



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERIA

AGENDAMIENTO DE CITAS MÉDICAS MEDIANTE ASIGNACIÓN ÓPTIMA DE CAPACIDAD PARA DISTINTOS TIPOS DE PACIENTES

CAROLINA MISLE RUDLOFF

Tesis para optar al grado de
Magíster en Ciencias de la Ingeniería

Profesor Supervisor:
SERGIO MATURANA VALDERRAMA

Santiago de Chile, (Diciembre, 2015)

© 2015, Carolina Misle



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERIA

AGENDAMIENTO DE CITAS MÉDICAS MEDIANTE ASIGNACIÓN ÓPTIMA DE CAPACIDAD PARA DISTINTOS TIPOS DE PACIENTES

CAROLINA MISLE RUDLOFF

Tesis presentada a la Comisión integrada por los profesores:

SERGIO MATURANA

JORGE VERA

SUSANA MONDSCHHEIN

VLADIMIR MARIANOV

Para completar las exigencias del grado de
Magíster en Ciencias de la Ingeniería

Santiago de Chile, (Diciembre, 2015)

A mi familia por su apoyo constante
y a Tomás por creer siempre en mí.

AGRADECIMIENTOS

En estos dos años investigando y haciendo mi tesis sólo me queda agradecer a quienes han estado a mi lado, permitiéndome lograr esta gran tarea.

A mi asesor, Doctor Sergio Maturana, por su guía y paciencia, y por su invaluable apoyo para asistir a la Euro Conference 2015. Sus conocimientos y altísima calidad humana han sido una motivación constante a lo largo de este proceso.

Al profesor Alejandro Cataldo por creer en mí y por empujarme a mejorar constantemente, más allá de lo que creía mis límites.

Al jefe de Departamento y miembro del proyecto, Doctor Jorge Vera, por su apoyo en la participación de la Conferencia, y por consejos y propuestas en mi investigación.

A Ruth y Angélica por hacerse un tiempo siempre que iba a visitarlas, facilitarme los datos necesarios y confiar en la importancia de esta investigación.

A mis compañeros de proyecto, Camila, Ignacio, Matías y Ana por su preocupación y compañía que han hecho tanto más agradable esta experiencia. Y por supuesto a Karina y Carmen que siempre hicieron más divertidas y significativas las jornadas de trabajo, y a mis amigos, que han estado siempre para acompañarme y creer en mí.

Finalmente, quiero agradecer a las personas más importantes de mi vida. A mis padres y hermanos por aguantarme en los días difíciles y alegrarse en los días felices, por su cariño infinito. En especial quiero agradecer a mi mamá, Loreto Rudloff, por ser siempre mi inspiración y la mujer más maravillosa que he conocido en la vida. Y a mi novio, Tomás Durán, por escucharme siempre y por tus sabios consejos. Eres simplemente la luz de mi vida.

INDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
INDICE DE TABLAS	vi
INDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT	ix
1. CAPÍTULO INTRODUCTORIO.....	1
1.1. Introducción	1
1.1.1. Planteamiento del problema	2
1.1.2. Hipótesis	4
1.1.3. Objetivo General.....	4
1.1.4. Objetivos Específicos	4
1.1.5. Resultados esperados	5
1.1.6. Organización del Capítulo Introductorio	6
1.2. Revisión Bibliográfica	6
1.2.1. Agendamiento de citas.....	6
1.2.2. Simulación	8
1.2.3. Priorización de pacientes	9
1.2.4. Reserva de capacidad/ asignación de capacidad.....	10
1.3. Metodología	12
1.3.1. Diagnóstico del problema de agendamiento.....	13
1.4. Conclusiones	21
2. AGENDAMIENTO DE CITAS MÉDICAS MEDIANTE ASIGNACIÓN ÓPTIMA DE CAPACIDAD PARA DISTINTOS TIPOS DE PACIENTES ..	23
2.1. Introducción	23
2.2. Revisión bibliográfica	24
2.3. Descripción del problema de agendamiento	28

2.3.1. Diagnóstico Hospital del Salvador	28
2.3.2. Agendamiento de citas Hospital del Salvador	30
2.4. Enfoque de solución	31
2.4.1. Definición de supuestos	31
2.4.2. Formulación del modelo de optimización	32
2.4.3. Formulación del modelo de simulación.....	37
2.4.4. Retroalimentación al modelo de optimización	37
2.5. Resultados y discusión	38
2.5.1. Resumen de los datos.....	38
2.5.2. Resultados Modelo Determinístico	40
2.5.3. Simulación	41
2.5.4. Análisis de resultados y retroalimentación	43
2.5.5. Análisis de la tasa de ocupación	47
2.6. Conclusiones	48
2.6.1. Síntesis y aporte de la investigación	48
2.6.2. Futuras Investigaciones	49
 BIBLIOGRAFÍA	 50
 A N E X O S	 55
 ANEXO A: Flujo en Bizagui	 56
 ANEXO B: Patologías GES Especialidades Quirúrgicas	 57
B.1. Patologías Cirugía	57
B.2. Patologías Traumatología	57
B.3. Patologías Urología.....	58
 ANEXO C: Otras Propuestas de Investigación.....	 59
C.1. Modificación duración módulos de atención según tipo de paciente	59
C.2. Eliminación de pacientes espontáneos	61

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Horas médicas disponibles por especialidad por semana	39
Tabla 2: Datos utilizados en el modelo de optimización	40
Tabla 3: Resultados modelo de optimización	41
Tabla 4: Análisis de escenarios de demanda.....	41
Tabla 5: Desempeño Simulación Caso Base y Caso Estudio	42
Tabla 6: Porcentajes de reserva y costo de cada escenario	45
Tabla 7: Desempeño Simulación escenarios.....	45
Tabla 8: Promedio duración de citas Estudio.....	59
Tabla 9: Tiempos de atención por paciente y Pacientes atendidos por hora.....	60

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Ilustración 1: Círculo PDCA.....	13
Ilustración 2: Flujo Programación de Citas médicas.....	15
Ilustración 3: Oferta y demanda de citas médicas por especialidad.....	18
Ilustración 4: Lista de espera pacientes nuevos	18
Ilustración 5: Número de consultas realizadas 2013 – 2014.....	19
Ilustración 6: Tiempo de espera [meses] promedio por especialidad	20
Ilustración 7: Tiempo de espera en cola por especialidad.....	20
Ilustración 8: Lista de espera por año	29
Ilustración 9: Tiempo de espera [meses] promedio por especialidad	30
Ilustración 10: Tiempo de espera promedio [meses] por escenario	46

RESUMEN

El agendamiento de citas con médicos de especialidades se encuentra en constante presión para ofrecer una atención de calidad con recursos limitados y presencia de variabilidad, especialmente en la demanda. La programación de citas es un proceso dinámico y estocástico. Por un lado, la llegada de pacientes no ocurre en un solo instante y no se tiene certeza de quiénes llegarán. Por otro, la programación de citas debe considerar la posibilidad de que aparezcan pacientes prioritarios en el futuro y por tanto, la agenda no debe llenarse exclusivamente con los pacientes de hoy. La presente investigación propone la aplicación de modelos de optimización determinísticos sumados a herramientas de simulación. Metodología que permite encontrar políticas adecuadas que mejoran el agendamiento de citas mediante la reserva de capacidad para demanda futura de diferentes tipos de pacientes, frente a métodos estáticos, sin diferenciación de pacientes y sin bloqueo de espacios utilizados actualmente en la mayoría de los sistemas de agendamiento. Además el agendamiento se hace con un enfoque estratégico a largo plazo. Por mejorar el agendamiento se entiende disminuir los tiempos de espera de los pacientes, especialmente de aquellos prioritarios. En particular estos modelos se aplican a un centro hospitalario real, el Hospital del Salvador en Chile. A su vez, los resultados obtenidos permiten estimar a priori cuánto tiempo tendrán que esperar los pacientes hasta ser atendidos bajo diferentes escenarios de reserva de capacidad.

Palabras Claves: Agendamiento de citas, Reserva de capacidad, Optimización, Simulación de eventos discretos, Hospital público.

ABSTRACT

The scheduling of medical specialty appointments is in constant pressure to deliver quality care with limited resources and variability on the demand. The scheduling process is dynamic and stochastic. The arrival of patients does not happen instantly and there is no certainty of which patients will come. Furthermore, the scheduling should consider the appearance of priority patients in the future and, therefore, the agenda must not be filled exclusively with today patients. This research proposes the application of an optimization model coupled with simulation. The methodology allows to find appropriate policies to improve the appointments scheduling by reserving capacity for future demand for different types of patients, compared with static methods, without differentiating patients and without blocking time spaces, currently used in most scheduling systems. In addition, the scheduling is done with a long-term strategic approach. The improvement of the scheduling process implies a reduction of the waiting times of the patients of the system, especially for priority patients. In particular, these models are applied in a real hospital, the Hospital del Salvador in Chile. Moreover, the results allow to estimate how long does patients have to wait to be served under different scenarios of reserve capacity.

Keywords: Appointment Scheduling, Reserve Capacity, Optimization, Discrete Event Simulation, Public Hospital.

1. CAPÍTULO INTRODUCTORIO

1.1. Introducción

Los sistemas de atención de salud se encuentran en constante presión para ofrecer una atención de alta calidad con recursos limitados. Para poder dar un servicio de calidad, optimizar el uso de los recursos disponibles es fundamental, permitiendo resguardar y un mejor servicio a millones de personas en el mundo. Así, la calidad del servicio no debe apartarse de la eficiencia; el alcance de los servicios será menor del potencial si no se considera optimizar el uso de los recursos disponibles (Jiménez, 2004).

Dentro de los servicios de salud, la cita médica es un recurso esencial. En este servicio el médico proporciona una primera mirada al paciente, definiendo un diagnóstico o sospecha. Además de iniciar la atención, la cita permite continuar el tratamiento del paciente: ya sea que al paciente se le solicita la toma de exámenes médicos, sea derivado a recibir atención quirúrgica, etc. Estas instancias harán regresar eventualmente al paciente a una nueva cita médica para una reevaluación o la determinación del alta.

Aun siendo la cita médica algo tan elemental, la asignación no es trivial. Se imponen una serie de restricciones de capacidad física y disponibilidad del recurso médico para una alta demanda. En ocasiones, la disciplina de colas dicta que el primero en entrar es el primero en salir (FIFO), pero en otras se establece un sistema de priorización (servicios de urgencia o atención de pacientes con patologías potencialmente mortales).

Más compleja se vuelve la programación de citas médicas en servicios de salud pública. La salud pública debe asegurar el acceso a la población desde una perspectiva social, sin discriminación y sin metas lucrativas (Giusti, Criel, & De Béthune, 1997). Se tiene por tanto una enorme responsabilidad: dar acceso a un gran porcentaje de la población, de variadas características, con recursos usualmente escasos para esta tarea.

El sistema de salud pública en el mundo suele encontrarse dividido en dos áreas: los centros de Atención Primaria (AP) y los de atención especializada u hospitalaria. Dentro de los primeros se atiende a pacientes con problemas ambulatorios, es decir, que no requieren internación. En cambio, los centros de atención especializada, donde se

encuentran por ejemplo los servicios de urgencia, permiten el cuidado de problemas que sí requieren hospitalización.

Como centro de atención especializada, el hospital debe asegurar la cobertura y calidad de atención a un importante porcentaje de la población en variadas patologías. No obstante, cuenta con recursos limitados para la amplia demanda que recibe, lo que lo obliga a utilizar políticas de racionalización (American College of Physicians, ACP, 2011). Sin embargo, aun con recursos escasos el centro de salud pública debe mantener un principio de equidad en la asignación de recursos, asegurando el acceso y tratamiento a tiempo a los pacientes que reciba el hospital. Es imperativo por tanto darle el mejor uso a los recursos disponibles, especialmente si se trata de la asignación de citas médicas, con patologías complejas o con urgencia de atención que no pudieron ser resueltas en los servicios de Atención primaria.

1.1.1. Planteamiento del problema

Un sistema de agendamiento bien diseñado permite entregar acceso oportuno y conveniente a los servicios de salud a todos los pacientes, ajustando oferta con demanda (Gupta & Denton, 2008). A su vez, una correcta asignación de citas permite reducir los tiempos de espera por atención, mientras incentiva un mejor comportamiento tanto en médicos como pacientes (Vissers, 1979). No obstante, el ambiente hospitalario impone una serie de restricciones que desafían a la necesidad constante y urgente de atender a los pacientes. Por tanto, se quiere optimizar el uso de los recursos existente por medio de un eficiente agendamiento de citas médicas.

La programación de citas debe considerar los distintos tipos de pacientes que visitan el hospital y las prioridades de atención de los mismos. Pacientes derivados del servicio de urgencia reciben prioridad de atención frente a pacientes derivados de Atención Primaria (AP). De la misma forma, se podría dar preferencia de atención a pacientes provenientes de AP con diagnósticos que ponen en peligro la vida del paciente si es que no son tratados a tiempo (cáncer, diabetes mellitus, enfermedad de Parkinson, etc.). Por lo tanto, un primer punto a considerar es la priorización en la atención, considerando por ejemplo plazos máximos de atención sin que se atente con la salud del

paciente y su posterior recuperación. Esta priorización se hace necesaria dada la capacidad limitada de atención que no permite, aunque se quisiera, dar atención a los pacientes inmediatamente ha solicitado la cita médica (Alcalde , et al., 2002).

Sumada a la limitación de recursos, la programación de citas debe lidiar con variabilidad en la llegada de pacientes. Si bien puede ser estimada la cantidad y características de la demanda, en un sistema real de atención no hay certeza al respecto, por lo que se debe intentar ajustar la oferta de la mejor manera posible, tal que no se desperdicien recursos y se asegure la atención de los pacientes.

Por tanto, se trata de un problema estocástico que puede ser enfrentado de forma estática o dinámica. Como problema estático, todas las decisiones deben ser tomadas a priori, antes del inicio de la sesión, siendo el caso más común de agendamiento en los servicios de salud (Cayirli & Veral, 2003). No obstante, el caso dinámico permite realizar el agendamiento gestionando las variaciones en la demanda y capacidad de atención, donde las acciones óptimas cambian en la medida que se renueva el escenario, acercándose aún más a la realidad del problema de agendamiento de citas.

Efectivamente, la programación de citas es un proceso dinámico y estocástico. La llegada de pacientes no ocurre en un solo instante y no se tiene certeza de quienes llegarán. El agendamiento debe considerar la posibilidad de que aparezcan pacientes urgentes en el futuro y por tanto, no debería llenarse la agenda exclusivamente con los pacientes que están esperando. Se hace necesario reservar capacidad para pacientes prioritarios conservando el buen esquema del sistema de citas. Un sistema de citas bien diseñado se traduce en pequeños tiempos de espera para pacientes no programados sin aumentar los tiempos de espera de los pacientes programados, o bajando la utilización de recursos (Gupta & Denton, 2008).

Una de las principales causas de los tiempos de esperas en centros de atención es la ausencia de métodos de agendamiento bien diseñados (Vissers, 1979). Por tanto, el aporte de esta Tesis es diseñar un sistema de programación de citas capaz de optimizar el rendimiento de los centros hospitalarios.

1.1.2. Hipótesis

La aplicación de modelos de optimización determinísticos sumados a herramientas de simulación, permiten optimizar el agendamiento de citas médicas mediante la reserva de capacidad para demanda futura, frente a métodos estáticos y sin bloqueo de espacios utilizados actualmente en la mayoría de los sistemas de agendamiento.

Por optimizar el agendamiento se entiende disminuir los tiempos de espera de los pacientes, especialmente de aquellos urgentes y/o prioritarios.

1.1.3. Objetivo General

El objetivo general de la Tesis corresponde al desarrollo de una metodología de agendamiento de citas médicas. Esta metodología se basa en un modelo de optimización que permita encontrar porcentajes de reserva óptimos para diferentes tipos de pacientes. Luego se busca desarrollar un modelo de simulación que tome como input estos porcentajes e incluya el factor estocástico y dinámico propio del agendamiento de citas. De esta manera, se puede mejorar indicadores tales como el tiempo de espera de los pacientes y la cantidad de pacientes esperando.

A su vez, se espera utilizar la información de los pacientes, particularmente su diagnóstico, para categorizarlos según prioridad, generando una adecuada política de agendamiento, que permita bloquear espacios para diversas categorías de pacientes, principalmente para pacientes urgentes y/o prioritarios. La metodología de agendamiento que se propone aporta directamente a mejorar la calidad de vida de las personas, haciendo un uso eficiente de los recursos médicos, concretamente la disponibilidad de médicos especialistas.

1.1.4. Objetivos Específicos

Dentro de los objetivos específicos el modelo de optimización generado será capaz de obtener porcentajes de reserva óptimos de acuerdo a la información de prioridad de los pacientes. A su vez, se trata de un modelo de horizonte rodante, es decir, los datos del

modelo serán actualizados cada cierto tiempo, entregando porcentajes de reserva actualizados.

Luego mediante la simulación se incorporará la variabilidad propia de los sistemas de atención de salud dada principalmente por la demanda estocástica. Asimismo, considerará un agendamiento dinámico, permitiendo actualizar las decisiones óptimas en el tiempo, en la medida en que cambian las condiciones.

A su vez, la programación de citas considera los distintos tipos de pacientes que visitan el hospital y las prioridades de atención de los mismos. Son dos las condiciones del paciente que definen su prioridad de atención: diagnóstico y tiempo en espera, por lo que se desarrollará un modelo que haga uso de esta información para agendar a los pacientes y reservar espacios frente a una incierta demanda futura.

