirugía del paciente p .

te_p : Periodo de finalización de la cirugía del paciente p .

idt_{sd} : Tiempo de inactividad de la sala s el día d .

mdt_{md} : Tiempo de inactividad del médico m el día d .

2.4.4 Función objetivo

$Zmin \rightarrow$

Minimizar el tiempo de espera de la cirugía y el tiempo de inactividad de las salas por semana

$$Zmin = WP \left(\sum_{dt_p \leq D} \sum_p \sum_{s \atop d > dt_p}^S \sum_d^D (d - dt_p) * Y_{psd} + \sum_{dt_p < D}^P (D - dt_p + 1) (1 - \sum_s \sum_d Y_{psd}) \right) + \frac{WS}{T} \left(\sum_s \sum_d idt_{sd} \right)$$

El primer factor de la función objetivo contempla la tardanza de los pacientes que fueron asignados para el horizonte de tiempo tomado, el segundo factor suma a esa tardanza el tiempo de los pacientes que no son asignados en el horizonte de tiempo. La suma de ambos, es multiplicada por un factor de ponderación que para este caso es del 70% con base en el trabajo realizado por *Rubilar (2016)*, como resultado se obtiene unos días de tardanza de todos los pacientes listados / semana, el tercer factor adiciona a la función, los periodos ociosos de las salas para luego ser multiplicado por un factor de ponderación con valor de 30% con base en el trabajo realizado por *Rubilar (2016)* y posteriormente dividido en T con el fin de que el valor resultante esté en unidades de días y como resultado tener días perdidos de uso de las salas / semana.

2.4.5 Restricciones

1. En cualquier periodo de tiempo t un paciente p debe ser asignado a un médico m , una sala s y un día d .

$$\sum_s \sum_m \sum_d X_{psmtd} \leq 1 \quad \forall p, t$$

2. En cualquier sala s en un periodo de tiempo t y un día d , solo debe ser asignado un médico m y un paciente p .

$$\sum_p \sum_m X_{psmtd} \leq 1 \quad \forall s, t, d$$

3. A cualquier médico m en un periodo de tiempo t y un día d , solo debe ser asignado una sala s y un paciente p .

$$\sum_p \sum_s X_{psmtd} \leq 1 \quad \forall m, t, d$$

4. Un paciente solo puede ser operado en una sala s en un día d .

$$\sum_s \sum_d Y_{psd} \leq 1 \quad \forall p$$

5. Garantiza que el número de periodos t para cada cirugía de paciente p asignada, no sea mayor que el número máximo de periodos T .

$$\sum_m^M \sum_t^T X_{psmtd} \leq T * Y_{psd} \quad \forall p, s, d$$

6. Expresa la igualdad entre el número de asignación de médico m , sala s y día d para cada paciente p .

$$\sum_s^S \sum_d^D Y_{psd} = \sum_m^M U_{pm} \quad \forall p$$

7. Garantiza igualdad entre el número de periodos t asignados al paciente p y los periodos t necesarios para ejecutar la cirugía.

$$\sum_s^S \sum_m^M \sum_t^T \sum_d^D X_{psmtd} = T_{00p} * \sum_m^M U_{pm} \quad \forall p$$

8. Garantiza que el médico m asignado a la cirugía del paciente p tenga disponibilidad horaria para ejecutarla.

$$\sum_s^S X_{psmtd} \leq med_{mtd} * U_{pm} \quad \forall p, m, t, d$$

9. Capacidad del médico m para realizar la cirugía del paciente p .

$$\sum_s^S \sum_t^T \sum_d^D X_{psmtd} \leq Capm_{mp} * (te_p - ts_p) \quad \forall p, m$$

10. Capacidad de la sala s para realizar la cirugía del paciente p .

$$\sum_m^M \sum_t^T \sum_d^D X_{psmtd} \leq Caps_{sp} * (te_p - ts_p) \quad \forall p, s$$

11. Periodo t de inicio de la cirugía del paciente p .

$$ts_p \leq t * \sum_s^S \sum_m^M \sum_d^D X_{psmtd} + T * (1 - \sum_s^S \sum_m^M \sum_d^D X_{psmtd}) \quad \forall p, t$$

12. Periodo t de finalización de la cirugía del paciente p .

$$te_p \geq (t + 1) \sum_s \sum_m \sum_d X_{psmtd} \quad \forall p, t$$

13. Garantiza que el número de periodos t asignados a la cirugía del paciente p , sean igual a la diferencia entre el periodo de finalización e inicio de dicha cirugía.

$$\sum_m \sum_s \sum_t \sum_d X_{psmtd} \geq te_p - ts_p \quad \forall p$$

14. Garantiza que el valor de la variable sea igual a la diferencia entre el valor máximo de t y los periodos t que fueron asignados en cada una de las salas s .

$$idt_{sd} = RT - \sum_p \sum_m \sum_t X_{psmtd} \quad \forall s, d$$

15. Garantiza que el valor de la variable sea igual a la diferencia entre los periodos t de los médicos por día y los periodos que le fueron asignados.

$$mdt_{md} = \sum_t med_{mt} - \sum_t \sum_p \sum_s X_{psmtd} \quad \forall m, d$$

16. Naturaleza de las variables

$$X_{psmtd} \in \{0,1\} \quad \forall p, s, m, t, d$$

$$Y_{psd} \in \{0,1\} \quad \forall p, s, d$$

$$U_{pm} \in \{0,1\} \quad \forall p, m$$

$$te_p, ts_p \in \mathbb{Z} \geq 0 \quad \forall p$$

$$idt_{sd} \in \mathbb{Z} \geq 0 \quad \forall s, d$$

$$mdt_{md} \in \mathbb{Z} \geq 0 \quad \forall m, d$$

2.5 IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO

El modelo matemático anteriormente presentado, es implementado en el lenguaje de programación OPL, en el ambiente de programación IBM ILOG, para resolverlo así con el solver CPLEX, versión 12.8 académico. En un procesador Intel Core i5 de 3.4 GHz, 4GB de memoria RAM, en el sistema operativo Windows10 de 64 bits.

2.6 RESULTADOS OBTENIDOS

En la *Tabla 5* se muestran las características de la instancia máxima que en este caso es de cinco días, es decir, una semana hábil, para ello, se ingresaron datos de 92 pacientes con su respectivo tiempo de ejecución de cirugía y su *dt*, la compatibilidad de la cirugía con los diferentes médicos y salas y finalmente, la disponibilidad de los médicos, generando así un total de 1'057.046 variables y 277.610 restricciones.

Para la ejecución del modelo, se limitó el tiempo de procesamiento a cinco horas, alcanzando con ello un valor del objetivo igual a 34,86 días por semana, con un Gap de 11,41% con respecto a la solución relajada, esto indica que en una semana la tardanza de los quince pacientes con diferentes *dt* que no fueron programados, más los días perdidos por sala durante toda la semana y los pacientes que no fueron asignados en su último día *dt* si no en otro día (*Después del dt*) de la semana, multiplicado por los factores ponderadores, suman este valor.

La razón por la cual los quince pacientes no fueron programados en esta instancia, es porque la disponibilidad de los médicos durante la semana con los cuales su cirugía tenía compatibilidad, fue copada, que para este caso fueron los médicos especialistas en cirugía plástica y vascular.

En ocasiones, los pacientes con *dt* = 1 son programados en un día de la semana diferente al lunes, puesto que la cirugía a practicarle no tiene compatibilidad con la especialidad de los médicos de ese día (*lunes*) y así puede ocurrir con los otros pacientes.

Tabla 5 Características y Resultados de la Instancia Máxima

# Días	# Pacientes		# Programados
5	92		77
# Vars. Binarias	# Vars. Enteras		# Restricciones
1'056.712	334		277.610
T	Obj.	Bound	Gap (%)
05:01:15:01	34,86	30,88	11,41%

Fuente: Autores

En la *Tabla 6* se presenta la programación de los 77 pacientes con sus respectivos médicos especialistas encargados de realizar la cirugía, la sala quirúrgica asignada y los periodos en los cuales se llevará a cabo.