Finalmente, se busca implementar los modelos obtenidos a un ambiente hospitalario real, en este caso el Hospital del Salvador de la ciudad de Santiago de Chile, específicamente en el policlínico de especialidades quirúrgicas. Dado que la investigación se enmarca en la realidad de un ambiente hospitalario es posible obtener datos reales con los que evaluar la efectividad de la metodología propuesta; entre otras por una reducción en los tiempos de espera por atención. Todo ello permitirá entregar una atención lo más oportuna posible, dados los recursos existentes en el establecimiento de salud.

1.1.5. Resultados esperados

Se espera generar una política de reserva de pacientes que se justifica en la aplicación conjunta del modelo de optimización y la simulación. Para ello será necesario categorizar correctamente a los pacientes e incorporar la aleatoriedad propia del ambiente hospitalario y la dinámica de la generación de la agenda.

A su vez, diferentes escenarios de simulación para largos períodos de tiempo, permitirán hacer visible el desempeño esperado del hospital frente a diversas políticas de agendamiento. De esta manera, el agendamiento de citas médicas permitirá dar una mejor calidad de servicio, disminuyendo el tiempo de espera de atención y ordenando la planificación, en pos de una mayor eficiencia en el largo plazo. Mejorando en definitiva el desempeño hospitalario, en particular para el Hospital del Salvador.

1.1.6. Organización del Capítulo Introductorio

El Capítulo Introductorio de la tesis se organiza de la siguiente manera. En la siguiente sección, 1.2, se cubre la literatura relevante de agendamiento de citas haciendo particular hincapié en estudios referidos al uso de simulación y modelos de optimización en la programación de citas. A su vez, se contempla literatura de agendamiento con priorización de pacientes y reserva de capacidad. En la sección 1.3 se describe la metodología utilizada, detallando el problema de agendamiento de citas del Hospital del Salvador, y presentando el modelo determinístico y la simulación. Por último, la sección 1.4 presenta las conclusiones, señalando los principales aportes de la investigación expuesta. La sección concluye con una sugerencia de futuras investigaciones.

Para mayor detalle respecto a los modelos de optimización y simulación y un análisis profundo de los resultados, revisar Artículo presentado en el apartado 2, “AGENDAMIENTO DE CITAS MÉDICAS MEDIANTE ASIGNACIÓN ÓPTIMA DE CAPACIDAD PARA DISTINTOS TIPOS DE PACIENTES”.

1.2. Revisión Bibliográfica

La siguiente sección cubre la literatura relevante de agendamiento, considerando las principales dificultades que enfrenta y las formas de enfrentar las mismas. Especial énfasis se hace al agendamiento mediante modelos de optimización y modelos de simulación como medio para resolver problemas de agendamiento en forma dinámica y en ambientes estocásticos. Luego, se presenta la bibliografía relevante respecto a la categorización de pacientes y su uso en los sistemas de agendamiento. Finalmente se rescatan los principales enfoques en el uso de reserva de capacidad. Todo lo anterior permite aclarar el aporte y novedad de la investigación expuesta en esta Tesis.

1.2.1. Agendamiento de citas

El objetivo del agendamiento es encontrar un sistema capaz de asignar recursos tal que optimice el uso de los mismos y favorezca la calidad de la atención entregada en condiciones de incertidumbre. Para mantener un buen rendimiento del sistema, es necesario que cuando estas perturbaciones ocurran, el agendamiento sea robusto. Una

serie de investigaciones han estudiado la forma de minimizar el impacto de la incertidumbre en la demanda dadas por la impuntualidad (White & Pike, 1964), no aparición de pacientes (Liu & Ziya (2014), Berg, Denton, Erdogan, Rohleder, & Huschka (2014) y Lofti & Torres (2014)), la llegada de pacientes espontáneos (Walter (1973) y Vissers & Wijngaard (1979)), entre otros. Otros estudios se han enfocado en la variabilidad del tiempo de servicio, capaz de deteriorar tanto los tiempos de espera de los pacientes como el tiempo ocioso de los médicos (Bailey (1952), White & Pike (1964), Vissers & Wijngaard (1979) y Ho & Lau (1992)).

Mientras las perturbaciones anteriores pueden poner en jaque la atención de determinados días, se han estudiado ampliamente políticas para disminuir sus efectos negativos, tales como el sobre-agendamiento, anticipación del llamado de pacientes, entre otros ((Liu & Ziya (2014) y Zeng, Zhao, & Lawley (2013)), políticas que solucionan problemas de corto plazo (nivel operativo). En cambio, a nivel estratégico el problema fundamental radica en cómo enfrentar las fluctuaciones de la demanda en términos de cantidad, especialidades médicas y características de los pacientes a lo largo del tiempo. Con múltiples servidores y una demanda heterogénea, a largo plazo importa asegurar la atención de los pacientes sin que impliquen tiempos de espera excesivos. Se debe por tanto decidir a qué pacientes y en qué momento agendar.

Al respecto, la literatura de agendamiento se puede clasificar en dos categorías: estática y dinámica (Cayirli & Veral, 2003). En el caso estático, todas las decisiones son tomadas antes del inicio de las citas, siendo la forma más común de agendamiento y la más documentada en la literatura. No obstante, una serie de investigaciones han considerado el agendamiento dinámico (Fries & Marathe (1981), Klassen & Rohleder (1996), Green, Savin, & Wang (2006), Batt & Terwiesch (2012)). Este tiene la ventaja de ir tomando las decisiones conforme pasa el tiempo y no todo en un solo instante, con lo que se tiene más información para llevar a cabo la acción. Es posible a su vez, encontrar estudios que consideran ambos enfoques. En Liao, Pegden, & Rosenshine (1993) se considera tanto una versión dinámica como otra estática para el problema de planificación de llegada. De la misma manera, en Wang (1993) y en Liu & Liu (1998) se consideran

ambos casos para el agendamiento de citas y para la asignación óptima de grupos de trabajos respectivamente.

1.2.2. Simulación

Es posible encontrar numerosos ejemplos del uso de modelos de optimización para resolver problemas dinámicos y estocásticos. No obstante, el uso de simulación ha demostrado ser una alternativa efectiva y ampliamente utilizada, dado que permite desarrollar un modelo muy cercano a la realidad, testeando diversas reglas o políticas de agendamiento y niveles de variabilidad.

Es usual encontrar en la literatura el uso de simulación para estimar la efectividad de diferentes heurísticas o métodos de agendamiento (Cayirli, Veral, & Rosen (2006), Liu, Ziya, & Kulkarni (2010). Por ejemplo, en Dharmadhikari & Zhang (2011) se testean diferentes estrategias mediante la simulación, en particular se desarrolla un modelo de simulación para comparar las políticas de agendamiento FCFS (*first come, first served* o primero en llegar, primero en ser atendido) y BSP (*block scheduling with priority* o programación de bloque con prioridad).

Además de probar distintos métodos de agendamiento, la simulación también permite evaluar el desempeño de los modelos frente a diferentes escenarios, por ejemplo, diferentes patrones de demanda, duraciones de la atención o cantidad de bloques por atención (Rohleder & Klassen (2000), Dexter, Macario, Traub, Hopwood, & Lubarsky (1999), Ho & Lau (1999)). En Harper & Gamlin (2003) se utiliza la simulación para identificar factores críticos que afectan los tiempos de espera de los pacientes y colas de espera.

Finalmente, dentro de las técnicas de simulación utilizadas la simulación de eventos discretos es ampliamente utilizada (Liu & Liu (1998), Ho & Lau (1999), Wijewickrama & Takakuwa (2005) y Bhattacharjee & Ray (2015)), dado que permite incorporar la complejidad propia del problema, diseñando un modelo muy cercano a la realidad.

1.2.3. Priorización de pacientes

La limitación de horas médicas hace necesario establecer prioridades, especialmente frente a los distintos tipos de pacientes que se reciben. Generalmente la primera prioridad es dada a las emergencias, seguido por las segundas consultas (control); mientras la última prioridad es dada a la demanda espontánea, que suelen ser atendidos de acuerdo al orden de llegada de los pacientes (Cox, Birchall, & Wong, 1985). Si bien la práctica de asignar cita a los pacientes de acuerdo al orden de llegada (FCFS¹) no es inusual (Cayirli & Veral, 2003), un sistema de priorización contribuye a una mayor equidad en el acceso a la atención y a una mejora en la situación de los pacientes que están esperando (Cisneros, 2010).

Una serie de estudios consideran la categorización pacientes en el agendamiento. Con ello se asume que se diferencian dentro de la demanda a diversas clases de pacientes de acuerdo a diversas características. Una de las primeras investigaciones (Walter, 1973) encontró que agrupando a los pacientes en hospitalizados y ambulatorios disminuye el tiempo de inactividad de los médicos. Otra investigación (Cox, Birchall, & Wong, 1985), considera diferentes enfoques para agendar pacientes nuevos y control.

A su vez, utilizando la información de los pacientes (distribución de los tiempos de servicio, probabilidades de no aparición y costos de espera), se genera una política de agendamiento que reduce tanto los tiempos de espera de los pacientes como el sobretiempo esperado de los médicos (Bosch & Dietz, 2000). De la misma manera, el uso de la clasificación de pacientes, al momento de tomar la cita o para ajustar los intervalos de citas, mejora el rendimiento en términos de los tiempos de espera de los pacientes y el tiempo ocioso de los médicos (Cayirli & Veral, 2003). La información de los pacientes también es utilizada para clasificar a los mismos en categorías de prioridad, caracterizadas por un máximo recomendado de tiempo de espera (Patrick, Puterman, & Queyranne, 2008), costos/beneficios específicos (Gocgun, Bresnahan, Ghate, & Gunn, 2011) o incluso niveles de reserva de capacidad (Patrick & Puterman, 2007).

¹ Por sus siglas en inglés: First-come, first-served, primero en llegar, primero en ser servido

1.2.4. Reserva de capacidad/ asignación de capacidad

Si no existiera incertidumbre, es decir, si la demanda fuera conocida, se sabría exactamente en qué momento y a qué pacientes atender de manera tal de optimizar el uso de los recursos disponibles, mejorando medidas de desempeño tales como tiempo de espera de los pacientes y largo de la cola. Cuando no se conoce con certeza el futuro y se tienen diversas clases de pacientes, surgen ciertas medidas para paliar posibles eventualidades como la reserva de capacidad, lo cual complejiza los sistemas de agendamiento (Gupta & Denton, 2008).

El problema de asignar capacidad a diversos tipos de clientes que compiten por el recurso ha sido ampliamente estudiado, incluyendo aplicaciones en aerolíneas, hoteles y arriendo de vehículos (Gupta & Denton, 2008). Si bien se podría argumentar que los hospitales son organizaciones sin fines de lucro que no necesariamente maximizan la utilidad, los costos de salud son altos y crecientes por lo que se debe prestar cada vez más atención al control de costos e ingresos, junto con la búsqueda y aplicación de formas de utilizar los recursos hospitalarios de manera más eficiente (Stanciu, 2009).

Mientras en el contexto de las aerolíneas la idea central de la asignación de capacidad es determinar cuántos asientos reservar para vender a mayor precio, en el contexto hospitalario el paralelo sería cuántas unidades de tiempo deberían ser guardadas para los pacientes prioritarios (Stanciu, 2009), tal que se pueda asegurar la atención de los mismos.

Dentro de la literatura, existen variadas formas de aplicar la asignación de capacidad. Kolesar (1970) considera la reserva de capacidad utilizando procesos de decisión markovianos para la resolución de su modelo. También en ambientes dinámicos, se estudia el problema de asignación de capacidad agendando pacientes de diferentes prioridades por medio de diferentes niveles de protección (Erdelyi & Topaloglu, 2009). De manera similar, en Dobson, Hasija, & Pinker (2011) se reserva una capacidad fija para pacientes urgentes, probando para distintos valores de reserva de tal forma de encontrar un óptimo.

En vista de la revisión bibliográfica aquí expuesta, es interesante afrontar el problema de agendamiento desde un punto de vista macro o estratégico, enfrentando las fluctuaciones de la demanda a lo largo del tiempo e ignorando fuentes de variabilidad menores tales como la no asistencia de los pacientes y la llegada de espontáneos, posibles de atenuar en la operación del día a día. A su vez, es relevante enfrentar el problema de agendamiento en términos dinámicos. Si bien esto dificulta el proceso de agendamiento, permite describir de forma más certera la realidad del problema. Asimismo, con el fin de optimizar el uso de recursos médicos y al igual que en parte de la bibliografía expuesta, se generan políticas de agendamiento mediante el uso de un modelo de optimización, que determine porcentajes de reserva adecuados, junto al desarrollo de un modelo de simulación, capaz de incorporar la programación dinámica y la presencia de variabilidad.

El tiempo de espera hasta recibir la cita médica agendada es una preocupación importante para los pacientes. Pero si a ello se suma un tiempo de espera excesivo para ser agendado, la espera se hace particularmente ingrata, dado que ni siquiera se tiene certeza de cuándo va a realizarse la atención. Estudios anteriores se han centrado principalmente en un corto período de programación, por ejemplo una mañana o un día específico. Sin embargo, la investigación desarrollada tiene como objetivo programar a los pacientes dentro de varios días o meses en el futuro. Programar la agenda para largos períodos de tiempo proporciona información a los pacientes en su proceso de espera. Por otra parte, también proporciona información al centro médico tal que se puedan tomar decisiones en forma oportuna.

Por otro lado, el modelo presentado utiliza además la información de los pacientes. En efecto, la investigación aquí descrita aborda el agendamiento de múltiples clases de pacientes con un modelo de reserva de capacidad, dando cuenta de la variabilidad entre las necesidades de los pacientes y recursos necesarios para cada clase y tratando uno de los futuros focos de investigación propuestos en Gupta & Denton (2008). Tal como se plantea en este artículo, el desarrollo de estos modelos ofrece la posibilidad de reducir el tiempo de espera y al mismo aumentar la cantidad de pacientes atendidos y la utilización de los recursos.

Por último, el principal objetivo de la investigación consiste en resolver un problema real existente en el Hospital del Salvador. Por tanto, se espera que la programación de citas médicas propuesta ayude a mejorar el desempeño hospitalario.

1.3. Metodología

El agendamiento de citas médicas es el proceso mediante el cual la capacidad de atención disponible es asignada a la demanda entrante. Cada día el personal que agenda recibe solicitudes de distintas fuentes y con variadas características. Su labor es asignar los recursos de la mejor manera posible. No obstante, frente al desconocimiento de la demanda futura el agendamiento es complejo. Por ello, la metodología de agendamiento presentada en la Tesis permite reservar capacidad para cada tipo, en distintos porcentajes que aseguren un acceso oportuno y justo. Existe un *trade-off* entre agendar hoy a los pacientes para un determinado día, o esperar a más adelante a que llegue otro cuya atención podría ser más apremiante.

La metodología propuesta se basa en la estrategia de mejora continua o ciclo de Deming, también conocido como círculo PDCA (del inglés Plan-Do-Check-Act; planificar, hacer, verificar y actuar), ampliamente utilizado y documentado (Goetsch & Davis (2014), Johnson (2002)). Tal como se describe a continuación, se trata de un proceso de retroalimentación hasta obtener los resultados esperados.

- **Planificar (*Plan*):** durante esta etapa se recopilan los datos necesarios para conocer el proceso, se especifican cuáles son los resultados esperados y se definen las actividades necesarias para lograr estos resultados.
- **Hacer (*Do*):** se lleva a cabo el plan desarrollado, dirigiendo y asignando recursos para esta tarea.
- **Verificar (*Check*):** se revisan los resultados obtenidos comparándolos con la planificación realizada en la primera etapa.
- **Actuar (*Act*):** en base a las conclusiones obtenidas en el paso anterior, se detectan errores que se traducen en mejoras para una próxima planificación.

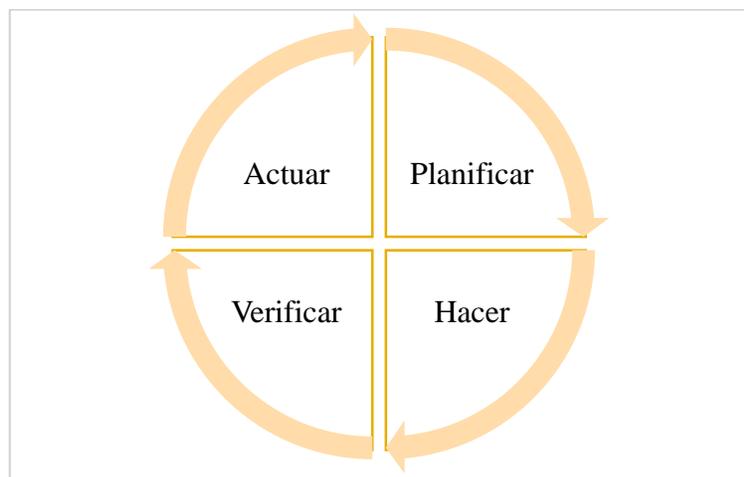


Ilustración 1: Círculo PDCA

Fuente: Elaboración propia

Para llevar a cabo la metodología de mejora continua en la presente sección se exhibe el diagnóstico del problema de agendamiento (Planificar). Las siguientes etapas de la metodología (así como la primera en menor detalle) se presentan en el artículo adjunto: “AGENDAMIENTO DE CITAS MÉDICAS MEDIANTE ASIGNACIÓN ÓPTIMA DE CAPACIDAD PARA DISTINTOS TIPOS DE PACIENTES”, donde se formulan los modelos de optimización y simulación, y se presentan los resultados del uso de la metodología de mejora continua para el agendamiento de citas médicas.

1.3.1. Diagnóstico del problema de agendamiento

Aunque el agendamiento de citas médicas tiene lugar en la mayoría de los centros de salud del mundo, la investigación aquí presentada se basa en la realidad del Hospital del Salvador. Por tanto, el objetivo final de la misma es aplicar las mejoras obtenidas a este ambiente hospitalario particular, si bien las conclusiones obtenidas pueden ser replicables y útiles a otros contextos. El Hospital del Salvador, HDS, es uno de los más importantes de Chile y de la ciudad de Santiago. Una de las particularidades del hospital es la atención de patologías de alta complejidad, acogiendo pacientes de diversas proveniencias. Siendo parte del Servicio de Salud Metropolitano Oriente, la principal afluencia de pacientes al HDS corresponde a pacientes derivados desde consultorios y postas de Atención Primaria de las comunas del sector oriente de Santiago (La Reina, Las Condes, Lo Barnechea,

Macul, Ñuñoa, Peñalolén, Providencia y Vitacura). Recibe además, pacientes derivados de otras regiones del país y usuarios provenientes del servicio de urgencia.

Al igual que la mayoría de los servicios de salud pública del país, el HDS cuenta con recursos limitados para la amplia demanda que recibe. Es de esta preocupación de donde nace el proyecto FONDEF IDeA² de CONICYT³, que presentaron la Universidad Católica en conjunto con el HDS. Este proyecto consiste principalmente en la predicción de requerimientos y programación de recursos escasos. Si bien se espera que estos modelos puedan ser replicables a las distintas realidades de los centros de salud públicos y privados de Chile y el mundo, su aplicación se enmarca en las problemáticas propias del HDS. Dentro del mismo, se ha seleccionado el policlínico de especialidades quirúrgicas, conformado por las especialidades de cirugía, traumatología y urología, como área de aplicación de los modelos desarrollados. El policlínico corresponde a uno de los más grandes del HDS, realizándose aproximadamente 22% del total de atenciones realizadas para 2013⁴.

a. Levantamiento del Proceso de Programación de Citas

El flujo del proceso de programación de citas se divide en cuatro macro procesos: llegada de pacientes, agendamiento, atención médica y proceso de derivación (Ver Ilustración 2 y ANEXO A: Flujo en Bizagui).

² FONDEF de CONICYT tiene como objetivo fortalecer y aprovechar las capacidades científicas y tecnológicas de las Universidades e institutos tecnológicos, para incrementar la competitividad de las empresas, y contribuir a mejorar la calidad de vida de la población. Dentro del FONDEF, el programa IDeA busca apoyar financieramente la ejecución de proyectos de investigación científica y tecnológica, con potencial impacto económico y/o social, cuyos resultados sean obtenidos y evaluados en plazos breves.

³ La Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT) es la institución estatal chilena que coordina, promueve y fomenta la investigación científica y tecnológica en sus distintos campos. Depende del Ministerio de Educación.

⁴ Fuente DEIS-RNLE 2013. Hospital del Salvador.

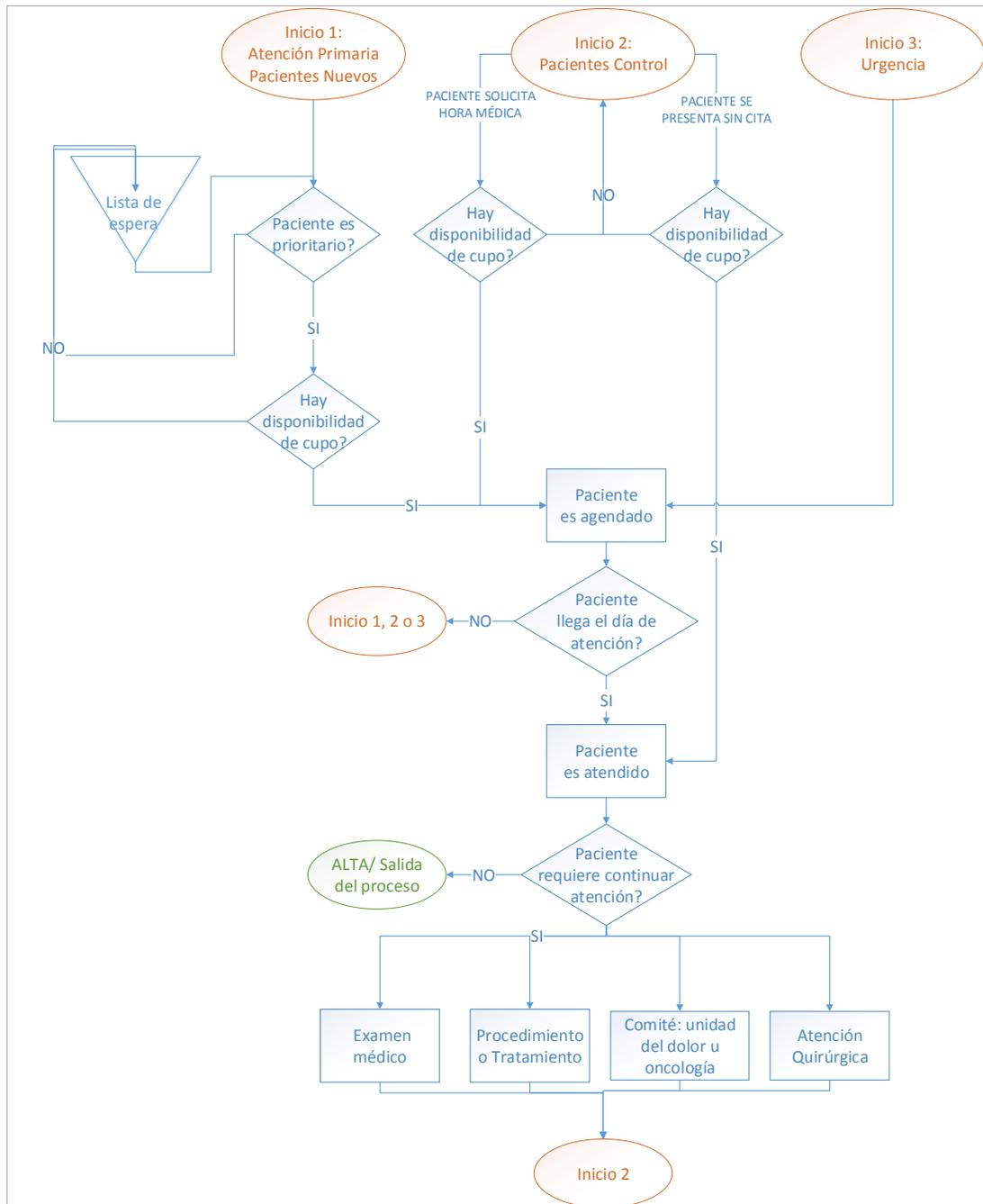


Ilustración 2: Flujo Programación de Citas médicas.

Fuente: Elaboración Propia

La demanda por atención se presenta desde dos orígenes principalmente⁵: pacientes de Atención Primaria y pacientes control. Los pacientes provenientes de atención primaria son aquellos que son referidos por primera vez al hospital, por lo tanto se conocen como pacientes nuevos. En cambio, los pacientes control son aquellos que ya han sido atendidos previamente en el policlínico, asistiendo a una enésima consulta.

Mientras esperan a ser atendidos, los pacientes nuevos forman la lista de espera. Si hay capacidad disponible, pacientes de esta lista son programados, priorizando la atención de pacientes con diagnósticos complejos.

Por otro lado, no hay lista de espera para los pacientes de control. Estos pacientes tienen que solicitar una cita directamente al hospital. Si hay capacidad disponible el paciente es programado en ese instante. Pero, si no hay capacidad disponible, el paciente debe volver otro día a solicitar cita. Esto evita que se pueda realizar una priorización adecuada de los pacientes control y que se tenga conocimiento de la cantidad de pacientes esperando, complicando la gestión de la capacidad que se posee.

La demanda de pacientes control también se presenta como pacientes que aparecen el mismo día de la atención sin una citación. Usualmente unos cuantos de estos pacientes reciben atención, usando cupos que se generan por la ausencia de otros pacientes. No obstante, este aspecto de la demanda no será estudiado en profundidad. Una aproximación del mismo se presenta en el Anexo C.2. Eliminación de pacientes espontáneos.

Ambos, pacientes nuevos y de control, se programan dentro de un horizonte máximo de tres meses, es decir, los encargados de apuntar las citas de los pacientes “miran” una agenda de hasta tres meses y de un mínimo de dos meses. Una vez que se cumple un mes se abre la agenda del mes siguiente.

Después de que el paciente es atendido, es decir, recibe su cita médica, puede salir del proceso si es dado de alta. Sin embargo, usualmente el paciente es derivado a otras

⁵ Además de los orígenes principales, se tiene pacientes provenientes del servicio de urgencia y pacientes de ingreso externo. Entre los segundos se encuentran pacientes derivados desde otros hospitales y pacientes derivados de otros centros de atención en regiones. A su vez, se tiene pacientes que entran al sistema desde otras unidades del mismo hospital. Se trata de una práctica informal que escapa del reglamento pero que sin embargo es aceptada por algunos médicos.

unidades del hospital para la toma exámenes, continuar el tratamiento o recibir atención quirúrgica. Estas instancias lo harán regresar posteriormente como paciente control.

Como política del Ministerio de Salud, el 30% de la capacidad de atención debe ser para los nuevos pacientes, y el 70% para los pacientes control. Sin embargo, no existe una justificación adecuada para estos porcentajes. Además, no hay un sistema de priorización formal. En efecto, si bien se da prioridad de atención a pacientes GES⁶, es decir, pacientes que por ley tienen garantías de acceso, esta priorización no responde a normas especificadas que clasifiquen los distintos diagnósticos o pongan fechas límites de atención, aun cuando las patologías GES deben asegurar la atención en plazos establecidos. Por ello muchos pacientes terminan siendo atendidos en el extrasistema, es decir, en centros médicos privados que exigen un alto precio para tratar a los pacientes.

Por otro lado, los distintos médicos pueden acceder a recibir pacientes de sobrecupo. Horas de sobrecupo que también podrían ser bloqueadas para un tipo de paciente o diagnóstico.

La cita médica para las especialidades quirúrgicas tiene una duración estándar de 15 minutos. Se lleva a cabo en los box de atención de cada especialidad: 11, 6 y 5 para las especialidades de cirugía, traumatología y urología respectivamente. Dado que la hora médico es el recurso limitante, la asignación de los box se ajusta a la oferta médica. De esta manera, se programa el horario de trabajo de los médicos distribuyéndolo en distintos días de la semana, sujeto a sus preferencias pero evitando que haya escases de espacio físico para atender.

b. Situación actual

La restricción de recursos, especialmente la cantidad de horas médicas disponibles, tienen sumido al policlínico en la asignación a corto plazo de pacientes, priorizando entre los pacientes nuevos a aquellos con patologías complejas y urgentes.

La restricción de recursos se debe a que la demanda es considerablemente más alta que la oferta, excediendo en al menos 30% en 2014 para las especialidades del policlínico (ver Ilustración 3). En efecto, para la especialidad de Urología la oferta es sólo un 60% de

⁶ Garantías Explícitas en Salud. Semejante al AUGE.

la demanda, es decir, esta excede a la oferta en un 40%. La oferta es la cantidad de horas o citas médicas disponibles para atención, mientras que la demanda es la cantidad estimada de pacientes que solicitaron cita en 2014 (considera pacientes nuevos y control).

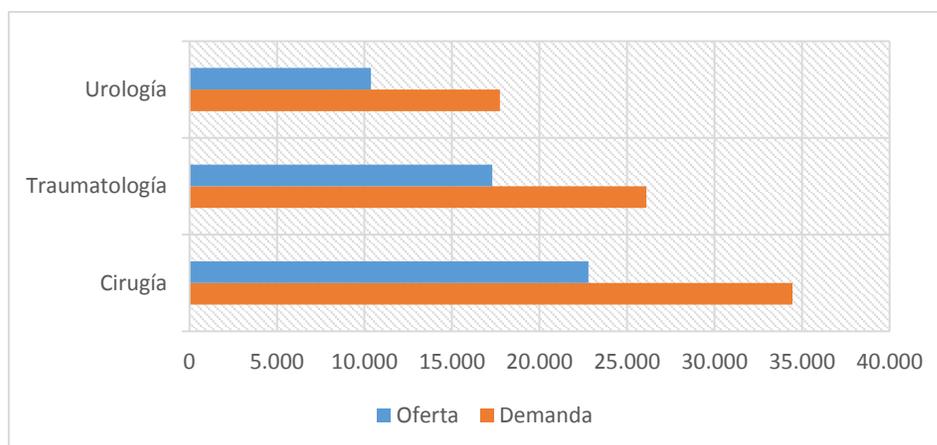


Ilustración 3: Oferta y demanda de citas médicas por especialidad

Fuente: Hospital del Salvador

La escasez de horas médicas para la alta demanda ha llevado a cifras alarmantes de listas de espera. Actualmente hay más de 19.000 pacientes nuevos, es decir provenientes de Atención Primaria, esperando a ser atendidos en el policlínico. Más aún, hay pacientes esperando desde 2011, es decir, casi 4 años (ver Ilustración 4).

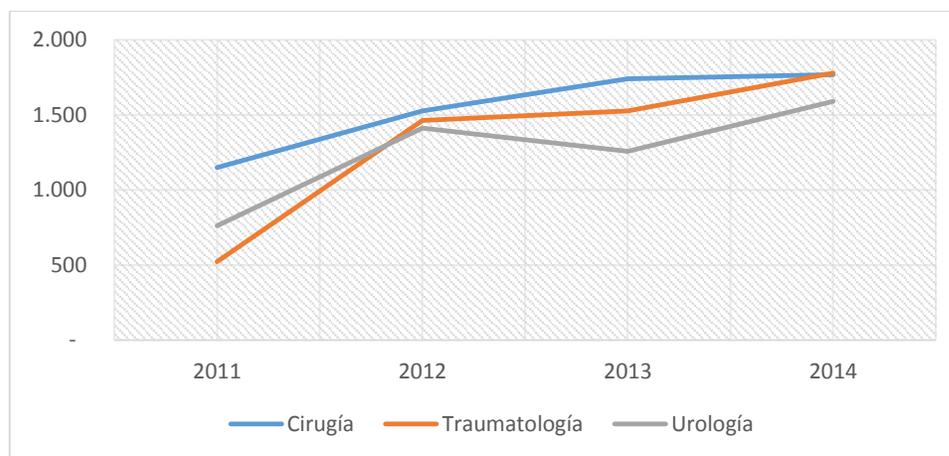


Ilustración 4: Lista de espera pacientes nuevos

Fuente: SIDRA Hospital del Salvador ingresados hasta 2014

Lamentablemente no se aprecia un aumento en la oferta de horas médicas. En efecto, la cantidad de pacientes atendidos disminuyó en 2014 en comparación a 2013 (Ver Ilustración 5).

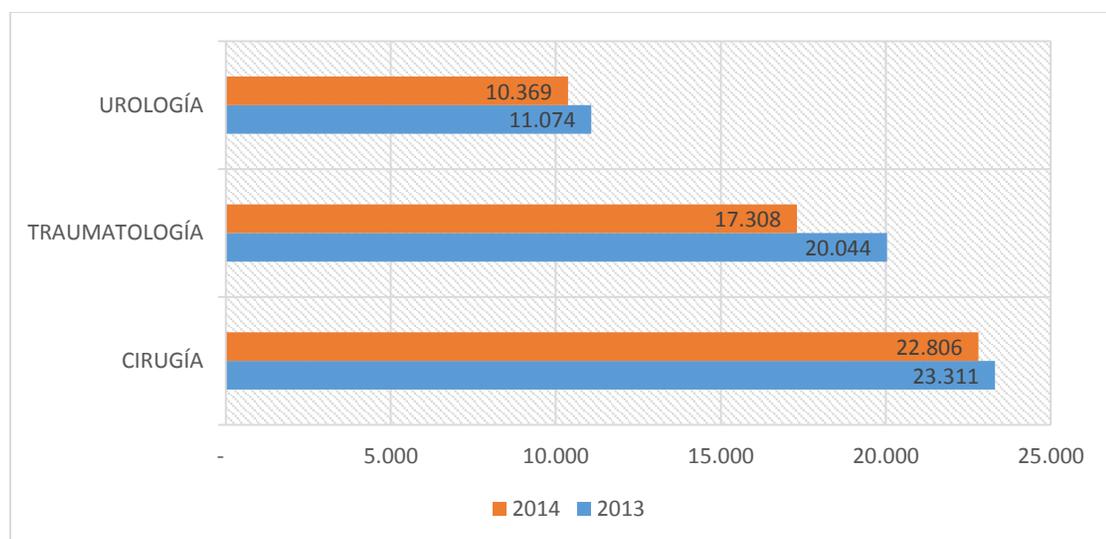


Ilustración 5: Número de consultas realizadas 2013 – 2014

Fuente: Boletín Estadístico 2013 y 2014

A su vez, el tiempo de espera en cola es excesivo, incluso para pacientes prioritarios (GES). La Ilustración 6 muestra el tiempo de espera promedio, en meses, para los pacientes de las distintas especialidades (barra azul). Mientras no existe mayor diferencia entre el tiempo de atención para pacientes prioritarios y no prioritarios en traumatología, e incluso en urología, sí es relevante la diferencia en cirugía, lo que demuestra que se está priorizando la atención de ciertos pacientes con diagnósticos complejos. No obstante, casi un año de espera para pacientes prioritarios puede significar un deterioro de la salud de estos pacientes.