Tabla 6 Programación de una Semana

t	SALA 1					SALA 2				
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
1					P90/M16		P13/M8		P70/M22	P42/M8
2			P5/M16				P13/M8		P70/M22	P42/M8
3			P5/M16			P12/M4	P13/M8		P51/M18	P42/M8
4			P5/M16		P19/M8	P12/M4	P13/M8		P51/M18	
5		P3/M8	P5/M16		P19/M8	P12/M4			P51/M18	
6		P3/M8	P5/M16		P19/M8	P12/M4				
7		P3/M8			P19/M8	P12/M4	P64/M6		P66/M18	
8		P3/M8			P19/M8			P86/M14	P66/M18	
9		P20/M8	P43/M12		P19/M8			P86/M14	P80/M18	
10		P20/M8			P19/M8		P25/M10	P86/M14	P80/M18	
11	P33/M3	P20/M8		P53/M19			P25/M10	P86/M14		
12		P20/M8		P53/M19			P25/M10			
13						P31/M1	P75/M11	P52/M15		
14						P28/M1	P69/M8	P52/M15		P92/M25
15	P44/M3					P28/M1	P69/M8	P52/M15	P87/M20	P92/M25
16	P44/M3			P6/M17		P28/M1	P69/M8	P52/M15	P87/M20	P92/M25
17	P27/M1	P15/M11		P6/M17		P63/M3	P61/M8	P52/M15	P87/M20	P92/M25
18	P27/M1	P15/M11		P6/M17		P63/M3	P2/M7		P87/M20	P92/M25
19		P15/M11		P6/M17		P63/M3	P2/M7		P87/M20	P74/M26
20		P18/M11		P6/M17		P63/M3	P2/M7		P91/M22	P74/M26
21	P30/M5	P18/M11		P6/M17		P63/M3	P2/M7		P91/M22	P74/M26
22	P32/M5	P18/M11		P45/M22			P2/M7			
t	SALA 3					SALA 4				
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
1	P10/M4	P21/M10	P82/M14			P9/M2	P7/M6	P35/M16		
2	P10/M4	P21/M10	P82/M14			P9/M2	P7/M6			P55/M16
3		P21/M10	P82/M14			P9/M2	P56/M6		P67/M22	P55/M16
4		P21/M10	P82/M14			P9/M2	P56/M6		P67/M22	P55/M16
5		P21/M10	P82/M14			P9/M2	P56/M6		P67/M22	P55/M16
6		P21/M10	P82/M14			P9/M2	P56/M6		P67/M22	P55/M16
7	P76/M2						P23/M10	P22/M16	P67/M22	P55/M16
8	P76/M2	P4/M6			P88/M24		P23/M10	P22/M16	P67/M22	
9	P76/M2	P4/M6	P37/M16		P88/M24		P23/M10		P14/M22	
10	P76/M2	P4/M6	P37/M16		P88/M24			P49/M12	P14/M22	
11		P4/M6			P88/M24	P1/M5		P49/M12	P14/M22	
12	P36/M3				P88/M24	P1/M5	P57/M6	P49/M12	P14/M22	
13	P36/M3	P29/M9		P60/M17		P1/M5			P14/M22	P79/M26
14	P36/M3	P34/M7		P60/M17		P1/M5	P16/M11		P14/M22	P79/M26
15		P34/M7		P60/M17	P78/M23	P1/M5	P16/M11		P41/M22	P79/M26
16		P34/M7		P81/M21	P78/M23		P16/M11		P41/M22	P79/M26
17	P11/M5	P34/M7		P81/M21	P78/M23				P41/M22	P79/M26
18	P11/M5	P38/M9	P83/M15	P81/M21	P78/M23			P50/M13	P41/M22	P79/M26
19	P11/M5	P38/M9	P83/M15		P78/M23	P26/M1		P50/M13	P41/M22	
20	P11/M5	P85/M9		P54/M21	P78/M23	P26/M1		P50/M13		
21		P85/M9		P54/M21		P26/M1		P50/M13	P68/M20	
22	P65/M3	P85/M9	P47/M12	P54/M21		P8/M1				

Fuente: Autores

3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se muestra los resultados obtenidos por el modelo de programación lineal entero, para diferentes escenarios. Se tuvieron en cuenta 4 instancias en las que se varió el número de pacientes a programar y el horizonte de programación de las cirugías, para con ello, evaluar la función objetivo y analizar los recursos computacionales utilizados. Las 4 instancias se corrieron con 4 salas de cirugías, 26 médicos y 22 periodos de tiempo disponibles por día.

También, se exponen dos análisis realizados, en los cuales se adecuan los tiempos de ejecución y las cirugías de los pacientes a la disponibilidad de los médicos en el día lunes y luego, el día lunes y martes, esto con el objetivo de corroborar si el modelo programa todos los pacientes.

Adicionalmente, se realizan variaciones en la función objetivo las cuales son corridas con los datos de la instancia tres, para observar cómo es su comportamiento. En el primer escenario, se elimina de la función objetivo la parte que contempla a los pacientes que no son programados dentro del horizonte de tiempo y en el segundo escenario se reemplaza la variable *idt* que contempla la ociosidad de los quirófanos, por la variable *mdt* que contempla la ociosidad de los médicos.

Para conocer la sensibilidad de la programación a variaciones que se hagan en los factores ponderadores de los objetivos de la función de desempeño, se realiza un análisis a través de la aplicación de diferentes cambios a dichos factores, para observar cómo se altera o no la programación de los pacientes.

Por último, se expone una comparación entre la programación realizada por la Clínica y la programación resultante de la ejecución del modelo.

3.1 INSTANCIAS CORRIDAS

En la *Tabla 7* son expuestas las características de cada una de las instancias que fueron corridas en el modelo y en la *Tabla 8* se muestran los resultados obtenidos en ellas con respecto a la función objetivo y el tiempo de computo utilizado.

Tabla 7 Características de las Instancias

Instancia	# Pacientes	# Programados	# Días	# Vars. Binarias	# Vars. Enteras	# Restricciones
1	12	6	1	27.816	54	8.802
2	33	26	2	152.130	126	42.696
3	50	39	3	345.100	190	93.470
4	70	57	4	643.580	260	171.040

Fuentes: Autores

Tabla 8 Resultado de las Instancias

Instancia	Gap (%)	Bound	Obj.	T
1	0%	0,886	0,886	00:00:03:63
2	0%	6,89	6,89	00:01:52:82
3	0%	14,62	14,62	00:03:49:13
4	5,7%	21,45	22,75	02:31:55:78

Fuentes: Autores

De la *Tabla 9* a la *Tabla 12*, se presenta la programación de pacientes realizada por el modelo en cada instancia con sus respectivos médicos especialistas encargados de realizar la cirugía, la sala quirúrgica asignada y los periodos en los cuales se llevará a cabo dicha cirugía.

Tabla 9 Programación Instancia 1

	SALA 1	SALA 2	SALA 3	SALA 4
T	Lunes	Lunes	Lunes	Lunes
1			P12/M4	
2			P12/M4	
3			P12/M4	
4			P12/M4	
5			P12/M4	
6	P10/M4			
7	P10/M4			
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14		P8/M1	P11/M3	
15			P11/M3	
16			P11/M3	
17			P11/M3	P9/M1
18			P1/M3	P9/M1
19			P1/M3	P9/M1
20			P1/M3	P9/M1
21			P1/M3	P9/M1
22			P1/M3	P9/M1

Fuentes: Autores

Tabla 10 Programación Instancia 2

	SALA 1		SALA 2		SALA 3		SALA 4	
t	Lunes	Martes	Lunes	Martes	Lunes	Martes	Lunes	Martes
1	P8/M2	P25/M10			P10/M4			P3/M8
2		P25/M10		P7/M6	P10/M4			P3/M8
3		P25/M10		P7/M6			P2/M4	P3/M8
4	P9/M2	P23/M10					P2/M4	P3/M8
5	P9/M2	P23/M10				P13/M8	P2/M4	
6	P9/M2	P23/M10				P13/M8	P2/M4	
7	P9/M2			P4/M6		P13/M8	P2/M4	P21/M10
8	P9/M2			P4/M6		P13/M8		P21/M10
9	P9/M2			P4/M6		P20/M8		P21/M10
10				P4/M6		P20/M8		P21/M10
11			P11/M5			P20/M8		P21/M10
12			P11/M5			P20/M8	P33/M3	P21/M10
13	P27/M1	P15/M11	P11/M5					
14	P27/M1	P15/M11	P11/M5					
15	P26/M1	P15/M11						
16	P26/M1	P24/M11					P32/M5	P12/M4
17	P26/M1	P24/M11						P12/M4
18	P31/M1	P24/M11			P1/M3			P12/M4
19		P24/M11			P1/M3			P12/M4
20	P28/M1	P17/M11	P30/M5		P1/M3			P12/M4
21	P28/M1	P17/M11			P1/M3			
22	P28/M1	P17/M11			P1/M3	P29/M9		

Fuentes: Autores

Tabla 11 Programación Instancia 3

	SALA 1			SALA 2		
T	Lunes	Martes	Miércoles	Lunes	Martes	Miércoles
1		P13/M8		P2/M4		
2		P13/M8		P2/M4		
3		P13/M8		P2/M4		
4		P13/M8		P2/M4		
5				P2/M4	P20/M8	
6	P10/M4		P5/M16		P20/M8	
7	P10/M4	P23/M10	P5/M16		P20/M8	
8		P23/M10	P5/M16		P20/M8	
9		P23/M10	P5/M16			
10		P25/M10	P5/M16			
11		P25/M10		P30/M3	P7/M6	
12		P25/M10		P1/M3	P7/M6	

13	P27/M1	P15/M11		P1/M3		P47/M15
14	P27/M1	P15/M11		P1/M3		
15	P28/M1	P15/M11		P1/M3		
16	P28/M1	P18/M11		P1/M3		
17	P28/M1	P18/M11				
18		P18/M11		P8/M1		
19	P31/M1	P24/M11		P32/M5		P50/M15
20		P24/M11		P26/M1		P50/M15
21		P24/M11		P26/M1		P50/M15
22		P24/M11		P26/M1		P50/M15
	SALA 3			SALA 4		
T	Lunes	Martes	Miércoles	Lunes	Martes	Miércoles
1		P21/M10	P35/M16	P43/M2	P40/M6	
2		P21/M10			P40/M6	P37/M16
3		P21/M10		P9/M2	P40/M6	P37/M16
4		P21/M10	P22/M16	P9/M2	P40/M6	
5		P21/M10	P22/M16	P9/M2	P40/M6	
6		P21/M10		P9/M2		
7				P9/M2	P4/M6	
8				P9/M2	P4/M6	
9		P3/M8			P4/M6	
10		P3/M8	P49/M14		P4/M6	
11		P3/M8	P49/M14	P11/M5		
12		P3/M8	P49/M14	P11/M5		
13				P11/M5	P34/M7	
14				P11/M5	P34/M7	
15					P34/M7	
16				P33/M5	P34/M7	
17		P12/M7			P44/M9	
18		P12/M7			P44/M9	
19		P12/M7			P38/M9	
20		P12/M7		P36/M5	P38/M9	
21		P12/M7		P36/M5		
22				P36/M5	P29/M9	