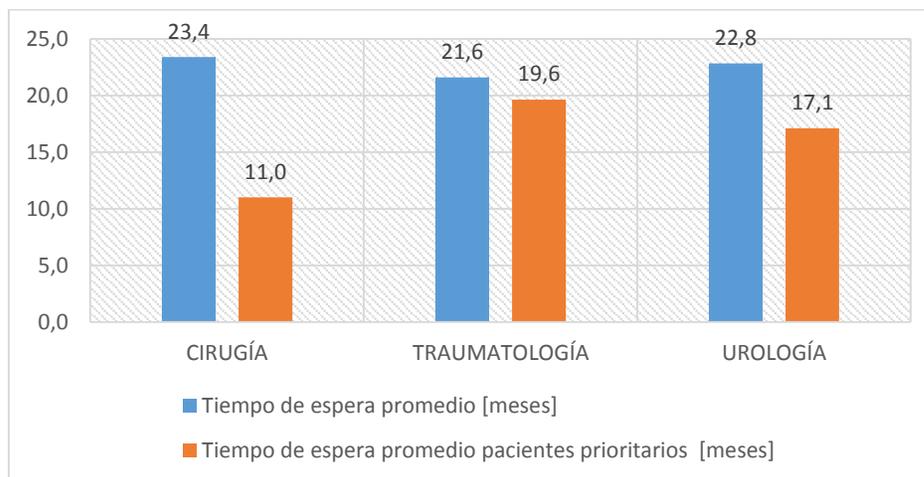


Ilustración 6: Tiempo de espera [meses] promedio por especialidad

Fuente: RNLE consultas 2010-2014

Del mismo modo, la Ilustración 7 muestra el tiempo de espera en cola para pacientes ingresados hasta Mayo de 2015. Se aprecia una gran cantidad de pacientes esperando entre 6 meses y un año, y otro importante grupo esperando más de 3 años. A estas alturas, es de suponer que estos últimos pacientes hayan tenido que buscar otros medios de atención, por ejemplo la atención privada en caso de poder costearla. De todas formas, la excesiva demora por recibir atención conlleva un deterioro en la salud del paciente y posibles complicaciones mayores en el futuro.

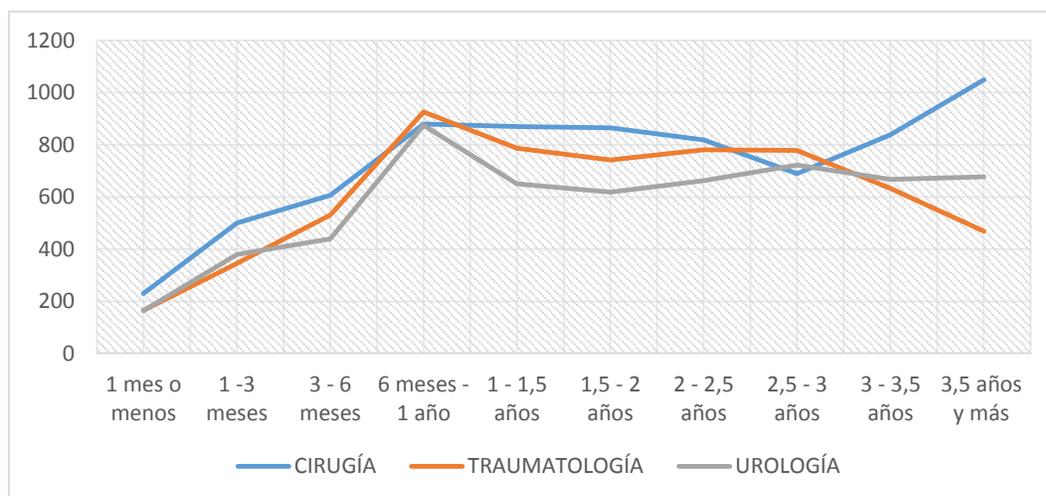


Ilustración 7: Tiempo de espera en cola por especialidad

Fuente Lista de espera 2014

El detrimento en la salud de los pacientes por largos tiempos de espera es una situación grave que debe ser evitada dentro de lo posible por el hospital pues pone en riesgo la salud de los pacientes. A su vez, para asegurar las garantías de acceso para pacientes GES, el hospital en ocasiones debe comprar horas médicas externas a centros de salud privada. Si bien, esto permite dar atención a los pacientes urgentes, conlleva un enorme costo para el hospital.

c. Indicadores de gestión y resultados esperados

Para medir la efectividad de los modelos de optimización y simulación es relevante medir si el sistema de priorización y la optimización de los espacios reservados en la agenda suponen una mejora, en la cantidad de pacientes atendidos y en el tiempo de espera de los pacientes, en particular de aquellos prioritarios.

Por ello, se estudian los siguientes indicadores:

- Tiempo de espera promedio por categoría de paciente
- Tiempo de espera máximo por categoría de paciente
- Lista de espera por categoría de paciente

1.4. Conclusiones

La investigación realizada presenta el uso conjunto de modelos de optimización y simulación como una herramienta robusta y eficaz para mejorar la programación de las citas médicas. Por medio del modelo de optimización determinístico es posible encontrar valores óptimos de reserva de capacidad. Luego la simulación permite incorporar aspectos como la variabilidad y programación dinámica, obteniendo como resultado información útil para la toma de decisiones. En efecto, como se menciona en Shafer & Smunt (2004), combinar el poder y flexibilidad de la simulación con datos empíricos puede ser una de las maneras más eficaces para ayudar a cerrar la brecha entre el rigor académico y la aplicabilidad práctica.

Asimismo, reservar capacidad para distintos tipos de pacientes asegura un mínimo de atención para cada tipo, y en particular para pacientes prioritarios, cerciora que haya capacidad disponible frente a demanda futura, evitando que se llenen los cupos con

pacientes menos urgentes. A su vez, los porcentajes de reserva para diferentes tipos de pacientes permiten, no sólo optimizar la programación, sino también hacerla más simple y manejable en la práctica. También, la posibilidad de liberar la capacidad reservada días antes de la cita otorga flexibilidad y asegura que se utilice al máximo el recurso cuello de botella y por tanto el flujo de atención sea el mejor posible.

Igualmente, los resultados obtenidos permiten saber a priori cuánto tiempo tendrán que esperar los pacientes hasta ser atendidos. Ello permite al hospital adaptar la planificación actual y tomar mejores decisiones para el futuro, justificando por ejemplo la contratación de más horas médicas. A su vez, desde la perspectiva del paciente el conocimiento del tiempo de espera o *feedback* mejora su experiencia de la espera (Larson, 1987).

Finalmente, el uso de una metodología de mejora continua permite retroalimentar la política de reserva encontrada, proponiendo y testeando nuevas soluciones que puedan comportarse mejor en el mundo dinámico y estocástico.

2. AGENDAMIENTO DE CITAS MÉDICAS MEDIANTE ASIGNACIÓN ÓPTIMA DE CAPACIDAD PARA DISTINTOS TIPOS DE PACIENTES

2.1.Introducción

La OMS indica que es necesario suministrar a los pacientes: acceso, continuidad en la atención, y atención oportuna. La salud pública por tanto, debe asegurar el acceso oportuno a la población desde una perspectiva social, sin discriminación y sin metas lucrativas (Giusti, Criel, & De Béthune, 1997). Luego, un sistema de agendamiento bien diseñado permite entregar acceso oportuno y conveniente a los servicios de salud, ajustando oferta con demanda (Gupta & Denton, 2008). A su vez, una correcta asignación de citas permite reducir los tiempos de espera por atención, mientras incentiva un mejor comportamiento tanto en médicos como pacientes (retrasos de médicos y pacientes, etc.) (Vissers, 1979). Por tanto, es necesario ajustar la oferta y la demanda mediante un sistema eficiente de programación de citas médicas.

Dentro de los sistemas de atención de salud, la cita médica es un recurso esencial. En ella el médico proporciona una primera mirada al paciente, definiendo un diagnóstico o sospecha. Además de iniciar la atención, la cita permite continuar el tratamiento del paciente, reevaluando la condición del mismo en el tiempo. Por lo tanto, la cita médica debe ser programada oportunamente, de manera de no retrasar el tratamiento del paciente y no agravar su diagnóstico inicial. Esto es especialmente significativo para pacientes prioritarios, es decir, pacientes que presentan patologías que requieren una atención urgente.

Sin embargo, a pesar de la importancia de la cita muchos centros médicos no utilizan de manera apropiada las horas destinadas a este servicio, realizando un proceso de agendamiento manual o poco inteligente, especialmente cuando el problema es complejo: distintos tipos de pacientes, prioridades, disponibilidades, etc. En particular, el agendamiento de citas se enfrenta a una serie de restricciones de capacidad física y disponibilidad del recurso médico para una demanda elevada. Sumada a la limitación de recursos, la programación de citas debe lidiar con variabilidad en la llegada de pacientes.

La llegada de pacientes no ocurre en un solo instante y no se tiene certeza de quienes llegarán.

Sobre la base de que los recursos disponibles pueden ser usados de manera más eficiente, la motivación de esta investigación es usar de mejor manera los recursos, ordenando el agendamiento y diferenciando a los pacientes según sus características, promoviendo una atención oportuna y justa. A su vez, se desea hacer visible los problemas existentes en los centros de salud, especialmente, los excesivos tiempos de espera. Finalmente, el agendamiento debe considerar la posibilidad de que aparezcan pacientes urgentes en el futuro y por tanto, no debería llenarse la agenda exclusivamente con los pacientes de hoy. Por lo tanto, se tiene un enfoque dinámico con una demanda variable o estocástica.

El artículo se organiza de la siguiente manera. En la siguiente sección, 2, se expone la revisión bibliográfica. En la sección, 3, se presenta el diagnóstico del Hospital del Salvador y la forma actual de agendamiento. Mientras la sección 4 describe el modelo determinístico y el modelo de simulación. Luego, en la sección 5 se exponen los resultados obtenidos mediante el uso conjunto de optimización y simulación. Finalmente, en la sección 6 se presentan las conclusiones, señalando los principales aportes de la investigación expuesta. La sección concluye con una sugerencia de futuras investigaciones.

2.2.Revisión bibliográfica

Una serie de investigaciones han estudiado la forma de minimizar el impacto de la incertidumbre en la demanda dadas por la impuntualidad (White & Pike, 1964), no aparición de pacientes (Liu & Ziya (2014), Berg, Denton, Erdogan, Rohleder, & Huschka (2014) y Lofti & Torres (2014)), la llegada de pacientes espontáneos (Walter (1973) y Vissers & Wijngaard (1979)), entre otros. Mientras las perturbaciones anteriores pueden poner en jaque la atención de determinados días, se han estudiado ampliamente políticas para disminuir sus efectos negativos, tales como el sobre-agendamiento, anticipación del llamado de pacientes, entre otros ((Liu & Ziya (2014) y Zeng, Zhao, & Lawley (2013)), políticas que solucionan problemas de corto plazo (nivel operativo).

Con múltiples servidores y una demanda heterogénea, a largo plazo importa asegurar la atención de los pacientes sin que impliquen tiempos de espera (desde que se solicita hasta que se recibe la cita) excesivos. Se debe por tanto decidir a qué pacientes y en qué momento agendar. Al respecto, la literatura de agendamiento se puede clasificar en dos categorías: estática y dinámica (Cayirli & Veral, 2003). En el caso estático, todas las decisiones son tomadas antes del inicio de las citas, siendo la forma más común de agendamiento y la más documentada en la literatura. No obstante, una serie de investigaciones han considerado el agendamiento dinámico (Fries & Marathe (1981), Klassen & Rohleder (1996), Green, Savin, & Wang (2006), Batt & Terwiesch (2012), entre otros). Este tiene la ventaja de ir tomando las decisiones conforme pasa el tiempo, con lo que se tiene más información para llevar a cabo la acción. Por ejemplo, en vez de agendar los pacientes de un mes a principio del mismo y en función de las circunstancias del momento, todos los días se revisa la demanda y se van tomando decisiones para el futuro, sin llenar toda la agenda en un solo momento. Es posible a su vez, encontrar estudios que consideran ambos enfoques (Liao, Pegden, & Rosenshine (1993), Wang (1993) y Liu & Liu (1998)).

Además del uso de modelos de optimización para resolver problemas dinámicos y estocásticos, la simulación ha demostrado ser una alternativa exitosa para determinar políticas adecuadas de agendamiento en casos reales, y por tanto ha sido ampliamente utilizada. La simulación permite evaluar el desempeño de los modelos frente a diferentes escenarios conformados a partir de variados patrones: de demanda (Rohleder & Klassen, 2000), duraciones de la atención (Dexter, Macario, Traub, Hopwood, & Lubarsky, 1999), cantidad de bloques por atención (Ho & Lau, 1999), tiempos de arribo entre pacientes, demanda y estrategias de bloqueo (Dharmadhikari & Zhang, 2011); inasistencia y/o cancelaciones de pacientes (Liu, Ziya, & Kulkarni, 2010), etc. Asimismo, la simulación permite testear diversas reglas o políticas de agendamiento (Cayirli, Veral, & Rosen, 2006). Dentro de los métodos de simulación, la simulación de eventos discretos es muy utilizada (Liu & Liu (1998), Ho & Lau (1999), Wijewickrama & Takakuwa (2005), Bhattacharjee & Ray (2015)) dado que permite incorporar la complejidad de la realidad a los modelos.

Por otro lado, la limitación de horas médicas hace necesario establecer prioridades, especialmente frente a los distintos tipos de pacientes que se reciben. Si bien la práctica de asignar cita a los pacientes de acuerdo al orden de llegada (FCFS⁷) no es inusual (Cayirli & Veral, 2003), un sistema de priorización contribuye a una mayor equidad en el acceso a la atención y a una mejora en la situación de los pacientes que están esperando (Cisneros, 2010). En efecto, una serie de estudios consideran la categorización de pacientes en el agendamiento (Walter (1973), Cox, Birchall, & Wong (1985), entre otros). Con ello se asume que se diferencia dentro de la demanda a diversas clases de pacientes de acuerdo a diversas características. La información de los pacientes es utilizada para clasificar a los mismos en categorías de prioridad, caracterizadas por un máximo recomendado de tiempo de espera (Patrick, Puterman, & Queyranne, 2008), costos/beneficios específicos (Gocgun, Bresnahan, Ghate, & Gunn, 2011) o incluso niveles de reserva de capacidad (Patrick & Puterman, 2007).

Cuando no se conoce con certeza el futuro y se tienen diversas clases de pacientes, se utilizan medidas para paliar posibles eventualidades como la reserva de capacidad, lo cual complejiza los sistemas de agendamiento (Gupta & Denton, 2008). Dentro de la literatura, existen variadas formas de aplicar la asignación de capacidad. Kolesar (1970) considera la reserva de capacidad utilizando procesos de decisión markovianos para la resolución de su modelo. También en ambientes dinámicos, se estudia el problema de asignación de capacidad agendando pacientes de diferentes prioridades por medio de diferentes niveles de protección (Erdelyi & Topaloglu, 2009). De manera similar, en Dobson, Hasija, & Pinker (2011) se reserva una capacidad fija para pacientes urgentes, probando para distintos valores de reserva de tal forma de encontrar un nivel deseado de agendamiento.

En vista de la revisión bibliográfica aquí expuesta, es interesante afrontar el problema de agendamiento desde un punto de vista macro o estratégico, enfrentando las fluctuaciones de la demanda a largo plazo. Usualmente la bibliografía considera un agendamiento en cortos períodos de tiempo (un día o semana). No obstante, programar la

⁷ Por sus siglas en inglés: First-come, first-served, primero en llegar, primero en ser servido

agenda para largos períodos de tiempo (por ejemplo un año) proporciona información al centro médico tal que se puedan tomar decisiones en forma oportuna. Del mismo modo, entrega información a los pacientes durante su proceso de espera.

A su vez, es relevante enfrentar el problema de agendamiento en términos dinámicos y estocásticos, describiendo de forma más certera la realidad del problema. Para ello, idealmente se querría desarrollar un modelo de optimización que incorpore la variabilidad propia del agendamiento. No obstante, modelos de optimización dinámicos y estocásticos se construyen para situaciones particulares (simplificaciones), requieren de aproximaciones o se resuelven para casos muy pequeños, lo que significa que aunque se encontrara un resultado “óptimo” no resolvería necesariamente la problemática particular o al menos no en todos los casos. Por tanto, en la presente investigación primero se construye y resuelve un modelo de optimización determinístico que encuentra el óptimo sin presencia de variabilidad y que por tanto puede resolverse para mayor cantidad de variables y datos. Luego, este modelo se complementa con un modelo de simulación, capaz de incorporar la programación dinámica y la presencia de variabilidad.

La investigación considera a su vez la programación de citas para múltiples clases o tipo de pacientes. Un tema que ha comenzado a ser estudiado en la literatura principalmente en la última década y en forma poco desagregada. En efecto, usualmente se consideran sólo dos tipos de pacientes. En cambio, la presente investigación considera 4 tipos de pacientes, donde cada clase posee distinto grado de prioridad. Luego, es en base a esta prioridad y el tiempo que el paciente espera en cola que se reserva capacidad para demanda futura. El agendamiento de múltiples clases de pacientes con un modelo de reserva de capacidad da cuenta de la variabilidad entre las necesidades de los pacientes y recursos necesarios para cada clase, tratando uno de los futuros focos de investigación propuestos en Gupta & Denton (2008).

Finalmente, la aplicación de modelos de optimización determinísticos sumados a herramientas de simulación, permiten encontrar políticas adecuadas que mejoren el agendamiento de citas médicas mediante la reserva de capacidad, frente a métodos estáticos y sin bloqueo de espacios utilizados actualmente en la mayoría de los sistemas de agendamiento. Por mejorar el agendamiento se entiende disminuir los tiempos de

espera de los pacientes, especialmente de aquellos urgentes y/o prioritarios. La investigación propone un sistema de programación de citas capaz de mejorar el rendimiento de los centros hospitalarios. En efecto, el principal objetivo de la investigación consiste en resolver el problema real existente en el Hospital del Salvador. Por tanto, se espera que la programación de citas médicas propuesta ayude a mejorar el desempeño hospitalario de este y otros centros de salud.

2.3.Descripción del problema de agendamiento

El agendamiento de citas médicas es el proceso mediante el cual la capacidad de atención disponible es asignada a la demanda entrante. Cada día el personal que agenda recibe solicitudes de distintas fuentes y con variadas características. Su labor es asignar los recursos de la mejor manera posible. Dados los diversos tipos de pacientes solicitando atención y frente al desconocimiento de la demanda futura, existe un *trade-off* entre agendar hoy a los pacientes para un determinado día o esperar a más adelante a que llegue otro cuya atención podría ser más apremiante. Por lo cual el modelo de agendamiento presentado en el paper permite reservar capacidad para cada tipo de paciente, en distintos porcentajes que aseguren un acceso oportuno y justo.

2.3.1. Diagnóstico Hospital del Salvador

Si bien el agendamiento de citas médicas tiene lugar en la mayoría de los centros de salud alrededor del mundo, la investigación aquí presentada se basa en la realidad del Hospital del Salvador y en particular en el Policlínico de Especialidades Quirúrgicas. Por tanto el objetivo final es aplicar las mejoras obtenidas a este ambiente hospitalario particular, sin que ello evite que las conclusiones obtenidas pueden ser replicables y útiles a otros contextos.

El Hospital del Salvador, HDS, es uno de los más importantes de Chile y de la ciudad de Santiago. Una de las particularidades del hospital es la atención de patologías de alta complejidad, acogiendo pacientes de diversos puntos de demanda. No obstante, al igual que la mayoría de los servicios de salud pública del país, el HDS cuenta con recursos limitados para la amplia demanda que recibe.

En efecto, si bien durante 2014 se realizaron más de 50.000 citas médicas en todo el policlínico, la lista de espera ha aumentado. Esto se debe a que la demanda es considerablemente mayor a la oferta, entendida como horas médicas disponibles. En efecto, la demanda excede a la oferta en más de un 30%, y en particular en un 40% para la especialidad de Urología. Por ello, actualmente hay más de 19.000 pacientes esperando a ser atendidos en todo el policlínico. Más aún, hay pacientes esperando desde 2011 tal como se presenta en el gráfico siguiente.

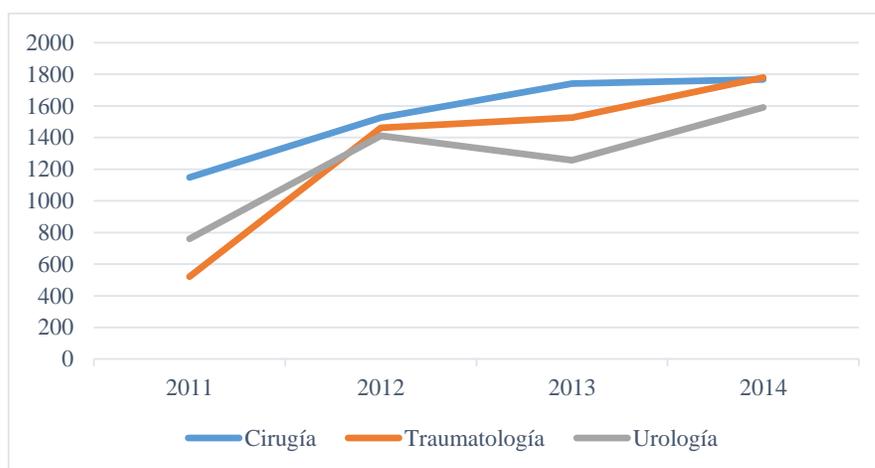


Ilustración 8: Lista de espera por año

Fuente: SIDRA Hospital del Salvador

A su vez, en promedio los pacientes esperan más de 22 meses por ser atendidos. Incluso los pacientes “prioritarios” esperan más de 11 meses (Ver Ilustración 9). Ello trae como consecuencia un deterioro en la salud de los pacientes, afectando directamente su calidad de vida.

Los pacientes prioritarios son aquellos que presentan patologías complejas y urgentes. En la mayoría de los casos equivalen a diagnósticos con Garantías Explícitas de Salud, GES, patologías que por ley tienen prioridad de atención.

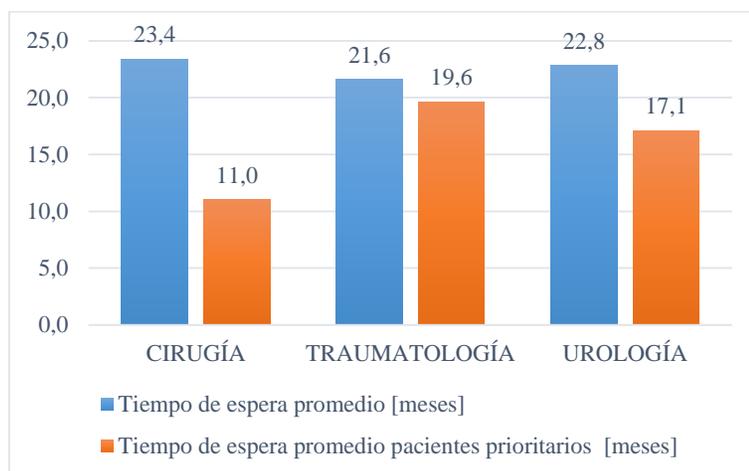


Ilustración 9: Tiempo de espera [meses] promedio por especialidad

Fuente: RNLE consultas 2010-2014

2.3.2. Agendamiento de citas Hospital del Salvador

La programación de citas en el hospital parte con el requerimiento de los pacientes. La demanda viene de dos fuentes: Atención Primaria y pacientes control. Los pacientes derivados de Atención primaria son referidos al hospital por primera vez, por lo tanto se les conoce como pacientes Nuevos.

Mientras esperan a ser atendidos, los pacientes nuevos forman la lista de espera. Si hay capacidad disponible, pacientes de la lista son agendados, especialmente si se trata de pacientes prioritarios. Por otro lado, no hay lista de espera para pacientes control. Ellos tienen que solicitar cita en forma presencial. Si hay capacidad disponible el paciente control es agendado y posteriormente recibe su atención. Pero, si no hay capacidad disponible el paciente debe volver al hospital otro día, sin que se haya registrado su solicitud. Tanto pacientes nuevos como control son agendados hasta un horizonte máximo de tres meses.

Luego que el paciente recibe la atención puede ser dado de alta. No obstante, usualmente el paciente es derivado a tomar exámenes, recibir atención quirúrgica o continuar un tratamiento. Luego de lo cual es paciente vuelve como control.

Como política del ministerio de salud de Chile, 30% de las citas médicas deben ser para pacientes nuevos y 70% para pacientes control. Sin embargo, no existe una adecuada justificación para estas tasas. A su vez, no hay un sistema formal de priorización.

2.4. Enfoque de solución

2.4.1. Definición de supuestos

Con el fin de simplificar los modelos de agendamiento de citas se utilizan los siguientes supuestos.

a. Tiempo de servicio

El tiempo o capacidad de atención disponible diaria para atención de citas médicas, es dividido en Q_t espacios de igual largo para cada día 't'. En cada espacio Q_t , usualmente de 10-15 minutos, se da atención a un paciente sin importar el tipo o categoría que este posea.

Si bien en la práctica los tiempos de atención por pacientes son variables (Bailey, 1952), especialmente para pacientes de diverso tipo, lo que podría hacer que la atención de un día t demore más del tiempo previsto, se asume que todos los pacientes agendados para el día t reciben atención ese mismo día. Operativamente esto podría requerir tiempo extra de trabajo por parte de los médicos o una aceleración de la atención de los pacientes restantes, pero estos aspectos no son considerados en el modelo.

b. Proceso de llegada de pacientes

La llegada de pacientes sigue un proceso de Poisson, donde el tiempo entre llegadas distribuye exponencial con una tasa λ . Este supuesto es factible dado que se trabaja con un espacio de tiempo continuo donde la llegada de pacientes es un proceso estocástico y el tiempo entre llegadas es independiente de otros tiempos de llegada.

El supuesto de comportamiento de procesos estocásticos de acuerdo a un proceso de Poisson es ampliamente utilizado en la literatura, y en particular para definir patrones de llegada de pacientes. En Klassen & Rohleder (1996) y Rohleder & Klassen (2000) la distribución de Poisson se utiliza para generar la llegada de pacientes urgentes. En Patrick & Puterman (2007) se minimiza la capacidad no utilizada sujeta a una restricción de horas extras bajo el supuesto de la demanda de Poisson. También se utilizan procesos de Poisson

para determinar la llegada de pacientes semi-urgentes (Zonderland, Boucherie, Litvak, & Vleggeert-Lankamp, 2010), la demanda tanto de pacientes de rutina como de pacientes urgentes (Dobson, Hasija, & Pinker, 2011), la demanda de pacientes externos (Bretthauer, Heese, Pun, & Coe, 2011) y la demanda de pacientes en general (Liu & Ziya, 2014). Más recientes, en de Souza, Morabito, Chiyoshi, & Iannoni (2015) la demanda de distintas clases de usuarios arriba con un proceso de Poisson mientras que en Samorani & LaGanga (2015) solicitudes de cita llegan antes de la sesión clínica de acuerdo a un proceso de Poisson.

c. Otros

Se asume que las decisiones son tomadas una vez al día y el personal encargado de agendar puede dar citas (en caso de haber demanda y espacio) por adelantado con un horizonte de hasta D días hacia adelante. En el caso de que se forme una cola de pacientes esperando a que se les asigne una cita, y considerando los distintos tipos de pacientes (lo que repercute en su prioridad de atención), se asume que se agenda al primer paciente que está en cola de acuerdo al espacio reservado para su tipo.

Por otro lado, se asume que todos los pacientes agendados se presentan. Si bien este supuesto no afecta directamente el modelo, al no considerar la inasistencia de pacientes se asume que no existe una demanda extra proveniente de pacientes que al perder su cita deben volver a solicitarla. En la práctica la inasistencia de pacientes es común (10-30%) y suele compensarse su efecto mediante la atención de pacientes que se presentan el mismo día de la cita sin haber sido previamente agendados, y por medio del sobre-agendamiento de pacientes. No obstante, al no considerar la inasistencia de pacientes, el modelo no reflexiona tampoco en estos mecanismos.

Finalmente, se asume que los pacientes aceptan el primer espacio disponible para ser atendidos, es decir, no se considera la elección de los pacientes.

2.4.2. Formulación del modelo de optimización

Dada la capacidad limitada, se quiere obtener un sistema adecuado de priorización, que asegure la atención de los pacientes en un tiempo razonable de acuerdo a la gravedad de su diagnóstico. Por ello, se desarrolla un modelo de optimización determinístico cuyo

principal objetivo es definir porcentajes de reserva para los diferentes tipos de pacientes, a partir de la decisión de cuántos pacientes de cada tipo agendar. Los porcentajes de reserva obtenidos serán utilizados como input para una posterior simulación donde se testea la política de agendamiento y se agrega variabilidad y programación dinámica al agendamiento.

La demanda por su parte, corresponde a la cantidad de pacientes que solicitan cita médica en el centro de atención cada día. Esta demanda se compone de pacientes con diversos diagnósticos que suelen diferir en gravedad y urgencia de atención. Existen pacientes prioritarios y no prioritarios. A su vez, ciertos pacientes se presentan por primera vez mientras otros solicitan una consulta repetida o control. Así, Y_i^d corresponde a la cantidad de pacientes del tipo i que solicitan atención el día d . Dado el análisis estadístico de los datos provistos por HDS, se tiene que el número de pacientes que llega cada día se puede representar por un proceso de Poisson con tasa conocida y homogénea en el tiempo.

Por otro lado, los pacientes solicitan cita un día ' d ' y son agendados para un día ' t '. Es decir, el tiempo que esperan los pacientes es $t-d$, desde que solicitan cita hasta que reciben el servicio de la misma. Se considera un horizonte de planificación de H días. Asimismo, los pacientes control solicitan cita para ' B ' días en el futuro, mientras los pacientes nuevos desean su cita tan pronto como sea posible.

El modelo de optimización considera la posibilidad de sobre-agendar horas médicas, es decir, ampliar la capacidad de atención. No obstante, el uso de estos módulos de atención constituye un costo extra, dado que debe pagarse estas horas de trabajo extra a los médicos. Luego, con el propósito de asegurar la atención oportuna para cada tipo de paciente se tiene un costo por cada día esperando, costo que depende del tipo o categoría del paciente y que por tanto es mayor para pacientes de categoría prioritaria. Finalmente, se tiene un costo por no atender a pacientes prioritarios dentro del plazo establecido por el GES, ' A '. Este costo se determina a partir de los costos de atención en el extrasistema.

El resumen de los conjuntos y datos se presenta a continuación:

Conjuntos

- I: Tipo de paciente
 - o $i = 1$ nuevo prioritario
 - o $i = 2$ nuevo no-prioritario
 - o $i = 3$ control prioritario
 - o $i = 4$ control no-prioritario
- D: días en que se agenda o programa la cita
- T: días en que se realizan las citas

Datos

- Q_t : capacidad de atención del día t
- K_t : capacidad de sobre-agendamiento del día t
- $C1_i$: costo de cada día esperando hasta ser atendido para paciente del tipo i
- $C2$: costo por cada espacio de sobre-agendamiento ocupado
- $C3$: costo de no alcanzar a atender a un paciente prioritario dentro de A_i
- B_i : cantidad de días luego de los cuales paciente del tipo i solicita cita
- A_i : plazo máximo, una vez cumplido B_i , en el que dar cita a pacientes prioritarios
- H : horizonte total de planificación [días]
- Y_i^d : cantidad de pacientes del tipo i que se presentan el día d

Dado que no existe certeza respecto a la cantidad de pacientes de cada tipo que se presentarán en un futuro, el modelo limita el agendamiento a ciertos porcentajes de la capacidad total, es decir, cada paciente del tipo i tiene reservado un porcentaje de la agenda r_i . Este porcentaje se calcula semanalmente, permitiendo agendar a pacientes de un mismo tipo en un día pero asegurando que todos los tipos, aun en distintos porcentajes, sean atendidos.

Luego, se definen las variables de decisión x_i^{dt} y z_i^{dt} como la cantidad de pacientes del tipo i agendados el día d para el día t y la cantidad de pacientes del tipo i agendados en d para ser atendidos en t que utilizan capacidad de sobre-agendamiento. Cabe mencionar que no se está asignando un espacio concreto dentro del día a un paciente específico, sino que se están agendando grupos de pacientes para cada día. Si bien en la

práctica el paciente es agendado para una hora determinada del día, el modelo táctico-estratégico aquí presentado permite estudiar la distribución de los tipos de pacientes a lo largo del período de estudio y determinar la capacidad óptima a reservar para cada tipo.

Variables

- r_i : porcentaje de la capacidad total reservada para agendar pacientes del tipo i
- x_i^{dt} : cantidad de citas médicas del tipo i agendadas el día d para el día t
- z_i^{dt} : cantidad de citas médicas de sobrecupo del tipo i (sólo para prioritarios $i = 1$ o $i = 3$) agendadas el día d para el día t

Naturaleza de las variables

$$\begin{aligned} r_i &\in R && \forall i \\ x_i^{dt} &\in N^{+0} && \forall i, d, t \\ z_i^{dt} &\in N^{+0} && \forall i, d, t \end{aligned}$$

Luego la función objetivo corresponde a la minimización de los costos presentados anteriormente. Para aquellos pacientes que no alcanzan a ser agendados dentro del período de modelación, H [días], el costo de cada día esperando se calcula hasta el final del período.

Función Objetivo

$$\begin{aligned} \text{Min} \sum_{i=1}^I &\left[C1_i * \left(\sum_{d=1}^D \sum_{t=1}^T ((t-d) * x_i^{dt} + (t-d) * z_i^{dt}) + \sum_{d=1}^D (H-d) \right. \right. \\ &\left. \left. * \left(Y_i^d - \sum_{t=1}^T (x_i^{dt} + z_i^{dt}) \right) \right) + C2 * \sum_{d=1}^D \sum_{t=1}^T z_i^{dt} \right] \\ &+ C3 * \sum_{i \text{ tq } i=1 \text{ o } 3} \sum_{d=1}^D \left(Y_i^d - \sum_{t \text{ tq } t-d > B_i + A_i}^T (x_i^{dt} + z_i^{dt}) \right) \end{aligned}$$

Restricciones

$$\sum_{d=1}^D \sum_{i=1}^I x_i^{dt} \leq Q_t \quad \forall t \quad (1)$$

$$\sum_{d=1}^D \sum_{i=1}^I z_i^{dt} \leq K_t \quad \forall t \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^I r_i \leq 1 \quad (3)$$

$$\sum_{d=1}^D \sum_{t=1+5n}^{5(n+1)} (x_i^{dt} + z_i^{dt}) \leq r_i * \sum_{t=1+5n}^{5(n+1)} (Q_t + K_t) \quad \forall i, n \text{ tq } n \in [0, \frac{H}{5} - 1] \quad (4)$$

$$\sum_{t=1}^T x_i^{dt} + \sum_{t=1}^T z_i^{dt} \leq Y_i^d \quad \forall i, d \quad (5)$$

$$x_i^{dt} + z_i^{dt} = 0 \quad \forall i, d, t \text{ tq } d + B_i > t \quad (6)$$

$$x_i^{dt} + z_i^{dt} = 0 \quad \forall i, d, t \text{ tq } i = 1 \text{ o } 3 \text{ y } t - d > B_i + A_i \quad (7)$$

- (1) Restringe la cantidad de citas agendadas al número total de módulos disponibles cada día
- (2) Restringe la cantidad de citas sobre-agendadas a la capacidad de sobre-agendamiento diaria
- (3) La suma de los porcentajes de reserva debe ser menor o igual a 1
- (4) Restringe la cantidad de citas agendadas para cada tipo a la capacidad reservada para ese tipo
- (5) Restringe la cantidad de pacientes agendados a la cantidad de pacientes que se presentan
- (6) No se agendan o sobre-agendan pacientes para un día anterior a B_i
- (7) No se agendan pacientes prioritarios para un plazo mayor a A_i después del tiempo para el cual solicitan cita.