Fuentes: Autores

Tabla 12 Programación Instancia 4

	SALA 1				SALA 2			
t	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves
1		P13/M8		P19/M22	P2/M4		P5/M16	
2		P13/M8		P19/M22	P2/M4		P5/M16	
3		P13/M8		P19/M22	P2/M4	P48/M6	P5/M16	

4		P13/M8	P49/M14	P19/M22	P2/M4	P48/M6	P5/M16	
5		P42/M8	P49/M14	P19/M22	P2/M4	P48/M6	P37/M16	
6		P42/M8	P49/M14	P19/M22	P10/M4	P48/M6	P37/M16	
7		P42/M8		P19/M22	P10/M4	P48/M6	P22/M16	
8		P20/M8		P41/M22			P22/M16	
9		P20/M8		P41/M22			P43/M12	
10		P20/M8		P41/M22	P8/M2	P23/M10	P35/M16	
11	P11/M5	P20/M8		P41/M22	P1/M3	P23/M10		
12	P11/M5	P45/M8		P41/M22	P1/M3	P23/M10		
13	P11/M5	P34/M7			P1/M3		P50/M15	P3/M22
14	P11/M5	P34/M7		P54/M20	P1/M3		P50/M15	P3/M22
15		P34/M7		P54/M20	P1/M3		P50/M15	P3/M22
16	P30/M5	P34/M7		P54/M20			P50/M15	P3/M22
17	P32/M5					P15/M11		P6/M17
18	P28/M1				P65/M5	P15/M11		P6/M17
19	P28/M1					P15/M11	P47/M15	P6/M17
20	P28/M1				P36/M5	P16/M11		P6/M17
21		P44/M9			P36/M5	P16/M11		P6/M17
22		P44/M9			P36/M5	P16/M11		P6/M17
SALA 3					SALA 4			
t	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves
1	P31/M2	P7/M6				P21/M10		P66/M18
2		P7/M6				P21/M10		P66/M18
3						P21/M10		
4					P9/M2	P21/M10		
5					P9/M2	P21/M10		
6					P9/M2	P21/M10		P51/M18
7					P9/M2	P25/M10		P51/M18
8		P4/M6			P9/M2	P25/M10		P51/M18
9		P4/M6			P9/M2	P25/M10		
10		P4/M6			P33/M5			
11		P4/M6		P53/M19				
12		P57/M6		P53/M19				
13							P52/M13	P68/M20
14		P61/M9		P60/M17		P17/M11	P52/M13	
15	P26/M1	P38/M9		P60/M17		P17/M11	P52/M13	
16	P26/M1	P38/M9		P60/M17	P63/M3	P17/M11	P52/M13	
17	P26/M1				P63/M3		P52/M13	P14/M22
18		P12/M7			P63/M3	P69/M9		P14/M22
19	P29/M5	P12/M7			P63/M3	P69/M9		P14/M22
20		P12/M7			P63/M3	P69/M9		P14/M22
21		P12/M7			P27/M1			P14/M22

22	P12/M7	P27/M1	P14/M22
----	--------	--------	---------

Fuente: Autores

3.2 VARIACIONES EN LA CIRUGÍA A PRACTICAR Y EL PARÁMETRO *T_{oo}*

En esta parte, el *T_{oo}* y la cirugía a practicar de los pacientes se modificó de acuerdo a la disponibilidad de los médicos, con el fin de corroborar si los pacientes que se le ingresaban al modelo eran o no programados en su totalidad.

En la *Tabla 13* se muestran las características de las instancias modificadas y en la *Tabla 14* los resultados obtenidos. Con su ejecución, se evidencia en la *Tabla 15* y *Tabla 16* que efectivamente se programa la totalidad de los pacientes ingresados, programando los 12 pacientes de 12 en la instancia 1A y los 33 de 33 pacientes en la instancia 2A.

Tabla 13 Características de las Instancias Ajustadas

Instancia	# Pacientes	# Programados	# Días	# Vars. Binarias	# Vars. Enteras	# Restricciones
1 ^a	12	12	1	27.816	54	8.802
2 ^a	33	33	2	152.130	126	42.696

Fuentes: Autores

Tabla 14 Resultados de las Instancias Ajustadas

Instancia	Gap (%)	Bound	Obj	T
1 ^a	0%	0,54	0,54	00:00:41:40
2 ^a	0%	0,87	0,87	00:02:15:60

Fuentes: Autores

Tabla 15 Programación Instancia 1 Ajustada

	SALA 1	SALA 2	SALA 3	SALA 4
T	Lunes	Lunes	Lunes	Lunes
1			P6/M2	P12/M4
2			P6/M2	P12/M4
3			P6/M2	P12/M4
4			P6/M2	P12/M4
5			P6/M2	P12/M4
6			P6/M2	P10/M4
7				P10/M4
8	P8/M2			
9				
10				

11	P11/M4	P2/M3		
12	P11/M4	P2/M3		
13	P11/M4	P2/M3		P9/M1
14	P11/M4	P2/M3		P9/M1
15	P3/M5	P2/M3		P9/M1
16	P3/M5	P7/M3		P9/M1
17	P3/M5	P7/M3		P9/M1
18	P3/M5		P1/M3	P9/M1
19		P4/M5	P1/M3	P5/M1
20		P4/M5	P1/M3	P5/M1
21		P4/M5	P1/M3	P5/M1
22		P4/M5	P1/M3	P5/M1

Fuente: Autores

Tabla 16 Programación Instancia 2 Ajustada

	SALA 1		SALA 2		SALA 3		SALA 4	
t	Lunes	Martes	Lunes	Martes	Lunes	Martes	Lunes	Martes
1			P9/M2	P25/M10		P13/M6	P12/M4	
2			P9/M2	P25/M10		P13/M6	P12/M4	
3			P9/M2	P25/M10		P13/M6	P12/M4	P18/M8
4		P26/M10	P9/M2			P13/M6	P12/M4	P18/M8
5		P26/M10	P9/M2			P22/M6	P12/M4	P18/M8
6		P26/M10	P9/M2			P22/M6	P10/M4	P17/M8
7	P5/M2			P21/M10		P14/M6	P10/M4	P17/M8
8	P5/M2			P21/M10		P14/M6		P17/M8
9	P5/M2	P24/M8		P21/M10		P14/M6		
10	P5/M2	P24/M8		P21/M10		P14/M6		
11	P1/M5	P24/M8		P21/M10		P14/M6	P3/M3	
12	P1/M5	P24/M8		P21/M10		P14/M6	P3/M3	
13	P1/M5			P19/M9			P3/M3	P31/M11
14	P1/M5	P15/M4		P19/M9		P32/M11	P3/M3	
15	P1/M5	P15/M4	P11/M3	P19/M9				P28/M11
16	P6/M1	P15/M4	P11/M3	P19/M9			P7/M5	P28/M11
17	P6/M1		P11/M3	P19/M9			P7/M5	P28/M11
18	P6/M1	P29/M11	P11/M3	P19/M9	P2/M5			
19	P6/M1	P20/M4		P19/M9	P2/M5	P16/M7	P4/M3	P30/M11
20	P6/M1	P20/M4		P23/M9	P2/M5	P16/M7	P4/M3	P27/M11
21	P6/M1	P20/M4		P23/M9	P2/M5	P16/M7	P4/M3	P27/M11
22	P8/M1	P20/M4		P23/M9	P2/M5		P4/M3	P33/M11

Fuente: Autores

3.3 VARIACIONES EN LA FUNCIÓN OBJETIVO

Para realizar un análisis de la función objetivo se hicieron variaciones en ella y se ejecutaron en la instancia 3. En la *Tabla 17* se observan los resultados de ambas variaciones comparado con el modelo propuesto, es decir, aquel que no tiene ninguna variación. La primera variación consistió en eliminar de la función objetivo la parte que contempla en la tardanza, los pacientes que no fueron programados, al hacer esto se observa que la función objetivo disminuye en más de 12 días por semana a pesar que el *idt* se ve incrementado. Esta disminución se da, ya que son menos los pacientes programados, pues al omitir los “no programados” en la función objetivo, el modelo no se ve obligado a programar los pacientes incluso en un *d* diferente al *dt* asociado.

La segunda variación consta en reemplazar en la función objetivo *idt* por *mdt*, al realizar esto la función objetivo disminuye solo como consecuencia de que *mdt* es un valor más pequeño que *idt*, pero como tal, no se genera ninguna mejora en el objetivo ni en la programación.

La programación resultante de estas variaciones, son presentadas en 6.2 Anexo 2.

Tabla 17 Comparación de las Variaciones con el Modelo Propuesto

	Objetivo	Gap (%)	mdt	Idt	# Pacientes	# Programados	T
Propuesto	14,62	0%	49	148	50	39	00:03:49:13
1ª Variación	2,19	0%	62	161	50	35	00:00:33:11
2ª Variación	13,27	0%	49	148	50	39	00:01:34:74

Fuente: Autores

3.4 ANÁLISIS CON RESPECTO A VARIACIONES EN LOS FACTORES PONDERADORES WP Y WS

En la *Tabla 18* se presentan los resultados obtenidos al realizar diferentes variaciones en los factores ponderadores *WP* y *WS*, que serán corridos con los datos de entrada de la instancia dos, esto con el objetivo de saber que tan sensible era la solución con respecto a la programación de las cirugías electivas arrojadas por el modelo.

Se puede determinar que la cantidad de pacientes programados para cirugía electiva de esta instancia, es la misma independiente del peso que se le dé a los ponderadores; adicionalmente los valores que toman las variables *mdt* e *idt* tampoco varían con respecto a estos cambios.

Sin embargo, si se dan cambios como tal en la programación de los pacientes como por ejemplo en los periodos de inicio y de terminación de las cirugías o los pacientes que son programados. (Ver 6.3 Anexo 3.)

La disminución o aumento del resultado de la función objetivo se debe a que para esta instancia el mayor valor en la función esta dado por los pacientes que no son programados más los que sí lo son en un día diferente a su respectivo *dt*, mientras que el valor de *idt* es menor en comparación, por tanto, si se aumenta el peso de *WP*, la función objetivo arrojará un valor más alto, por el contrario, si se disminuye el peso de este parámetro, el valor arrojado será menor.

Tabla 18 Resultado de la Instancia 2 con variaciones en los Factores Ponderadores

Factores Ponderadores		Objetivo	GAP	Idt	Mdt	# Programados	Tiempo
WP (%)	WS (%)						
40	60	5,79	0%	95	48	26	00:00:30:15
30	70	5,42	0%	95	48	26	00:00:29:68
20	80	5,05	0%	95	48	26	00:00:28:42
10	90	4,68	0%	95	48	26	00:00:29:06
80	20	7,26	0%	95	48	26	00:00:25:30
90	10	7,63	0%	95	48	26	00:00:26:79
60	40	6,53	0%	95	48	26	00:00:25:56
50	50	6,12	0%	95	48	26	00:00:16:70

Fuente: Autores

3.5 COMPARACIÓN ENTRE LA PROGRAMACIÓN DE LA CLÍNICA Y LA PROPUESTA.

En la *Tabla 19* se evidencia la programación de las cirugías electivas por parte de la clínica para un día viernes (Ver 6.4 Anexo 4), en la cual se observa la utilización extra de 34 periodos de tiempo de treinta minutos. Son consideradas extras puestos que, según la disponibilidad de los médicos proporcionada por la clínica, el médico HE, no se encuentra disponible o programado para el día viernes. También se puede observar que al médico 6 se le programa un periodo extra, pasando del límite de programación de las salas el cual es de 22 periodos.

Tabla 19 Programación de la Clínica para Cirugías Electivas

	SALA 1	SALA 2	SALA 3	SALA 4
T	Viernes	Viernes	Viernes	Viernes
1	P1/M1-HE	P7/M2	P10/M3	
2	P1/M1-HE	P7/M2	P10/M3	
3	P1/M1-HE	P7/M2	P11/M4-HE	
4	P1/M1-HE	P7/M2	P11/M4-HE	
5	P2/M1-HE	P7/M2	P11/M4-HE	
6	P2/M1-HE	P7/M2	P12/M4-HE	
7	P2/M1-HE	P7/M2	P12/M4-HE	
8	P2/M1-HE	P8/M2	P12/M4-HE	
9	P2/M1-HE	P8/M2		
10	P2/M1-HE	P8/M2		
11	P3/M2-HE	P8/M2		
12	P3/M2-HE			
13	P3/M2-HE		P13/M6	
14	P4/M2-HE		P13/M6	
15	P4/M2-HE		P13/M6	P17/M4
16	P4/M2-HE	P9/M3-HE	P14/M6	P18/M4
17	P5/M2-HE	P9/M3-HE	P14/M6	P19/M4
18	P5/M2-HE	P9/M3-HE	P14/M6	P20/M4
19	P5/M2-HE	P9/M3-HE	P15/M6	P21/M4
20	P6/M2-HE	P9/M3-HE	P15/M6	
21	P6/M2-HE	P9/M3-HE	P16/M6	
22	P6/M2-HE		P16/M6	
23			P16/M6	

Fuente: Autores

De acuerdo con la propuesta de programación de cirugías electivas plasmada en la *Tabla 20*, los pacientes son programados con base en la disponibilidad horaria de los médicos del día viernes, sin recurrir a la utilización de horas extras, sin embargo, no se programa la totalidad de los pacientes, debido a la compatibilidad de sus cirugías con la especialidad de los médicos especialistas de este día.

Tabla 20 Programación Propuesta

	SALA 1	SALA 2	SALA 3	SALA 4
T	Viernes	Viernes	Viernes	Viernes
1	P8/M2			
2	P8/M2			
3	P8/M2			
4	P8/M2			
5	P2/M2			
6	P2/M2			P10/M3
7	P2/M2			P10/M3

8	P2/M2	P21/M5		
9	P2/M2			P18/M5
10	P2/M2			
11			P19/M5	
12				P20/M5
13	P13/M6			P9/M7
14	P13/M6			P9/M7
15	P13/M6			P9/M7
16	P16/M6			P9/M7
17	P16/M6			P9/M7
18	P16/M6			P9/M7
19	P12/M7		P11/M6	P17/M4
20	P12/M7		P11/M6	
21	P12/M7		P11/M6	
22	P12/M7			

Fuente: Autores

Como se evidencia en la *Tabla 21*, haciendo una comparación entre la programación de los médicos de la Clínica para la ejecución de las cirugías y la disponibilidad de los médicos para ese día, se observa que algunos médicos quedan con gran cantidad de periodos ociosos.

Tabla 21 Tiempo Ocioso por Médico

Medico	Tiempo ocioso viernes (Periodos)
M1	12
M2	0
M3	5
M4	9
M5	1
M6	1
M7	0

Fuente: Autores

4 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

- La programación de cirugías electivas de forma manual se apoya en muchos casos en software como en este caso GIS que ayuda a conservar y ordenar la información de cada cirugía de acuerdo a las características de los paciente, sin embargo, dichos softwares no garantizan el aumento o contribución a las actividades logísticas, en este caso del área de cirugías electivas, adicionalmente, hacer la programación de forma manual requiere invertir demasiado tiempo para tomar buenas decisiones que no afecten la salud de las personas y brindar un servicio de calidad.
- Recurrir a métodos de modelación matemática para la programación de cirugías electivas representa una gran mejora para las instituciones prestadoras de servicios de salud puesto que brinda una programación en un horizonte de tiempo amplio, en menos tiempo que al realizarla de forma manual, además, evita posibles errores de programación de médicos especialistas, salas quirúrgicas u horas de inicio y terminación de las intervenciones.
- En el primer objetivo específico, se logró conocer los diferentes recursos y limitantes que posee la clínica para la programación de las cirugías electivas lo cual sirvió como datos de entrada para las diferentes corridas que se ejecutaron en el modelo con el fin de dar cumplimiento a los objetivos específicos dos y tres. Mediante la caracterización se logra evidenciar que el recurso limitante son los médicos de algunas especialidades, ya que en las corridas realizadas se observa que la mayor proporción de cirugías electivas que no son programadas, son de la especialidad de Cirugía Vascular y Cirugía Plástica.
- Se definió un modelo matemático que mediante optimización exacta permitió realizar la programación de las cirugías electivas de la clínica objeto de estudio en un horizonte de tiempo hasta de cinco días, el cual cumpliera con todas las restricciones en cuanto a disponibilidad de médicos, quirófanos, tiempo entre otros factores.
- Con los resultados obtenidos del modelo matemático se concluye que, las restricciones tenidas en cuenta son cumplidas de forma satisfactoria garantizando así que el objetivo de la función, hallado por el programa sea el mínimo posible cumpliendo con los recursos y limitaciones de la clínica para las instancias uno, dos y tres; en las instancias cuatro y cinco, aunque se

satisfacen todas las restricciones del modelo, el programa no alcanza el óptimo global debido al tamaño de los datos de entrada para cada una de ellas.