2.4.3. Formulación del modelo de simulación

Los distintos r_i buscan asegurar un acceso oportuno y justo, evitando que se ocupen todos los cupos u horas médicas disponibles en pacientes no prioritarios y no haya espacios disponibles para un paciente prioritario cuando éste se presente.

Una vez resuelto el modelo de optimización, se toman los porcentajes de reserva obtenidos, r_i , como input para la simulación. Mediante el modelo de simulación se agrega variabilidad y programación dinámica al agendamiento.

Mediante la simulación se verifica si los porcentajes de reserva del modelo determinísticos funcionan en la realidad estocástica. Esta revisión se hace por medio de los indicadores de gestión siguientes:

- Lista de espera para cada categoría
- Tiempo de espera promedio para cada categoría
- Tiempo de espera máximo para cada categoría

A fin de no desperdiciar capacidad, si no se presentan pacientes de una cierta categoría y el momento de la cita está próximo, se permite liberar ese cupo para otra categoría. En este caso, la de mayor prioridad dentro de las categorías restantes. Se utiliza simulación de eventos discretos para representar el sistema de agendamiento.

2.4.4. Retroalimentación al modelo de optimización

La revisión de los indicadores de gestión dados por la simulación indica si se ha conseguido o no el desempeño buscado. El desempeño buscado corresponde a de los requerimientos del hospital. Si al testear el comportamiento de la política de reserva en la simulación ésta es adecuada a los propósitos del hospital, la política puede ser aprobada y comenzada a usar, ya no solo en los modelos, sino en la realidad del ambiente hospitalario.

Sin embargo, si no se consigue el desempeño esperado, se analizan los resultados obtenidos y se renueva el modelo de optimización con nuevas restricciones que permitan alcanzar el resultado esperado. Esto hace que los r_i varíen para cada tipo de paciente. Estos nuevos porcentajes de reservas implican un nuevo resultado en la simulación y cada resultado corresponde a un escenario de estudio diferente.

La construcción de los nuevos escenarios se hace añadiendo restricciones al modelo de optimización, limitando el tiempo promedio de espera para algún tipo de pacientes. Se tiene restricciones del tipo:

$$\left(\sum_{d=1}^D \sum_{t=1}^T ((t-d) * x_i^{dt} + (t-d) * z_i^{dt}) + \sum_{d=1}^D (H-d) * \left(Y_i^d - \sum_{t=1}^T (x_i^{dt} + z_i^{dt}) \right) \right) \leq W * \sum_{d=1}^D \sum_{t=1}^T (x_i^{dt} + z_i^{dt})$$

Donde W representa el tiempo de espera promedio para el tipo de paciente i que no debe ser superado. Además de aproximarse a una política de agendamiento apropiada al caso particular del hospital, presentar distintos escenarios con sus desempeños esperados es especialmente útil para el Hospital del Salvador, puesto que los objetivos pueden ir variando en el largo plazo y por tanto se requieren porcentajes de reserva que se adapten a estos objetivos.

2.5.Resultados y discusión

Dados los modelos presentados en el Capítulo anterior, en esta sección se presentan los resultados obtenidos luego de haber corrido los modelos de optimización y simulación en los software GAMS 23.8.1 y SIMIO 7.124 respectivamente. Para inicializar los modelos se recogieron datos del Hospital del Salvador (HDS). Por ello, primero se expone el resumen de los datos ingresados al modelo. Finalmente se analizan los resultados obtenidos, realizando algunas iteraciones a la metodología de mejora continua hasta definir una política de agendamiento que pueda ser finalmente utilizada dentro del hospital.

2.5.1. Resumen de los datos

La capacidad diaria de atención es variable. Cada día distintos médicos especialistas cumplen distintos horarios. No obstante, a nivel semana la calendarización anual de 2015 se mantiene constante, tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Horas médicas disponibles por especialidad por semana

Fuente: Programación 2015 Hospital del Salvador

Especialidad	Horas médicas disponibles [semana]	Horas médicas disponibles [año]
Cirugía	454	23.608
Traumatología	266	13.832
Urología	230	11.960

Del mismo modo, la capacidad de sobre-agendamiento u horas médicas extras disponibles para ser utilizadas, es variable dado que deben ser aceptadas por el médico especialista. Sin embargo, en promedio corresponden a un 20% de las horas médicas normales disponibles.

Luego, los dos primeros costos considerados en el modelo (costo de cada día esperando hasta ser atendido y costo por cada espacio de sobre-agendamiento ocupado) son estimados a partir de apreciaciones de médicos y personal del hospital, en particular del Departamento de Planificación y Control de Gestión del hospital, que traspasaron su apreciación en términos de prioridad de atención. Es importante mencionar que no se pagan las horas de sobre-agendamiento ocupadas, más bien dependen de la voluntad del médico tratante. Se trata no obstante de un proporcional de estos costos y no un valor en peso chileno u otra moneda. Para el tercer costo, costo de no alcanzar a atender a un paciente prioritario dentro del plazo máximo, se usa un proporcional del costo de atención en el extrasistema para patologías GES.

Por otro lado, usualmente los pacientes control solicitan cita para un mes más, es decir, 20 días hábiles. En cambio, los pacientes nuevos desean su cita lo antes posible, pero necesitan un tiempo mínimo para dar aviso, que se considera de 3 días. El plazo máximo para dar cita a los pacientes prioritarios se considera de un mes (20 días hábiles) desde la solicitud⁸. Se definen los pacientes prioritarios como pacientes que presentan patologías GES.

A su vez, para resolver el modelo de optimización se utilizan valores relativos de la demanda, es decir, el modelo considera una demanda menor de pacientes. Por lo tanto,

⁸ Corresponde al promedio de tiempo en que deben cumplirse las garantías de acceso de las patologías GES.

la oferta también se reduce en forma proporcional tal que se sea semejante al problema inicial. Se utiliza un proporcional de los datos por motivos de capacidad de optimización, tal que resolver el modelo de optimización no demore tiempos excesivos. No obstante, siguen representando la situación real del hospital. Los datos utilizados se presentan en la Tabla 2. Corresponden a datos de la especialidad de Urología. Cabe mencionar que cada especialidad dentro del policlínico funciona de manera independiente, con recursos autónomos.

Tabla 2: Datos utilizados en el modelo de optimización

Datos	Valor	Comentario	
Q_t	15	Para cada día se considera una capacidad igual a 15 citas.	
K_t	2	Para cada día hay una capacidad de sobre-agendamiento de 2 módulos.	
$C1_i$	$C1_1$	400	Costo de cada día esperando hasta ser atendido para paciente del tipo i
	$C1_2$	350	
	$C1_3$	450	
	$C1_4$	350	
$C2$	1.000	Costo por cada espacio de sobre-agendamiento ocupado	
$C3$	10.000	costo de no alcanzar a atender a un paciente prioritario dentro de A_i	
B_i	$B_{1,2}$	3	Corresponden a días hábiles
	$B_{3,4}$	20	
A_i	$A_{1,3}$	20	Corresponden a días hábiles
T	250	Horizonte de planificación en días	
Y_i^d	Y_1^d	2	La demanda sufre ciertas variaciones a lo largo del tiempo. No obstante, en promedio se presentan 25 pacientes diarios (valor proporcional). A modo de ejemplo se presentan los valores para un día.
	Y_2^d	6	
	Y_3^d	5	
	Y_4^d	12	

Se tiene una demanda proporcional por día de 25 pacientes aproximadamente para los cuales hay una oferta total de 17 horas médicas (horas normales + horas sobre-agendamiento). La demanda varía diariamente. El modelo se corre para 250 días (4.250 horas médicas totales) con un total de demanda de 6.000 pacientes.

2.5.2. Resultados Modelo Determinístico

Los resultados del modelo, resuelto exclusivamente a la especialidad de Urología, se muestran en la Tabla 3. Actualmente cada tipo de paciente representa el porcentaje de la demanda mostrado en la Tabla 3. Se trata de un dato entregado por el HDS.

Tabla 3: Resultados modelo de optimización

Tipo de paciente		Proporción de la demanda total [dato]	Capacidad reservada, r_i
i1	Nuevo prioritario	8%	12%
i2	Nuevo no-prioritario	24%	24%
i3	Control prioritario	20%	29%
i4	Control no-prioritario	48%	35%

Como era de esperar, el modelo asigna porcentajes de reserva más altos para los pacientes de prioridad, en comparación con la proporción que representan en la demanda total.

A continuación, se resuelve el modelo para diferentes escenarios de demanda: aumentando o disminuyendo la demanda de cada tipo de paciente en diferentes porcentajes (aumento/disminución proporcional para todos los tipos de pacientes). En la Tabla 4 se aprecia que al aumentar la demanda, la capacidad reservada para pacientes prioritarios aumenta (*i1* e *i3*). Es decir, si la capacidad se hace más escasa, el modelo asegura la atención de los pacientes prioritarios tanto como sea posible.

Tabla 4: Análisis de escenarios de demanda

% cambio demanda	-20%	-10%	-5%	-3%	-2%	0%	2%	3%	5%	10%	20%
i1	9%	9%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	13%	13%	14%
i2	16%	22%	22%	21%	21%	24%	24%	21%	20%	21%	20%
i3	24%	26%	26%	27%	29%	29%	29%	31%	32%	33%	35%
i4	51%	42%	40%	40%	38%	35%	35%	36%	35%	33%	31%

2.5.3. Simulación

A diferencia del modelo de optimización, la simulación se resuelve con los datos reales del hospital y no con valores proporcionales de oferta y demanda. A su vez, en la simulación se incorpora variabilidad en la llegada de pacientes, los cuales se presentan siguiendo una distribución de Poisson donde el tiempo entre llegadas distribuye exponencial.

Primero se simula la situación actual del HDS. Esta simulación corresponde al Caso Base y permite asegurar la validez de la simulación. Dado que actualmente no existe una política de agendamiento clara, se trata de un modelo idealizado de la realidad del hospital. Tal como es política del hospital actualmente, la simulación considera que el 30% de los pacientes atendidos son nuevos y el 70% restante son pacientes control. A su vez, dentro de la asignación de pacientes nuevos se buscó replicar el nivel de preferencia dado a pacientes prioritarios.

No obstante, esta política no tiene un fundamento claro, sino que corresponde a una normativa ministerial para todas las especialidades de todos los hospitales públicos, aun cuando los distintos policlínicos y especialidades tengan demandas con comportamientos muy diferentes (estacionalidad, enfermedades crónicas, citas necesarias de control, etc.).

A partir de estas consideraciones se genera el primer caso Estudio o Escenario 1, donde se categoriza a los pacientes nuevos y control en subcategorías: prioritarios y no prioritarios, asignándole a cada categoría un porcentaje de reserva de acuerdo al resultado de la optimización. Los resultados de este escenario y del caso Base se muestran en la Tabla 5. La lista de espera corresponde a valores promedio durante el período de estudio.

Tabla 5: Desempeño Simulación Caso Base y Caso Estudio

Escenario	Lista de espera [# pacientes]				Total Lista espera	Tiempo de espera promedio [meses]				Tiempo de espera máximo [meses]			
	i1	i2	i3	i4		i1	i2	i3	i4	i1	i2	i3	i4
Caso Base	337,5	1.393,8	3.190,4		4.921,7	2,32	3,47	2,70		4,68	6,92	5,40	
Escenario 1	29,6	1.025,6	41,3	3.828,3	4.924,8	0,26	2,55	0,15	4,54	0,61	5,09	0,38	9,18

Tal como se aprecia en la Tabla 5, en el Caso Base los pacientes prioritarios en promedio esperan tiempos excesivos para ser atendidos. En efecto ni siquiera existe priorización dentro de los pacientes control. Luego, comparando el Caso Base con el Escenario 1, se aprecia que si bien la lista de espera no sufre mayores variaciones, en cantidad de pacientes atendidos, la composición de la misma es distinta. Bajo el Escenario 1 los pacientes prioritarios reducen sustancialmente su tiempo de espera, conformando la lista de espera en una menor proporción.

2.5.4. Análisis de resultados y retroalimentación

Anteriormente se analizó el Caso Base encontrando que los porcentajes 30/70% no optimizaban el agendamiento, además de no dar atención oportuna a pacientes prioritarios. Por ello se resolvió el modelo determinístico, definiendo porcentajes de reserva. Estos porcentajes se testearon por medio de la simulación, dando como resultados tiempos de espera para pacientes prioritarios considerablemente menores a los del caso Base.

No obstante, en el Escenario 1 los pacientes menos prioritarios poseen tiempos de espera bastante mayores. Por ello, con el fin de mejorar los resultados y proponer distintas alternativas al hospital, se desarrollan distintos escenarios. El desarrollo de nuevos escenarios se hace renovando el modelo de optimización con nuevas restricciones que permitan acercarse al objetivo buscado, cambiando los porcentajes de reserva, r_i , para cada tipo de paciente y obteniendo nuevos resultados en la simulación.

Para cada escenario se obtienen 100 réplicas de la simulación, considerando un promedio de ellas. Cabe destacar que dada la alta congestión del sistema, este no alcanza nunca el estado estacionario. En efecto, los indicadores se calculan una vez se colapsa el sistema (alrededor de dos días de simulación) para eliminar el efecto de que la simulación comience totalmente liberada, es decir, sin pacientes esperando y/o siendo atendidos. El período de simulación es de un año completo, permitiendo mostrar los resultados a mediano y largo plazo de las políticas de agendamiento consideradas.

Con el fin de encontrar una política de reserva de capacidad que dé respuesta al requerimiento del HDS, se mejora el modelo de optimización incorporando restricciones que reflejen estas necesidades. La adición de restricciones al modelo hace cambiar los porcentajes de reserva, generando nuevos escenarios que se evalúan en la simulación.

Los pasos seguidos para construir los escenarios son:

- Se genera el Escenario 1 mediante la asignación de porcentajes de reserva obtenidos mediante el modelo de optimización. El Escenario 1 es deseable sobre Caso Base ya que sí prioriza a los pacientes prioritarios. No obstante, el tiempo de espera para pacientes control no prioritarios es excesivo (mayor a 4 meses)
- Luego, el Escenario 2 se genera incorporando al modelo de optimización la restricción de que los pacientes control no prioritarios esperen en promedio menos de 3,5 meses.

Incorporando esta restricción se soluciona el problema de los pacientes control no prioritarios, pero empeora el desempeño para pacientes nuevos no prioritarios.

- Por ello, Escenario 3 se genera incorporando restricción de que el tiempo de espera para pacientes nuevos no prioritarios en promedio sea menor a 3,5 meses. Esta vez los tiempos de espera de pacientes no prioritarios son bajos, pero ocurre a costa del tiempo de espera de pacientes prioritarios. A su vez, los costos del modelo crecen bastante, dado que las restricciones agregadas hacen que la solución se aleje del óptimo (Escenario 1).
- Luego, se agrega la restricción de que los pacientes prioritarios (tipo 1 y 3) esperen menos de un mes en promedio. De esta manera se evita incurrir en costos C3 (atención externa). Resolver el modelo con estas cuatro restricciones (espera para no prioritarios menor a 3,5 meses y espera para prioritarios menor a un mes) es inviable en la optimización.
- Por lo tanto se relajan las restricciones a pacientes no prioritarios, limitando el tiempo de espera a 4,5 meses en promedio (en vez de 3,5 meses) y se genera el Escenario 4. El Escenario 4 se aproxima bastante al desempeño buscado. No obstante, se podría buscar un caso donde el tiempo de espera de los pacientes control no prioritarios no supere los 8 meses como máximo. Es decir, se podría sacrificar el tiempo de espera de pacientes prioritarios (sin superar el mes en promedio) en pos de un menor tiempo de espera para los demás pacientes.
- Luego, el Escenario 5 se genera con la restricción de que el tiempo de espera para pacientes no prioritarios sea menor a 4 meses. Sin embargo, en la simulación no se cumple que el tiempo de espera para pacientes control no prioritarios sea menor a 4 meses en promedio, si bien es bastante cercano. Pero, más relevante es que el tiempo de espera de los pacientes nuevos prioritarios, aun siendo menor en promedio a un mes, en tiempos máximos supera el mes de espera. A su vez, la lista de espera de pacientes prioritarios es bastante alta: más de 100 para pacientes nuevos y control respectivamente.
- Con el fin de mejorar estos detalles, el Escenario 6 se construye con la restricción de que el tiempo de espera de pacientes prioritarios sea menor a 18 días (algo menor al

mes hábil, 20 días), y se mantiene la restricción de que el tiempo de espera de no prioritarios sea menor a 4 meses. En el Escenario 6 se logran los objetivos buscados: tiempo de espera promedio y máximo de prioritarios es menor a 1 mes, y el tiempo de espera promedio de no prioritarios es menor a 4 meses.