- El modelo trata de minimizar en gran medida los tiempos muertos de las salas, sin embargo, una de las restricciones es la disponibilidad de los médicos especialistas por periodo de tiempo por día, por tanto, las salas quirúrgicas que están dispuestas para la ejecución de cirugías electivas siempre tendrán tiempos muertos u ociosos debido a la disponibilidad que maneja cada uno de los médicos especialistas con los que cuenta la clínica. Adicionalmente, se busca minimizar la tardanza de la asignación de las cirugías, mediante un dt , sin embargo, este siempre tendrá un valor mayor a 0 puesto que la clínica no tiene disponibilidad de todas las especialidades todos los días, por tanto, si un paciente tiene un $dt = 1$ con una cirugía ginecológica, pero para el lunes no hay médico especialista en ginecología se incurrirá en una tardanza ya que se programará otro día, así mismo, un paciente puede ser “no programado” a razón de que la disponibilidad de los médicos que atienden esa especialidad ya esté copada.
- Si el modelo se llegase a implementar en la clínica objeto de estudio, los pro que tendrían son en primera instancia garantizar la mejor programación de los pacientes en su lista de espera, segundo, no sobrepasarse en la utilización de los recursos con los que cuenta como son las salas de cirugía y su mayor limitante, los médicos especialistas, lograr tener la programación de una semana en menos tiempo puesto que a pesar de que al modelo le toma cinco horas realizar la programación, hacer cinco días de forma manual es mucho más tedioso, y por último minimizar en gran medida los errores que se puedan generar durante la programación.
- El modelo presentado en este trabajo puede ser aplicado en distintas institución prestadora de salud que requiera de la programación de cirugías electivas, aunque se debe tener en cuenta que el modelo brinda soluciones de buena calidad y en poco tiempo dependiendo del tamaño de los datos de entrada, es decir, como se mostró en el análisis y discusión de los resultados, al pasar de instancia a instancia el tiempo computacional aumenta así como el GAP de la solución, en otras palabras, a medida que las entradas del modelo aumentan, la complejidad computacional también lo hace.
- Como futuros trabajos se recomienda implementar una metaheurísticos para realizar una programación en un menor tiempo computacional.
- Diseñar una herramienta con una interfaz que permita la fácil interacción para el usuario.

- Incluir en el modelo matemático los costos operativos asociados a la programación de cirugías electivas.
- Considerar el efecto en la programación de cirugías electivas al realizar variaciones en los tiempos de alistamiento, los cuales dependerán de la secuencia de las cirugías. Para ello se recomienda a la Clínica objeto de estudio recolectar información de los tiempos de alistamiento entre procedimientos.

5 BIBLIOGRAFÍA

- Amaya, C., Beaulieu, M., Landry, S., Rebolledo, C., & Velasco, N. (2010). Potenciando la contribución de la logística hospitalaria: tres casos, tres trayectorias. *Management International*, 85 - 98.
- Bejarano, M. (2011). Evaluación Cuantitativa en la Eficiencia en las salas de Cirugía. *Rev. Colombia*.
- Burkard, R. E. (2009). *Assignment Problems*.
- CHRISTUS, R. d. (s.f.). *Cirugía general*. Obtenido de http://redsalud.uc.cl/ucchristus/Especialidades/cirurgia_general.act
- Dexter, F., & Macario, A. (2002). Changing Allocations of Operating Room Time From a System Based on Historical Utilization to One Where the Aim is to Schedule as Many Surgical Cases as Possible. *International Anesthesia Research Society*.
- Dorigo, M. (2019). *Metaheuristics Network*. Obtenido de <http://www.metaheuristics.org/index.php%3Fmain=1.html>
- Española, R. A. (s.f.). *RAE*. Obtenido de www.rae.es
- Estupiñan, A., & al., e. (2016). Reglas de Despacho en la Programación de Procedimientos Quirúrgicos Electivo: Impacto en los indicadores de ocupación y oportunidad. *Ciencia Salud*.
- Gobernación del Valle del Cauca. (2017). Informe PQR. *Gobernación del Valle del Cauca*, 1.
- González, B., Moreno, F., & Dueñas, R. (2016). Optimización de la programación quirúrgica del cardiocentro "Ernesto Che Guevara" a través de un modelo matemático. *Revista Cubana de Informática Médica*.
- Google. (s.f.). *Diccionario de google*. Obtenido de <https://www.google.com.co/search?hl=es&q=Diccionario>
- Jansson, A., & Delgado, C. (2000). Optimización del proceso de cirugía en hospitales públicos. Una aplicación de la modelación matemática entera en la prestación de atenciones quirúrgicas en el hospital el Salvador, Santiago, Chile. *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*.
- Jose M. Molina-Pariente, J. M.-G. (2010). Algoritmos aproximados para la resolución de la planificación de intervenciones quirúrgicas. *QUANTITATIVE METHODS*.
- Landa, P., Aringhieri, R., Soriano, P., Tanfani, E., & Testi, A. (2016). A hybrid optimization algorithm for surgeries scheduling. *Sciencie Direct*, 103-104.
- Leguizamón, P., & Paz, A. (2011). Mejoramiento Del Proceso De Programación De Cirugías De Una Institución Hospitalaria De La Ciudad De Cali.
- Ministerio de la Protección Social. (2011). Biblioteca Nacional de Indicadores de Calidad de la Atención en Salud. *Ministerio de la Protección Social*, 9.
- Ministerio de Salud. (2015). *Informe Nacional de Calidad de la Atención en Salud*. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.

- Ministerio de Salud. (2017). *Encuesta Nacional de Evaluación de los Servicios de las EPS*. Bogotá.
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2018). *La Tutela en Salud*. Bogotá.
- Mohammad, V. S., Saiedeh, G., & Reza, R. (2018). Multi-period and Multi-resource Operating Room Scheduling Under Uncertainty: A Case Study. *ELSEVIER*.
- Patiño, N., Moreno, M. P., & Toro, E. (2012). Modelamiento Matemático del Problema de Ocupación de Quirófanos. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*.
- Pinedo. (2018). *Scheduling Theory, Algorithms, and Systems*.
- Rivard, H., Landry, S., & Beaulieu, M. (2002). Hybrid stockless: a case study: Lessons for health-care supply chain integration. *International Journal of Operations & Production Management*, 412 - 424.
- Ropke, S. (2005). Heuristic and exact algorithms for vehicle routing problems. PhD thesis, Computer Science Department, University of Copenhagen.
- Rubilar, I. (2016). *Algoritmo GRASP para la Programación de Cirugías Electivas en un Hospital Público Chileno*.
- Secpre.org. (s.f.). *Que es La Cirugía Plástica*. Obtenido de <https://secpre.org/pacientes/que-es-la-cirug%C3%ADa-pl%C3%A1stica>
- Vijayakumar, B., Parikh, P., Scott, R., Barnes, A., & Gallimore, J. (2013). A dual bin-packing approach to scheduling surgical cases at a publicly-funded hospital. *Science Direct*, 583-591.
- Wolff, P., Durán, G., & Rey, P. (2012). Modelos de Programación Matemática para Asignación de Pabellones Quirúrgicos en Hospitales Públicos. *Revista Ingeniería de Sistemas*.

6 ANEXOS

6.1 Anexo 1. PREGUNTAS REALIZADAS EN LA ENTREVISTA

PROGRAMACIÓN

1. ¿Quién es la persona encargada de llevar a cabo la programación de las cirugías electivas?
2. ¿Qué método de asignación aplican para la programación de cirugías electivas? (*Cómo hacen la programación en la actualidad*)
3. ¿Se tiene en cuenta la prioridad de los pacientes en el momento de programar las cirugías?
4. ¿Cuánto es el número de pacientes máximo que programan por mes?

CIRUGÍA

1. ¿Mediante qué parámetros determinan la prioridad de una cirugía?
2. ¿Cuántas cirugías se realizan por mes?
3. ¿Han podido dar cumplimiento a las fechas programadas para las cirugías mediante el método que actualmente es implementado?
4. ¿Cuánto tiempo llevan implementando el método?
5. ¿Cuánto es el tiempo máximo establecido entre la solicitud de la cirugía y la ejecución de la misma?

ESPECIALIDAD

1. ¿Qué especialidades atiende la IPS?
2. ¿Cuáles son las cirugías que se realizan de cada una de las especialidades?

MÉDICOS

1. ¿Con qué personal médico especializado cuenta actualmente la IPS?
2. ¿La institución debe adaptarse a los horarios de los especialistas, o es la institución quien los establece?
3. ¿Cuántas personas intervienen en las cirugías y de qué especialidad?
4. ¿De qué forma se asigna el personal?

SALAS

1. ¿Cuántas salas quirúrgicas tiene la IPS?
2. ¿Las salas están equipadas para determinadas especialidades o se dan los recursos necesarios dependiendo de la cirugía que se programa a la sala?
3. ¿Todas las salas quirúrgicas pueden llevar a cabo cualquier cirugía?
4. ¿Se tienen establecidos bloques de tiempo para cada una de las especialidades que maneja la IPS o no?
5. ¿Tiempos y/o horarios de disponibilidad de cada quirófano por semana?

6. ¿Turnos en los cuales se programan las salas para la realización de cirugías electivas?

6.2 Anexo 2. PROGRAMACIÓN DE LAS VARIACIONES EN LA F. OBJETIVO

Tabla A. 1 Programación 1ª Variación

	SALA 1			SALA 2		
T	Lunes	Martes	Miércoles	Lunes	Martes	Miércoles
1	P10/M4	P25/M10			P42/M8	
2	P10/M4	P25/M10			P42/M8	
3		P25/M10		P43/M2	P42/M8	
4					P23/M10	
5					P23/M10	
6					P23/M10	
7						
8					P41/M8	
9					P41/M8	
10					P41/M8	
11	P44/M5			P36/M3	P41/M8	
12	P44/M5			P36/M3	P41/M8	
13	P31/M1			P36/M3		
14				P28/M1		
15	P1/M5			P28/M1		
16	P1/M5	P39/M11		P28/M1		
17	P1/M5	P39/M11			P38/M9	
18	P1/M5	P39/M11			P38/M9	
19	P1/M5	P34/M7	P50/M13			
20		P34/M7	P50/M13			
21	P29/M5	P34/M7	P50/M13			
22	P33/M3	P34/M7	P50/M13		P30/M9	
	SALA 3			SALA 4		
1	P8/M2	P48/M6				
2		P48/M6				
3	P12/M4	P48/M6	P35/M16			
4	P12/M4	P48/M6	P37/M16	P9/M2	P13/M8	
5	P12/M4	P48/M6	P37/M16	P9/M2	P13/M8	
6	P12/M4			P9/M2	P13/M8	
7	P12/M4	P24/M10		P9/M2	P13/M8	P49/M12
8		P24/M10		P9/M2	P40/M6	P49/M12
9		P24/M10		P9/M2	P40/M6	P49/M12
10		P24/M10			P40/M6	
11		P24/M10			P40/M6	
12		P24/M10			P40/M6	
13		P16/M11				
14		P16/M11				
15	P11/M3	P16/M11				

16	P11/M3					
17	P11/M3			P27/M1		
18	P11/M3			P27/M1		
19	P26/M1	P24/M11				P47/M15
20	P26/M1	P24/M11				
21	P26/M1	P24/M11				
22		P24/M11		P32/M5		

Fuente: Autores

Tabla A. 2 Programación 2ª Variación

	SALA 1			SALA 2		
T	Lunes	Martes	Miércoles	Lunes	Martes	Miércoles
1		P25/M10		P12/M4		
2	P49/M2	P25/M10		P12/M4	P7/M6	
3	P49/M2	P25/M10		P12/M4	P7/M6	
4	P49/M2	P4/M6		P12/M4		
5	P9/M2	P4/M6		P12/M4	P20/M8	
6	P9/M2	P4/M6		P10/M4	P20/M8	
7	P9/M2	P4/M6		P10/M4	P20/M8	
8	P9/M2				P20/M8	
9	P9/M2	P13/M8				
10	P9/M2	P13/M8				
11	P32/M5	P13/M8		P38/M3		
12	P11/M5	P13/M8		P38/M3		
13	P11/M5	P30/M9			P15/M11	
14	P11/M5				P15/M11	
15	P11/M5			P36/M3	P15/M11	
16	P33/M5			P36/M3	P18/M11	
17				P36/M3	P18/M11	P47/M13
18		P2/M7		P27/M1	P18/M11	
19		P2/M7		P27/M1		
20		P2/M7				
21		P2/M7			P29/M9	
22		P2/M7				
	SALA 3			SALA 4		
1		P3/M8	P37/M16	P31/M2		
2		P3/M8	P37/M16			
3		P3/M8	P43/M14			P35/M16
4		P3/M8	P22/M16		P23/M10	
5			P22/M16		P23/M10	
6					P23/M10	P5/M16
7		P21/M10				P5/M16
8		P21/M10			P40/M6	P5/M16
9		P21/M10			P40/M6	P5/M16
10		P21/M10			P40/M6	P5/M16
11		P21/M10			P40/M6	

12		P21/M10			P40/M6	
13	P8/M1				P34/M7	
14					P34/M7	
15	P28/M1				P34/M7	P50/M15
16	P28/M1				P34/M7	P50/M15
17	P28/M1					P50/M15
18				P1/M3		P50/M15
19		P24/M11		P1/M3	P44/M9	
20	P26/M1	P24/M11		P1/M3	P44/M9	
21	P26/M1	P24/M11		P1/M3		
22	P26/M1	P24/M11		P1/M3		

Fuente: Autores

6.3 Anexo 3. PROGRAMACIÓN DE COMBINACIONES EN WP Y WS

Tabla A. 3 Programación WP = 40 WS = 60

t	SALA 1		SALA 2		SALA 3		SALA 4	
	Lunes	Martes	Lunes	Martes	Lunes	Martes	Lunes	Martes
1	P9/M2	P13/M8	P2/M4	P23/M10				
2	P9/M2	P13/M8	P2/M4	P23/M10				
3	P9/M2	P13/M8	P2/M4	P23/M10				
4	P9/M2	P13/M8	P2/M4			P25/M10		
5	P9/M2	P3/M8	P2/M4			P25/M10		
6	P9/M2	P3/M8			P10/M4	P25/M10		P4/M6
7		P3/M8		P21/M10	P10/M4			P4/M6
8		P3/M8	P27/M2	P21/M10				P4/M6
9		P20/M8	P27/M2	P21/M10				P4/M6
10		P20/M8		P21/M10				P7/M6
11	P30/M5	P20/M8	P33/M3	P21/M10				P7/M6
12		P20/M8		P21/M10				
13				P18/M11				
14	P8/M1		P32/M5	P18/M11				
15			P28/M1	P18/M11				
16			P28/M1					P17/M11
17	P11/M5	P12/M4	P28/M1					P17/M11
18	P11/M5	P12/M4	P26/M1		P1/M3			P17/M11
19	P11/M5	P12/M4	P26/M1		P1/M3	P24/M11		
20	P11/M5	P12/M4	P26/M1		P1/M3	P24/M11		
21	P31/M1	P12/M4	P29/M5		P1/M3	P24/M11		
22					P1/M3	P24/M11		

Fuente: Autores

Tabla A. 4 Programación WP = 30 WS = 70

	SALA 1		SALA 2		SALA 3		SALA 4	
t	Lunes	Martes	Lunes	Martes	Lunes	Martes	Lunes	Martes
1	P2/M4			P13/M8	8/M2	P21/M10		P7/M6
2	P2/M4			P13/M8	P26/M2	P21/M10		P7/M6
3	P2/M4			P13/M8	P26/M2	P21/M10		
4	P2/M4			P13/M8	P26/M2	P21/M10		P4/M6
5	P2/M4	P20/M8			P9/M2	P21/M10		P4/M6
6	P10/M4	P20/M8			P9/M2	P21/M10		P4/M6
7	P10/M4	P20/M8			P9/M2	P23/M10		P4/M6
8		P20/M8			P9/M2	P23/M10		
9				P3/M8	P9/M2	P23/M10		
10		P25/M10		P3/M8	P9/M2			
11		P25/M10		P3/M8	P29/M5			
12		P25/M10		P3/M8	P11/M5			
13					P11/M5	P24/M11	P28/M1	
14		P33/M9			P11/M5	P24/M11	P28/M1	
15					P11/M5	P24/M11	P28/M1	
16		P12/M7			P1/M3	P24/M11		
17		P12/M7		P15/M11	P1/M3		P31/M1	P30/M9
18		P12/M7		P15/M11	P1/M3			
19		P12/M7		P15/M11	P1/M3			
20		P12/M7			P1/M3	P18/M11		
21		P32/M9			P27/M1	P18/M11		
22					P27/M1	P18/M11		

Fuente: Autores

Tabla A. 5 Programación WP = 20 WS = 80

	SALA 1		SALA 2		SALA 3		SALA 4	
t	Lunes	Martes	Lunes	Martes	Lunes	Martes	Lunes	Martes
1		P7/M6	P31/M2	P13/M8			P10/M4	P21/M10
2		P7/M6		P13/M8	P26/M2		P10/M4	P21/M10
3	P12/M4			P13/M8	P26/M2			P21/M10
4	P12/M4			P13/M8	P26/M2			P21/M10
5	P12/M4	P20/M8			P9/M2			P21/M10
6	P12/M4	P20/M8			P9/M2			P21/M10
7	P12/M4	P20/M8		P25/M10	P9/M2			
8		P20/M8		P25/M10	P9/M2			
9		P3/M8		P25/M10	P9/M2			P4/M6
10		P3/M8			P9/M2	P23/M10		P4/M6
11		P3/M8			P1/M3	P23/M10		P4/M6
12		P3/M8			P1/M3	P23/M10		P4/M6
13					P1/M3	P24/M11	P28/M1	

14					P1/M3	P24/M11	P28/M1	
15		P2/M7			P1/M3	P24/M11	P28/M1	
16		P2/M7				P24/M11		
17		P2/M7		P15/M11				
18		P2/M7	P11/M5	P15/M11				
19		P2/M7	P11/M5	P15/M11	P8/M1			P30/M9
20		P17/M11	P11/M5					
21		P17/M11	P11/M5		P27/M1			P32/M9
22		P17/M11			P27/M1	P33/M9	P29/M5	

Fuente: Autores

Tabla A. 6 Programación WP = 10 WS = 90

	SALA 1		SALA 2		SALA 3		SALA 4	
T	Lunes	Martes	Lunes	Martes	Lunes	Martes	Lunes	Martes
1		P7/M6				P23/M10	P2/M4	P20/M8
2		P7/M6			P8/M2	P23/M10	P2/M4	P20/M8
3	P27/M2					P23/M10	P2/M4	P20/M8
4	P27/M2					P21/M10	P2/M4	P20/M8
5	P9/M2	P3/M8				P21/M10	P2/M4	
6	P9/M2	P3/M8	P10/M4			P21/M10		
7	P9/M2	P3/M8	P10/M4			P21/M10		
8	P9/M2	P3/M8				P21/M10		P4/M6
9	P9/M2	P13/M8				P21/M10		P4/M6
10	P9/M2	P13/M8				P25/M10		P4/M6
11		P13/M8				P25/M10	P1/M3	P4/M6
12		P13/M8				P25/M10	P1/M3	
13			P28/M1				P1/M3	P17/M11
14			P28/M1				P1/M3	P17/M11
15			P28/M1				P1/M3	P17/M11
16	P31/M1		P11/M3			P24/M11		
17			P11/M3	P12/M7		P24/M11		
18			P11/M3	P12/M7		P24/M11		
19			P11/M3	P12/M7		P24/M11		
20	P32/M3	P16/M11		P12/M7			P26/M1	
21	P33/M3	P16/M11		P12/M7			P26/M1	P30/M9
22		P16/M11			P29/M3		P26/M1	