A continuación se presenta el desempeño de cada escenario: lista de espera promedio, tiempo promedio de espera y tiempo de espera máximo; así como los porcentajes de reserva y costos de cada escenario (Ver Tabla 6, Tabla 7 y en forma gráfica en Ilustración 10).

Tabla 6: Porcentajes de reserva y costo de cada escenario

Fuente: Resultados Modelo Determinístico

Escenario	Porcentajes de reserva				Costo modelo optimización
	i1	i2	i3	i4	
Caso Base	9%	21%	70%		151.383.400
Escenario 1	12%	24%	29%	35%	145.863.200
Escenario 2	13%	12%	29%	46%	146.107.050
Escenario 3	8%	24%	22%	46%	149.793.900
Escenario 4	13%	20%	29%	38%	146.916.250
Escenario 5	11%	21%	28%	40%	147.162.050
Escenario 6	12%	20%	29%	39%	147.895.250

Tabla 7: Desempeño Simulación escenarios

Fuente: Resultados Simulación

Escenario	Lista de espera [# pacientes]				Total Lista espera	Tiempo de espera promedio [meses]				Tiempo de espera máximo [meses]			
	i1	i2	i3	i4		i1	i2	i3	i4	i1	i2	i3	i4
Caso Base	337,5	1.393,8	3.190,4		4.921,7	2,32	3,47	2,70		4,68	6,92	5,40	
Escenario 1	29,6	1.025,6	41,3	3.828,3	4.924,8	0,26	2,55	0,15	4,54	0,61	5,09	0,38	9,18
Escenario 2	7,5	2.345,6	30,6	2.541,1	4.924,8	0,09	5,83	0,12	3,02	0,31	11,66	0,34	6,10
Escenario 3	446,5	1.067,3	782,4	2.626,8	4.923,0	3,08	2,65	2,24	3,16	6,18	5,29	4,50	6,31
Escenario 4	7,5	1.493,7	30,6	3.393,5	4.924,3	0,09	3,71	0,12	4,03	0,31	7,40	0,34	8,13
Escenario 5	130,2	1.386,8	152,1	3.351,4	5.009,5	0,92	3,45	0,45	4,01	1,86	6,87	0,93	8,05
Escenario 6	41,2	1.493,7	59,07	3.329,1	4.923,1	0,34	3,71	0,20	3,95	0,74	7,40	0,47	7,98

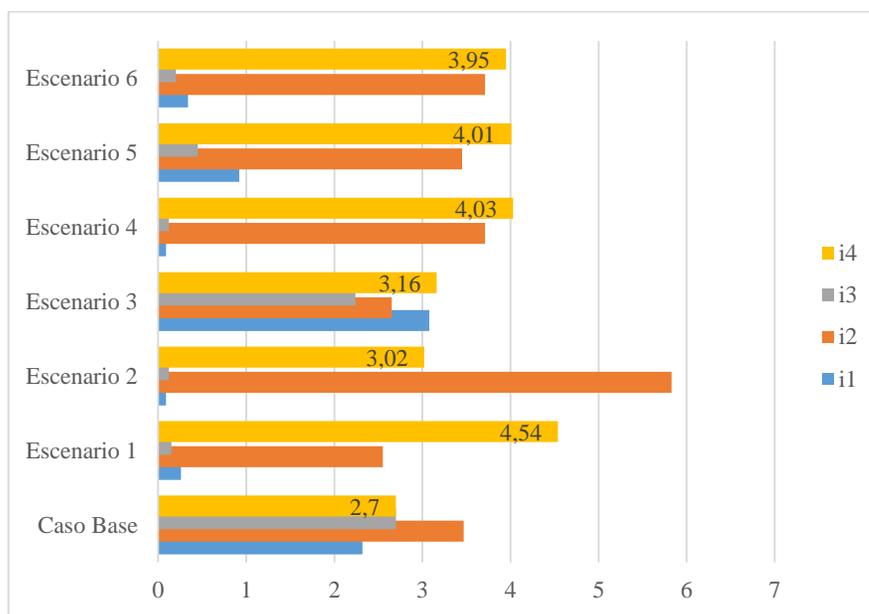


Ilustración 10: Tiempo de espera promedio [meses] por escenario

Fuente: Resultados Simulación

Finalmente, se ha llegado a un escenario “óptimo”, Escenario 6, que es apropiado a los propósitos del hospital. Los tiempos de espera para pacientes prioritarios son bajos, siendo aceptables para la mayoría de los diagnósticos GES. Al mismo tiempo y si bien el tiempo de espera de pacientes no prioritarios aumenta si se compara con el Caso Base, se trata de plazos razonables que evitan el deterioro de la salud de estos pacientes. A su vez, el uso de la metodología permite encontrar rápidamente porcentajes de reserva adecuados para el HDS.

Comparando el Caso Base con el Escenario 6 se tiene que en forma agrupada la cantidad de pacientes en lista de espera es similar. No obstante la composición de la lista de espera cambia, disminuyendo la cantidad de pacientes prioritarios esperando. En efecto, hay una reducción del 87% de la lista de espera de pacientes nuevos prioritarios, mientras la lista de espera de nuevos no prioritarios sólo aumenta un 7%. A su vez, se reduce el tiempo de espera de los pacientes prioritarios en 85% y 93% para nuevos y control respectivamente, con el consiguiente aumento de un 7% y 46% del tiempo de espera para pacientes no prioritarios nuevos y control respectivamente. Todo lo anterior se traduce en una reducción de los costos de agendamiento en 2,3%.

Es interesante destacar que para el Escenario 6 los porcentajes de capacidad asignados son de 32% para pacientes nuevos y 68% para pacientes control. Se trata de porcentajes de reserva cercanos a los utilizados actualmente (30 y 70%), pero otorga mayor prioridad a pacientes nuevos. Al conceder mayor prioridad a pacientes nuevos se mejora el acceso a los servicios del hospital para pacientes provenientes de Atención Primaria. De esta manera se acelera el inicio de la atención y con ello un diagnóstico oportuno de la enfermedad. No obstante, el aumento en la capacidad para pacientes nuevos se compensa disminuyendo la de pacientes control, aumentando los tiempos de espera de los segundos y con ello retrasando la duración de los tratamientos.

En cambio, si se priorizara la atención de pacientes control se reduce el acceso de pacientes desde Atención primaria, pero se puede aumentar la rapidez del tratamiento una vez el paciente ingresa al hospital. Así, se podría aumentar la cantidad de pacientes dados de alta, descongestionando el sistema. Este es un efecto que debe ser tomado en cuenta, con la consideración de que se diversifique la oferta de acuerdo, no sólo al tipo general de los pacientes (nuevos o control), sino a la prioridad dada por su diagnóstico.

2.5.5. Análisis de la tasa de ocupación

La tasa de ocupación representa el porcentaje de las veces que se está utilizando la capacidad (horas médicas disponibles). Tanto en el Caso Base como en los distintos escenarios presentados en el apartado anterior, la tasa de ocupación es de al menos un 99,98%. Por tanto, es inevitable que frente a la demanda actual el sistema acumule pacientes, crezca la lista de espera y aumenten los tiempos de espera de los pacientes hasta ser atendidos.

Para evitar aglomeración de pacientes se plantea la pregunta de cuánta capacidad, horas médicas extras, son necesarias para lograr una tasa de ocupación del 90%, la cual evitaría la congestión constante del sistema. Considerando el escenario seleccionado, Escenario 6, para lograr una tasa de ocupación de la capacidad del 90% se debe aumentar la capacidad en un 65,85%. Este aumento de capacidad representa 7.060 horas médicas adicionales, haciendo un total de 17.782 horas médicas al año.

2.6. Conclusiones

2.6.1. Síntesis y aporte de la investigación

El uso conjunto de modelos de optimización y simulación es una herramienta robusta y eficaz para mejorar la programación de las citas médicas. Por medio del modelo determinístico fue posible encontrar valores óptimos de reserva de capacidad, bajo las condiciones y supuestos mencionados. Luego la simulación permite incorporar aspectos como la variabilidad y programación dinámica, obteniendo como resultado información útil para la toma de decisiones. En efecto, como se menciona en Shafer & Smunt (2004), combinar el poder y flexibilidad de la simulación con datos empíricos puede ser una de las maneras más eficaces para ayudar a cerrar la brecha entre el rigor académico y la aplicabilidad práctica.

Asimismo, reservar capacidad para distintos tipos de pacientes asegura un mínimo de atención para cada tipo, y en particular para pacientes prioritarios, cerciora que haya capacidad disponible frente a demanda futura, evitando que se llenen los cupos con pacientes menos urgentes. A su vez, los porcentajes de reserva para diferentes tipos de pacientes permiten, no sólo para optimizar la programación, sino también hacerla más simple y manejable en la práctica. También, la posibilidad de liberar la capacidad reservada días antes de la cita otorga flexibilidad y asegura que se utilice al máximo el recurso cuello de botella y por tanto el flujo de atención sea el mejor posible.

Los resultados obtenidos permiten tener una estimación de cuánto tiempo tendrán que esperar los pacientes hasta ser atendidos. Esto le permite al hospital adaptar la planificación actual y tomar mejores decisiones para el futuro, justificando por ejemplo la contratación de más horas médicas. A su vez, por medio de la metodología propuesta se tendría mayor certeza de los pacientes a atender dentro del próximo mes, pero también una idea de cuando recibiría cada paciente su atención en el futuro en base a las condiciones actuales (dado que las condiciones actuales pueden cambiar ligeramente en el tiempo no se agenda con total seguridad para más de un mes). Desde la perspectiva del paciente, es decir, de quien recibe el servicio, el conocimiento del tiempo de espera o *feedback* mejora la percepción del que espera tal como se plantea en Larson (1987).

Finalmente, el uso de una metodología de retroalimentación o mejora continua permite encontrar una solución que satisfaga las necesidades del hospital en ambientes dinámicos y estocásticos. En efecto, a partir de la situación actual (Caso Base) y luego del Escenario 1, se generan diferentes políticas de asignación de capacidad hasta encontrar una adecuada a los propósitos buscados (Escenario 6).

2.6.2. Futuras Investigaciones

El análisis de los resultados presentados puede extenderse en diversos modos. Es interesante estudiar posibles cambios de la demanda en el tiempo y cómo afecta la misma en la política de reserva señalada. En efecto, se espera que la política de reserva de capacidad pueda ser aplicada en el mediano plazo (1-3 meses) y actualizada luego de este período con posibles nuevas condiciones. Por ejemplo, la demanda de cierto tipo de paciente puede haber cambiado dado que se atienden nuevas patologías en el hospital.

A su vez, los costos $C1_i$ que actualmente se basan en apreciaciones de médicos y personal del hospital necesitan ser investigados, permitiendo racionalizar las prioridades asignadas a cada tipo de paciente. También, sólo se consideraron cuatro categorías de pacientes, sin embargo, la clasificación de pacientes podría ser más desagregada.

Para asegurar la implementación de la política de asignación propuesta para el HDS u otros centros de salud, en particular el uso de porcentajes de reserva y la tipificación de pacientes, se podría desarrollar un software para el apoyo de la toma de decisión, DSS (*Decision Support System*). Este software permitiría optimizar el agendamiento, ingresando las condiciones de demanda, costos de espera, costos de atención en el extra-sistema, entre otros al modelo determinístico.

Otras propuestas de estudios que no están directamente relacionadas con la investigación aquí presentada se exponen en el ANEXO C: Otras Propuestas de Investigación. Estas propuestas nacen del levantamiento del proceso de programación de citas médicas del Hospital del Salvador.

BIBLIOGRAFÍA

Alcalde, J., Villeta, R., Ruiz, P., Rodríguez, E., Landa, J., & Jaurrieta, E. (2002). Informe sobre los criterios para establecer prioridades al incluir pacientes en lista de espera de cirugía. *Cirugía Española*, 72(6), 349-358.

American College of Physicians, ACP. (2011). *How Can Our Nation Conserve and Distribute Health Care Resources Effectively and Efficiently?* Philadelphia.

Artaza, O., Méndez, C., Holder, M., & Suárez, J. (2011). *Redes Integradas de servicios de salud: el desafío de los hospitales*. Santiago, Chile: OPS/OMS.

Bailey, N. (1952). A Study of Queues and Appointment Systems in Hospital Outpatient Departments with Special Reference to Waiting Times. *Journal of the Royal Statistical Society* 14, 185-199.

Batt, R., & Terwiesch, C. (2012). Doctors Under Load: An Empirical Study of State-Dependent Service Times. *Working Paper, The Wharton School*, 1.

Berg, B., Denton, B., Erdogan, S., Rohleder, T., & Huschka, T. (2014). Optimal booking and scheduling in outpatient procedure centers. *Computers & Operations Research*, 50, 24-37.

Bhattacharjee, P., & Ray, P. (2015). Simulation Modelling and Analysis of appointment system performance for multiple classes of patients in a hospital: A case study. *Operations Research for Health Care*.

Bosch, P., & Dietz, D. (2000). Minimizing expected waiting in a medical appointment system. *Iie Transactions* 32.9, 841-848.

Bretthauer, K., Heese, H., Pun, H., & Coe, E. (2011). Blocking in Healthcare Operations: A New Heuristic and an Application. *Production and Operations Management*, 20(3), 375-391.

Cayirli, T., & Veral, E. (2003). Outpatient scheduling in health care: a review of literature. *Production and Operations Management*, 12(4), 519-549.

Cayirli, T., Veral, E., & Rosen, H. (2006). Designing appointment scheduling systems for ambulatory care services. *Health care management science*, 9(1), 47-58.

Cayirli, T., Yang, K., & Quek, S. (2012). A Universal Appointment Rule in the Presence of No-Shows and Walk-Ins. *Production and Operations Management*, 21(4), 682-697.

- Cisneros, M. d. (2010). *Priorización de Listas de Espera de Cirugía Para La Gestión De Pabellones Quirúrgicos Del Hospital Pediátrico Dr. Exequiel González Cortés*. Santiago de Chile.
- Cox, T., Birchall, J., & Wong, H. (1985). Optimizing the Queuing System for an Ear, Nose and Throat Outpatient Clinic. *Journal of Applied Statistics*, *12*, 113–126.
- de Souza, R., Morabito, R., Chiyoshi, F., & Iannoni, A. (2015). Incorporating priorities for waiting customers in the hypercube queuing model with application to an emergency medical service system in Brazil. *European Journal of Operational Research*, *242(1)*, 274-285.
- Dexter, F., Macario, A., Traub, R., Hopwood, M., & Lubarsky, D. (1999). An Operating Room Scheduling Strategy to Maximize the Use of Operating Room Block Time: Computer Simulation of Patient Scheduling and Survey of Patients' Preferences for Surgical Waiting Time. *Anesthesia & Analgesia*, *89(1)*, 7-20.
- Dharmadhikari, N. L., & Zhang, J. (2011). Simulation Optimization of Blocking Appointment Scheduling Policies for Multi-Clinic Appointments in Centralized Scheduling Systems. *Tesis Doctoral*. North Dakota State University.
- Dobson, G., Hasija, S., & Pinker, E. (2011). Reserving Capacity for Urgent Patients in Primary Care. *Production and Operations Management*, *20(3)*, 456-473.
- Erdelyi, A., & Topaloglu, H. (2009). Computing protection level policies for dynamic capacity allocation problems by using stochastic approximation methods. *Iie Transactions* *41.6*, 498-510.
- Fries, B., & Marathe, V. (1981). Determination of optimal variable-sized multiple-block appointment systems. *Operations Research*, *29(2)*, 324-345.
- Giusti, D., Criel, B., & De Béthune, X. (1997). Viewpoint: public versus private health care delivery: beyond the slogans. *Health Policy and Planning*, *12(3)*, 193-198.
- Gocgun, Y., Bresnahan, B., Ghate, A., & Gunn, M. (2011). A Markov decision process approach to multi-category patient scheduling in a diagnostic facility. *Artificial intelligence in medicine*, *53(2)*, 73-81.
- Goetsch, D., & Davis, S. (2014). *Quality management for organizational excellence*. Pearson.
- Green, L., Savin, S., & Wang, B. (2006). Managing patient service in a diagnostic medical facility. *Operations Research* *54.1*, 11-25.