Fuente: Autores

Tabla A. 7 Programación WP = 80 WS = 20

	SALA 1		SALA 2		SALA 3		SALA 4	
t	Lunes	Martes	Lunes	Martes	Lunes	Martes	Lunes	Martes
1		P7/M6		P3/M8			P2/M4	P25/M10
2		P7/M6		P3/M8			P2/M4	P25/M10
3				P3/M8			P2/M4	P25/M10

4				P3/M8		P23/M10	P2/M4	
5		P13/M8	P9/M2			P23/M10	P2/M4	
6	P10/M4	P13/M8	P9/M2			P23/M10		
7	P10/M4	P13/M8	P9/M2					P21/M10
8		P13/M8	P9/M2	P4/M6				P21/M10
9		P20/M8	P9/M2	P4/M6				P21/M10
10		P20/M8	P9/M2	P4/M6				P21/M10
11	P30/M5	P20/M8		P4/M6			P33/M3	P21/M10
12		P20/M8	P29/M5					P21/M10
13	P28/M1			P24/M11				
14	P28/M1			P24/M11			P1/M3	
15	P28/M1			P24/M11			P1/M3	
16				P24/M11	P26/M1		P1/M3	
17		P16/M11			P26/M1		P1/M3	
18		P16/M11			P26/M1	P12/M4	P1/M3	
19	P31/M1	P16/M11	P11/M3			P12/M4		
20	P27/M1	P17/M11	P11/M3			P12/M4		
21	P27/M1	P17/M11	P11/M3			P12/M4		
22	P8/M1	P17/M11	P11/M3			P12/M4	P32/M5	

Fuente: Autores

Tabla A. 8 Programación WP = 90 WS = 10

t	SALA 1		SALA 2		SALA 3		SALA 4	
	Lunes	Martes	Lunes	Martes	Lunes	Martes	Lunes	Martes
1	P10/M4	P3/M8		P7/M6		P25/M10		
2	P10/M4	P3/M8		P7/M6		P25/M10	P31/M2	
3	P12/M4	P3/M8				P25/M10	P27/M2	
4	P12/M4	P3/M8				P21/M10	P27/M2	
5	P12/M4	P20/M8				P21/M10		
6	P12/M4	P20/M8		P4/M6		P21/M10		
7	P12/M4	P20/M8		P4/M6		P21/M10		
8		P20/M8		P4/M6		P21/M10	P26/M2	
9				P4/M6		P21/M10	P26/M2	P13/M8
10		P23/M10					P26/M2	P13/M8
11		P23/M10			P1/M5		P11/M3	P13/M8
12		P23/M10			P1/M5		P11/M3	P13/M8
13	P8/M1	P33/M9		P17/M11	P1/M5		P11/M3	
14	P28/M1			P17/M11	P1/M5		P11/M3	
15	P28/M1			P17/M11	P1/M5			
16	P28/M1			P16/M11				
17				P16/M11	P9/M1			P30/M9
18		P2/M7		P16/M11	P9/M1			
19		P2/M7		P24/M11	P9/M1			
20		P2/M7		P24/M11	P9/M1			
21		P2/M7		P24/M11	P9/M1			P29/M9

22		P2/M7		P24/M11	P9/M1	P32/M9		
----	--	-------	--	---------	-------	--------	--	--

Fuente: Autores

Tabla A. 9 Programación WP = 60 WS = 40

	SALA 1		SALA 2		SALA 3		SALA 4	
t	Lunes	Martes	Lunes	Martes	Lunes	Martes	Lunes	Martes
1		P20/M8	P27/M2	P7/M6	P10/M4			P25/M10
2		P20/M8	P27/M2	P7/M6	P10/M4			P25/M10
3		P20/M8	P12/M4				P8/M2	P25/M10
4		P20/M8	P12/M4	P23/M10				
5		P3/M8	P12/M4	P23/M10			P28/M2	
6		P3/M8	P12/M4	P23/M10			P28/M2	
7		P3/M8	P12/M4	P21/M10			P28/M2	
8		P3/M8		P21/M10				
9				P21/M10		P13/M8		P4/M6
10				P21/M10		P13/M8		P4/M6
11			P1/M3	P21/M10		P13/M8		P4/M6
12			P1/M3	P21/M10		P13/M8		P4/M6
13		P16/M11	P1/M3		P26/M1			
14		P16/M11	P1/M3		P26/M1		P29/M5	
15		P16/M11	P1/M3		P26/M1	P30/M9		
16			P11/M5	P18/M11	P9/M1			
17			P11/M5	P18/M11	P9/M1			
18			P11/M5	P18/M11	P9/M1	P2/M4		
19			P11/M5	P24/M11	P9/M1	P2/M4		
20			P33/M3	P24/M11	P9/M1	P2/M4	P32/M3	
21				P24/M11	P9/M1	P2/M4		
22	P31/M1			P24/M11		P2/M4		

Fuente: Autores

Tabla A. 10 Programación WP = 50 WS = 50

	SALA 1		SALA 2		SALA 3		SALA 4	
t	Lunes	Martes	Lunes	Martes	Lunes	Martes	Lunes	Martes
1	P2/M4	P20/M8	P9/M2					P25/M10
2	P2/M4	P20/M8	P9/M2					P25/M10
3	P2/M4	P20/M8	P9/M2					P25/M10
4	P2/M4	P20/M8	P9/M2	P23/M10				
5	P2/M4		P9/M2	P23/M10		P3/M8		
6	P10/M4		P9/M2	P23/M10		P3/M8		
7	P10/M4	P7/M6				P3/M8		P21/M10
8	P26/M2	P7/M6				P3/M8		P21/M10
9	P26/M2			P13/M8		P4/M6		P21/M10
10	P26/M2			P13/M8		P4/M6		P21/M10
11	P32/M3		P30/M5	P13/M8		P4/M6		P21/M10

12		P12/M4		P13/M8		P4/M6		P21/M10
13	P9/M5	P12/M4		P24/M11			P8/M1	
14	P1/M3	P12/M4		P24/M11				
15	P1/M3	P12/M4		P24/M11	P28/M1			
16	P1/M3	P12/M4		P24/M11	P28/M1			
17	P1/M3			P15/M11	P28/M1			
18	P1/M3			P15/M11				
19		P33/M9		P15/M12			P11	
20				P17/M11	P31/M1		P11	
21	P27/M1			P17/M11			P11	
22	P27/M1			P17/M11			P11	

Fuente: Autores

6.4 Anexo 4. EVIDENCIA DE PROGRAMACIÓN PARA UN DÍA

Tabla A. 11 Programación de Cirugías Electivas en la Clínica para un día

REPORTES PROGRAMACIÓN DE CIRUGÍAS GENERADO DEL DÍA 2018/27/04 AL 2018/27/04							
QUIROFANO No. 1							
HORA INICIO	TIEMPO CIRUGÍA	PROCEDIMIENTO	CIRUJANO	ANEST.	AYUDANTE	EDAD	OBSERVACIONES
08:00 AM: 69 AÑOS ... PROCEDIMIENTO: TRAQUEOSTOMIA + GASTROEYUNOSTOMIA PERCUTÁNEA... DR: ALVARO SALAZAR.							
10:00 AM: 82 AÑOS ... PROCEDIMIENTO: GASTROEYUNOSTOMIA PERCUTÁNEA... DR: ALVARO SALAZAR.							
13:00	1:29 Hora(s): Minuto(s)	LIGADURA Y EXTIRPACION SUPRAPATELAR DE VENAS VARICOSAS	JHON JAIRO BERRIO CAICEDO	PRADO GRANDA RUBEN DARIO	YULI ANDREA CRUZ ARANGO	62 años	ANTECEDENTES: ALERGICA (DIPIRONA) - EXTREMIDAD INFERIOR DERECHA.
		LIGADURA Y EXTIRPACION INFRAPATELAR DE VENAS VARICOSAS NCOC					
		LIGADURA DE PERFORANTES					
		LIGADURA Y EXTIRPACION DE SAFENA INTERNA					
14:30	1:29 Hora(s): Minuto(s)	LIGADURA Y EXTIRPACION DE SAFENA INTERNA	JHON JAIRO BERRIO CAICEDO	PRADO GRANDA RUBEN DARIO	YULI ANDREA CRUZ ARANGO	56 años	EXTREMIDAD INFERIOR DERECHA.
		LIGADURA Y EXTIRPACION SUPRAPATELAR DE VENAS VARICOSAS					
		LIGADURA Y EXTIRPACION INFRAPATELAR DE VENAS VARICOSAS NCOC					
		LIGADURA DE PERFORANTES					
16:00	1:29 Hora(s): Minuto(s)	LIGADURA DE PERFORANTES	JHON JAIRO BERRIO CAICEDO	PRADO GRANDA RUBEN DARIO	YULI ANDREA CRUZ ARANGO	53 años	EXTREMIDAD INFERIOR DERECHA.
		LIGADURA Y EXTIRPACION DE SAFENA INTERNA					
		LIGADURA Y EXTIRPACION SUPRAPATELAR DE VENAS VARICOSAS					
		LIGADURA Y EXTIRPACION INFRAPATELAR DE VENAS VARICOSAS NCOC					
17:30	1:29 Hora(s): Minuto(s)	LIGADURA Y EXTIRPACION SUPRAPATELAR DE VENAS VARICOSAS	JHON JAIRO BERRIO CAICEDO	PRADO GRANDA RUBEN DARIO	YULI ANDREA CRUZ ARANGO	46 años	EXTREMIDAD INFERIOR IZQUIERDA - PCTE DEBE DE TRAER ORDENES ORIGINALES EL DIA DEL PROCEDIMIENTO.
		LIGADURA Y EXTIRPACION INFRAPATELAR DE VENAS VARICOSAS NCOC					

		LIGADURA Y EXTIRPACION DE SAFENA INTERNA					
		LIGADURA DE PERFORANTES					
TOTAL PROGRAMACIONES DE QUIROFANO # 1 : 4 TIEMPO : 5 hora(s) y 56 minuto(s)							
QUIROFANO No. 2							
7:00	3:29 Hora (s): Minuto(s)	HERNIORRAFIA INGUINAL BILATERAL VÍA LAPAROSCÓPICA	JACOBO EVARISTO PEREZ PEREZ	JHONATAN CORREA MONTOYA	DAVID MAURICIO MORAN RENDON	47 años	PCTE CANCELA INSUMOS TIENE COTIZACION DE CLINICA SAN FRANCISCO - REQUERIMIENTOS: MALLA 15X15 #2 - PROTACK #1 - PCTE TRAE HISTORIA CLINICA COMPLETA CONSENTIMIENTO QUIRURGICO/ANESTESICO EL DIA DEL PROCEDIMIENTO - PCTE REFIERE QUE TIENE ORDENES ACTUALIZADAS - INSUMOS CONFIRMADO CON OSCAR EDUARDO DE FARMACIA
10:30	1:59 Hora(s): Minuto(s)	MASTECTOMIA RADICAL MODIFICADA UNILATERAL	JACOBO EVARISTO PEREZ PEREZ	JHONATAN CORREA MONTOYA	DAVID MAURICIO MORAN RENDON	35 años	CA DE MAMA MULTIFOCAL AXILAR POSITIVA POR PATOLOGIA - SENO IZQUIERDO - SE HACE ENTREGA DE REQUERIMIENTOS 20/04/2018 A INSTRUMENTADORA ANLLY SOTO Y FARMACIA: PINZA ARMONIC FOCUS #1 / GRAPAS HEMOSTATICAS AMARILLA #60 / GRAPAS HEMOSTATICAS AZULES #60 / AZUL DE METILENO ESTERIL #1 FCO / HEMOVAC 1/4 #1 / VICRYL 3/0 CON AGUJA SH #10 / SEDA 2/0 CON AGUJA CORTANTE #6 / PROLENE 3/0 CON AGUJA CORTANTE #1 - INSUMOS CONFIRMADO CON OSCAR EDUARDO DE FARMACIA
		COLGAJO LOCAL DE PIEL COMPUESTO DE VECINDAD ENTRE CINCO A DIEZ CENTIMETROS CUADRADOS					
14:30	2:59 Hora(s): Minuto(s)	REANASTOMOSIS TUBARICA MICROQUIRURGICA POR LAPAROSCOPIA	CARLOS ALBERTO ORTIZ MARTINEZ	JHONATAN CORREA MONTOYA	ANA ISABEL BRAVO CARVAJAL	35 años	
TOTAL PROGRAMACIONES DE QUIROFANO # 2: 3 TIEMPO : 8 hora(s) y 31 minuto(s)							
QUIROFANO No. 3							
7:00	0:59 Hora(s): Minuto(s)	RESECCIÓN DE PTERIGION (NASAL O TEMPORAL) CON INJERTO	CARLOS EDUARDO LOZANO TASCON			44 años	OJO DERECHO...
8:00	1:29 Hora(s): Minuto(s)	COLGAJO LOCAL DE PIEL COMPUESTO DE VECINDAD ENTRE DOS A CINCO CENTIMETROS CUADRADOS	MIKEL WATSON CANTILLO	JOHN EDWAR SANCLEMENT E MEJIA	BLANCA LUCIA REINA DELGADO	54 años	INGUINAL IZQUIERDO.
		HERNIORRAFIA INGUINAL CON MALLA					
9:30	1:59 Hora(s):	EVENTRORRAFIA CON COLOCACION DE MALLA				64 años	EVENTRACION INFRAUMBILICAL - PCTE VIAJA DE SEVILLA POR LO CUAL SE PROGRAMA A ESTE HORARIO.

	Minuto(s)	COLGAJO LOCAL DE PIEL COMPUESTO DE VECINDAD ENTRE CINCO A DIEZ CENTIMETROS CUADRADOS	MIKEL WATSON CANTILLO	JOHN EDWAR SANCLEMENT E MEJIA	BLANCA LUCIA REINA DELGADO		
13:00	1:29 Hora(s): Minuto(s)	HISTERECTOMÍA POR VÍA VAGINAL	CAROLINA ARIAS PELAEZ	JOHN EDWAR SANCLEMENT E MEJIA	BLANCA LUCIA REINA DELGADO	78 años	RESERVA 2 UNIDADES DE GLOBULOS ROJOS - PCTE DEBE DE TRAER ORDEN ORIGINAL EL DIA DEL PROCEDIMIENTO.
14:30	1:29 Hora(s): Minuto(s)	CISTOPEXIA (SUSPENSION VESICAL)	CAROLINA ARIAS PELAEZ	JOHN EDWAR SANCLEMENT E MEJIA	BLANCA LUCIA REINA DELGADO	72 años	ANTECEDENTES: HTA - CISTOCELE SINTOMATICO.
16:00	0:59 Hora(s): Minuto(s)	INCISION Y DRENAJE DE COLECCION DE VULVA O DE GLANDULA DE SKENE	CAROLINA ARIAS PELAEZ	JOHN EDWAR SANCLEMENT E MEJIA	BLANCA LUCIA REINA DELGADO	48 años	ANTECEDENTES: DM
17:00	1:29 Hora(s): Minuto(s)	RESECCIÓN DE TUMOR DE OVARIO POR LAPAROTOMÍA	CAROLINA ARIAS PELAEZ	JOHN EDWAR SANCLEMENT E MEJIA	BLANCA LUCIA REINA DELGADO	39 años	TERATOMA DE OVARIO DERECHO - PCTE DEBE DE TRAER ORDENES ORIGINALES EL DIA DEL PROCEDIMIENTO.
TOTAL PROGRAMACIONES DE QUIROFANO # 3 : 7 TIEMPO : 9 hora(s) y 55 minuto(s)							
QUIROFANO No. 4							
14:00	0:29 Hora(s): Minuto(s)	CISTOSCOPIA TRANSURETRAL DILATACION DE MEATO URETERAL	NUMA ENRIQUE CAICEDO MARTINEZ			77 años	ANTECEDENTES: HTA - HIPOTIROIDISMO - UROCULTIVO (-) 16/ABRIL/2018.
14:30	0:29 Hora(s): Minuto(s)	CISTOSCOPIA TRANSURETRAL	NUMA ENRIQUE CAICEDO MARTINEZ			77 años	UROCULTIVO (-) 26/ABRIL/2018
15:00	0:29 Hora(s): Minuto(s)	CISTOSCOPIA TRANSURETRAL	NUMA ENRIQUE CAICEDO MARTINEZ			58 años	UROCULTIVO (-) 03/ABRIL/2018.
15:30	0:29 Hora(s): Minuto(s)	CISTOLITOTOMÍA O EXTRACCIÓN DE CUERPO EXTRAÑO EN VEJIGA VÍA ENDOSCÓPICA	NUMA ENRIQUE CAICEDO MARTINEZ			52 años	ANTECEDENTES: ALERGICO (PENICILINA) - RETIRO DE CATETER DOBLE J - UROCULTIVO (-) 02/ABRIL/2018.
16:00	0:29 Hora(s): Minuto(s)	CISTOSCOPIA TRANSURETRAL	NUMA ENRIQUE CAICEDO MARTINEZ			45 años	PCTE DEBE DE TRAER ORDEN ACTUALIZADA EL DIA DEL PROCEDIMIENTO - UROCULTIVO (-) 12/ABRIL/2018 (REPORTE DE UROCULTIVO DADO VIA TELEFONICA YA QUE PCTE VIVE EN ZARZAL)
TOTAL, PROGRAMACIONES DE QUIROFANO # 4: 5 TIEMPO: 2 hora(s) y 25 minuto(s)							
TOTAL, PROGRAMACIONES: 19 TIEMPO: 26 hora(s) y 47 minuto(s)							

Fuentes: Clínica Objeto De Estudio