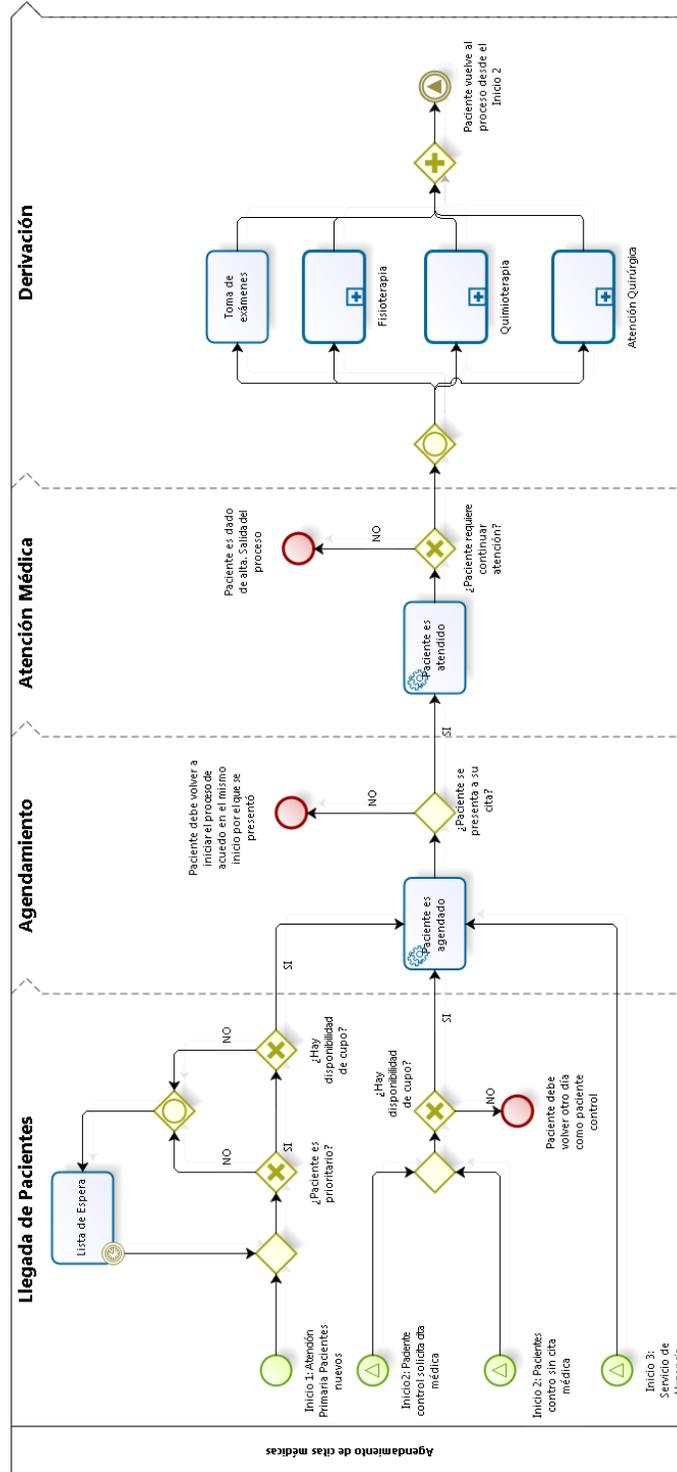
- Gupta, D., & Denton, B. (2008). Appointment scheduling in health care: Challenges and opportunities. *IIE Transactions*, *40*(9), 800-819.
- Gupta, D., & Wang, L. (2008). Revenue Management for a Primary-Care Clinic in the Presence of Patient Choice. *Operations Research*, *56*(3), 576-592.
- Harper, P., & Gamlin, H. (2003). Reduced outpatient waiting times with improved appointment scheduling: a simulation modelling approach. *Or Spectrum*, *25*(2), 207-222.
- Ho, C., & Lau, H. (1999). Evaluating the impact of operating conditions on the performance of appointment scheduling rules in service systems. *European Journal of Operational Research*, *112*(3), 542-553.
- Ho, C.-J., & Lau, H.-S. (1992). Minimizing Total Cost in Scheduling Outpatient Appointments. *Management science* *38*.12, 1750 - 1764.
- Jiménez, R. (2004). Indicadores de calidad y eficiencia de los servicios hospitalarios. Una mirada actual. *Revista Cubana de Salud Pública*, *30*(1).
- Johnson, C. (2002). The benefits fo PDCA. *Quality Progress*, *35*(5), 120.
- Klassen, K., & Rohleder, T. (1996). Scheduling outpatient appointments in a dynamic environment. *Journal of operations Management*, *14*(2), 83-101.
- Kolesar, P. (1970). A Markovian model for hospital admission scheduling. *Management Science*, *16*(6), B-384.
- LaGanga, L., & Lawrence, S. (2012). Appointment Overbooking in Health Care Clinics to Improve Patient Service and Clinic Performance. *Production and Operations Management* *21*(5), 874-888.
- Larson, R. (1987). Perspectives on queues: Social justice and the psychology of queuing. *Operations Research* *35*(6), 895-905.
- Liao, C., Pegden, C., & Rosenshine, M. (1993). Planning timely arrivals to a stochastic production or service system. *IIE transactions*, *25*(5), 63-73.
- Liu, L., & Liu, X. (1998). Dynamic and static job allocation for multi-server systems. *IIE transactions*, *30*(9), 845-854.
- Liu, N., & Ziya, S. (2014). Panel Size and Overbooking Decisions for Appointment-based Services under Patient No-shows. *Production and Operations Management*, *23*(12), 2209-2223.

- Liu, N., Ziya, S., & Kulkarni, V. (2010). Dynamic scheduling of outpatient appointments under patient no-shows and cancellations. *Manufacturing & Service Operations Management, 12*(2), 347-364.
- Lofti, V., & Torres, E. (2014). Improving an outpatient clinic utilization using decision analysis-based patient scheduling. *Socio-Economic Planning Sciences, 48*(2), 115-126.
- Moore, C. G., Wilson-Witherspoon, P., & Probst, J. C. (2001). Time and Money: Effects of No-Shows at a Family Practice Residency Clinic. *Family Medicine, 33*(7) 522-527.
- Patrick, J., & Puterman, M. (2007). Improving resource utilization for diagnostic services through flexible inpatient scheduling: A method for improving resource utilization. *Journal of the Operational Research Society, 58*(2), 235-245.
- Patrick, J., Puterman, M., & Queyranne, M. (2008). Dynamic Multipriority Patient Scheduling for a Diagnostic Resource.
- Rohleder, T., & Klassen, K. (2000). Rolling horizon appointment scheduling: a simulation study. *Health care management science, 5*(3), 201-209.
- Rohleder, T., & Klassen, K. (2000). Using client-variance information to improve dynamic appointment scheduling performance. *Omega, 28*(3), 293-302.
- Russell, C., Roberts, M., Williamson, T., McKercher, J., Jolly, S., & McNeil, J. (2003). Clinical categorization for elective surgery in Victoria, Australia. *ANZ Journal of Surgery 73*(10), 839-842.
- Samorani, M., & LaGanga, L. (2015). Outpatient appointment scheduling given individual day-dependent no-show predictions. *European Journal of Operational Research, 240*(1), 245-257.
- Saure, A., Patrick, J., Tyldesley, S., & Puterman, M. (2012). Dynamic multi-appointment patient scheduling for radiation therapy. *European Journal of Operational Research, 223*(2), 573-584.
- Shafer, S., & Smunt, T. (2004). Empirical simulation studies in operations management: context, trends, and research opportunities. *Journal of Operations Management, 22*(4), 345-354.
- Stanciu, A. (2009). Applications of revenue management in healthcare. *Diss. University of Pittsburgh.*
- Testi, A., Tanfani, E., Valente, R., Ansaldo, L., & Torre, C. (2006). Prioritizing Surgical Waiting Lists. University of Genova, Villa Scassi Hospital, Génova, Italy. *Journal of Evaluation in Clinical Practice 14*, 59-64.

- Vissers, J. (1979). Selecting a suitable appointment system in an outpatient setting. *Medical Care*, 1207-1220.
- Vissers, J., & Wijngaard, J. (1979). The outpatient appointment system: Design of a simulation study. *European Journal of Operational Research* 3.6, 459–463.
- Walter, S. D. (1973). A comparison of appointment schedules in a hospital radiology department. *British journal of preventive & social medicine* 27.3, 160-167.
- Wang, P. (1993). Static and dynamic scheduling of customer arrivals to a single-server system. *Naval Research Logistics (NRL)*, 40(3), 345-360.
- White, M., & Pike, M. C. (1964). Appointment systems in out-patients' clinics and the effect of patients' unpunctuality. *Medical Care*, 133-145.
- Wijewickrama, A., & Takakuwa, S. (2005). Simulation analysis of appointment scheduling in an outpatient department of internal medicine. *Simulation Conference, 2005 Proceedings of the Winter* (págs. pp. 10-pp). IEEE.
- Zeng, B., Zhao, H., & Lawley, M. (2013). The Impact of Overbooking on Primary Care Patient No-show. *IIE Transactions on Healthcare Systems Engineering*, 147-170.
- Zonderland, M., Boucherie, R., Litvak, N., & Vleggeert-Lankamp, C. (2010). Planning and scheduling of semi-urgent surgeries. *Health Care Management Science*, 13(3), 256-267.

ANEXOS

ANEXO A: FLUJO EN BIZAGUI



ANEXO B: PATOLOGÍAS GES ESPECIALIDADES QUIRÚRGICAS

B.1. Patologías Cirugía

Patología GES	Garantía de acceso
Insuficiencia renal crónica terminal	- Desde confirmación Diagnóstica: Acceso vascular para Hemodiálisis: dentro de 90 días desde indicación médica. Inicio de Peritoneodiálisis: dentro de 21 días desde indicación médica. Inicio de Hemodiálisis: dentro de 7 días desde indicación médica
Colecistectomía preventiva del cáncer de vesícula (en personas de 35 a 49 años).	- Diagnóstico: Confirmación: dentro de 30 días desde la sospecha. - Tratamiento: Intervención Quirúrgica: dentro de 90 días desde confirmación diagnóstica.
Cáncer Gástrico	- Diagnóstico: Evaluación por especialista: dentro de 30 días desde la sospecha. Confirmación Diagnóstica (incluye etapificación): dentro de 30 días desde solicitud por especialista. - Tratamiento: Intervención Quirúrgica: dentro de 30 días desde la confirmación diagnóstica.
Hernia núcleo pulposo sintomática	- Tratamiento: Dentro de 45 días desde la confirmación de indicación quirúrgica, según criterios de inclusión. - Seguimiento: Control por especialista dentro de 30 días del alta.
Politraumatizado grave	- Tratamiento: Acceso a prestador con capacidad resolutive -de acuerdo a la patología predominante- antes de 24 hrs. desde el rescate.
Cáncer colorectal	- Diagnóstico: Etapificación dentro de 45 días desde la confirmación diagnóstica - Tratamiento: Primario y adyuvante: Dentro de 30 días desde la indicación médica - Seguimiento: Primer control dentro de 90 días desde indicación médica

B.2. Patologías Traumatología

Patología GES	Garantía de acceso
Artrosis de cadera en adultos mayores. Endoprotesis total	- Tratamiento: Dentro de 240 días desde confirmación diagnóstica (incluye atención kinesiológica intrahospitalaria). Primer control por especialista dentro de 40 días después de cirugía. Atención Kinesiológica integral desde el primer día del alta quirúrgica, según indicación médica. Recambio de prótesis de cadera dentro de 240 días desde indicación médica.
Tratamiento Médico en personas de 55 años y más con Artrosis de Cadera y/o Rodilla, leve o moderada	- Tratamiento: Inicio dentro de 24 hrs. desde la confirmación diagnóstica. Atención por especialista: dentro de 120 días desde la derivación según indicación médica.
Displasia Luxante de caderas	- Screening de radiografía de caderas: Dentro de 30 días desde la indicación. - Confirmación diagnóstica: Confirmación diagnóstica por especialista dentro de 30 días desde la indicación médica. - Tratamiento: Dentro de 15 días desde la confirmación diagnóstica por especialista.

B.3. Patologías Urología

Patología GES	Garantía de acceso
Cáncer de próstata	<ul style="list-style-type: none"> - Etapificación: Dentro de 60 días desde confirmación diagnóstica. - Tratamiento: Dentro de 60 días desde la etapificación. - Seguimiento: Primer control dentro de 45 días desde indicación médica.
Cáncer de testículo	<ul style="list-style-type: none"> - Diagnóstico: Dentro de 30 días desde sospecha. Etapificación dentro de 30 días desde la confirmación diagnóstica - Tratamiento: Quirúrgico: dentro de 15 días desde la indicación. Tratamientos adyuvantes: dentro de 30 días desde la indicación médica - Seguimiento: Primer control dentro de 30 días de finalizado el tratamiento.
Hiperplasia severa de la próstata	<ul style="list-style-type: none"> - Tratamiento médico: Dentro de 7 días desde la indicación médica, según criterios establecidos en Norma Técnico Médico y Administrativo. - Tratamiento quirúrgico: Dentro de 180 días desde indicación médica. Dentro de 90 días desde indicación médica en pacientes con mayor gravedad.

ANEXO C: OTRAS PROPUESTAS DE INVESTIGACIÓN

C.1. Modificación duración módulos de atención según tipo de paciente

Un aspecto interesante a considerar es la duración de las citas médicas. Si bien dentro del policlínico de especialidades quirúrgicas esta tiene una duración teórica de 15 minutos, agendándose por lo tanto 4 personas por hora, en la práctica se atienden a una cantidad mucho mayor de pacientes.

Un pequeño estudio práctico en la especialidad de urología, recopiló información de 65 pacientes, 4 días de una semana. El estudio muestra que el tiempos promedio de atención son de 8,44 minutos, bastante menores a los 15 minutos agendados, especialmente para los pacientes control (Ver Tabla 8).

Tabla 8: Promedio duración de citas Estudio.

Fuente Elaboración propia

Tipo de paciente	Promedio duración cita [min]	Desviación [min]
Nuevo	10,33	2,58
Control	8,2	5,54
Total	8,44	5,42

Se aprecia que del total de pacientes consultados la duración promedio de las citas es de 8,44 minutos. Si bien la desviación estándar es importante (5,42 minutos), la duración de las citas sigue siendo menor a 15 minutos.

A su vez, la duración promedio de las citas para pacientes nuevos y control difiere en más de 2 minutos. Esta diferencia se explica en el mayor tiempo que suelen necesitar los médicos para atender a un paciente nuevo, cuyo diagnóstico no está confirmado y no se tiene ficha construida. En cambio, los pacientes control son atendidos en un menor tiempo dado que en su mayoría vienen a controles de rutina y a mostrar exámenes. Basta con una mirada menos profunda para que el médico pueda determinar los pasos a seguir.

Es por ello que se propone agendar en módulos de duración diferenciados por tipo de paciente. Por ejemplo podrían agendarse a los pacientes 15 y 10 minutos para pacientes nuevos y control respectivamente. Esto se aproximaría a la realidad de atención y

permitiría agendar un mayor número de pacientes. De hecho, dentro de la especialidad de cirugía, algunas subespecialidades ya agendan a sus pacientes con módulos de duración diferenciada, tal como en el ejemplo.

Con los módulos de atención propuestos se verían 4 pacientes nuevos en una hora y 6 pacientes control. Si se considera la mayoría de los pacientes atendidos son del tipo control (70%), ello significaría una mayor cantidad de pacientes agendados lo que podría traducirse en reducción de las listas de espera y tiempos de espera por atención, sin que baje la calidad de la atención.

No obstante, el agendamiento de recursos (horas médicas disponibles) muestra que se atiende a una cantidad bastante mayor de pacientes por hora (Ver Tabla 9), sin que se hayan hecho cambios en la duración de los módulos agendados. Esto ocurre dada la gran cantidad de sobre-agendamiento permitido y aceptado por los médicos.

Tabla 9: Tiempos de atención por paciente y Pacientes atendidos por hora.

Fuente Agendamiento de recurso, policlínico de especialidades quirúrgicas, HDS

Especialidad	Duración promedio de atención por persona [min]	Pacientes atendidos por hora
Cirugía	7,65	8,66
Traumatología	8,07	7,93
Urología	9,02	6,74
Promedio Policlínico	8,25	7,78

De la Tabla 9 se desprende que, en promedio para el policlínico, se atiende a los pacientes en algo más de 8 minutos lo que significa atender a casi 8 pacientes por hora. Si bien esto implica un porcentaje de utilización muy elevado del recurso más limitado y con ello una mejora en los indicadores de gestión, no queda claro el impacto en la calidad de la atención. A su vez, si bien el cambio de duración de los módulos agendados resulta innecesario para aumentar el número de pacientes atendidos, sí amplificaría el número de pacientes agendados y reduciría los pacientes de sobrecupos, haciendo más ordenado el sistema de agendamiento. De la misma forma, la Tabla 9 sugiere la posibilidad de reducir aún más la duración de los módulos, en especial para pacientes control, por ejemplo 8 minutos en vez de los 10 minutos antes propuestos.

C.2. Eliminación de pacientes espontáneos

La llegada de pacientes sin cita puede o no ser beneficioso. Mientras la no aparición de pacientes puede conducir a una baja utilización de recursos y un aumento en el tiempo de espera de los pacientes, la llegada de pacientes espontáneos consigue suplir estas ausencias, aprovechando los espacios disponibles. Sin embargo, estas acciones suelen ser insuficientes para substituir el déficit de utilización (Moore, Wilson-Witherspoon, & Probst, 2001).

A su vez, beneficia sólo a algunos pacientes que consiguen atenderse antes, mientras otros pueden llevar un mayor tiempo esperando en cola por atención. Es decir, la llegada de pacientes espontáneos genera desorden en el agendamiento y las priorizaciones: tal como funciona el sistema, puede ser atendido un paciente no urgente y que casi no lleva tiempo esperando antes que uno prioritario, dado que el primero se presenta de manera espontánea.

Si la proporción de pacientes con cita aumenta, es de esperar que la probabilidad de pacientes espontáneos disminuya. Ello mejora la eficiencia, en la medida que se reduce el tiempo ocioso de los médicos, el tiempo de espera de los pacientes, o ambos, dependiendo del número de pacientes en la sesión (Walter, 1973). A su vez, permite reducir la variabilidad que supone no saber con certeza cuántos pacientes espontáneos puedan presentarse. Por tanto, como mecanismo para atenuar la no aparición de pacientes, podría ser preferible el sobre-agendamiento de pacientes.