
GESTIÓN DE CAPACIDAD EN EL SERVICIO DE URGENCIA EN UN HOSPITAL PÚBLICO

CARLOS REVECO*
RICHARD WEBER**

Resumen

Saturación, elevados tiempos de espera, y cargas horarias de trabajo desbalanceadas son problemas comunes en la mayoría de los hospitales públicos de Chile. A través de este trabajo se busca mejorar el flujo de pacientes en el servicio de urgencia de un hospital pediátrico por medio de la gestión y programación de capacidad del personal asistencial. Se han identificado dos etapas principales. En la primera, se debe estimar la demanda diaria del servicio de urgencia del hospital. La segunda parte requiere determinar los niveles de personal óptimos para todo tipo de trabajadores asistenciales necesitados en el servicio. Para esto se propone una estructura de turnos médicos, enfermeras y paramédicos óptima basada en programación lineal y con la información que se posee de la demanda futura. Los sistemas propuestos fueron implementados en un hospital público donde mostraron excelentes resultados.

Palabras Clave: *Pronóstico, Scheduling, Hospital, Programación lineal*

*Departamento de Ciencias de la Computación, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile

**Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile

1. Introducción

La adecuada planificación y programación de los recursos de un hospital influye directamente en la calidad de atención que se brinda a los pacientes. La ausencia de algún equipo, material o personal en el momento crítico, puede traer consecuencias tan graves que afecten la salud, integridad física e incluso la vida del paciente. Por otra parte un exceso de estos recursos genera costos innecesarios para el hospital. El desafío en la gestión de capacidad consiste entonces en cumplir con la demanda que a su vez es variable y no determinista.

A partir de la necesidad de conocer la cantidad de recursos que debe tener un hospital, en este trabajo se propone una metodología para encontrar la cantidad óptima requerida del principal recurso de cualquier centro prestador de servicios de salud, su recurso humano.

En el caso de los servicios hospitalarios la capacidad disponible de atención se ve determinada por las instalaciones físicas, tales como box de atención, y los recursos humanos, tales como médicos, paramédicos y enfermeras, que realizan diagnósticos y tratamientos. Esta capacidad se debe planificar para garantizar un buen nivel de servicio brindado y, a su vez, optimizar el uso de los recursos.

En este trabajo se presentan los dos enfoques principales del sistema que fue implementado en un hospital público y pediátrico en Santiago de Chile.

El primer enfoque es la predicción de la demanda donde se aplican modelos econométricos y de minería de datos. El segundo enfoque consiste en la programación de los recursos mediante la optimización.

En el capítulo se revisará brevemente la literatura relacionada con este trabajo. El capítulo se discutirá sobre el proceso que deben seguir los pacientes para conseguir una atención de urgencia.

El capítulo 3.3 detallará el enfoque utilizado para la predicción de la demanda y la categorización de los pacientes. El capítulo 4.2 se describirá el modelo de programación lineal planteado para optimizar los recursos en la sala de urgencia.

Finalmente en los capítulos 5.1 y 5.2 se mostrarán los resultados y las conclusiones, respectivamente.

2. Revisión Bibliográfica

Para poder hacer una correcta gestión de recursos, lo primero es contar con

una estimación de la demanda confiable. Muchos métodos diferentes se han propuesto para el pronóstico [16] [6]. Existen estudios que comparan diversos métodos de pronóstico en términos de precisión de los resultados. Uno de estos estudios, realizado por Adya [10], compara el pronóstico hecho con redes neuronales con otros métodos, concluyendo que las redes en general dan mejores resultados. Otros estudios [5] muestran, en casos prácticos, la superioridad de las máquinas vectoriales de soporte (Support Vector Machines o SVM) aplicadas a las series de tiempo sobre otras técnicas como modelos ARIMA o redes neuronales. También existen estudios publicados sobre el pronóstico en el área de la salud y, en particular, en la sala de urgencia. Algunos de estos se han centrado principalmente en la predicción del número de camas necesarias para satisfacer la demanda [14] [1]. Otros, más recientes, estudian el pronóstico de demanda pero basado en el enfoque tradicional de predicción con modelos ARIMA [9].

Por otra parte existe un gran número de publicaciones sobre la planificación de personal. La presente revisión se limitará a los trabajos más relevantes. Un tutorial introductorio a la programación de personal hecho por Blöchliger [8] que presenta los conceptos básicos del problema de programación y discute algunos aspectos de la programación del personal.

Existe poca evidencia de trabajos conducentes a determinar los niveles de personal médicos requeridos en los centros de salud. De hecho, los pocos estudios encontrados se basan en determinar estos niveles según estándares internacionales, los cuales básicamente indican que debe haber un determinado número de enfermeras y médicos por camas en cada área.

Otro estudio calcula la cantidad de personal que se requiere en un área determinada a través del número de pacientes que se encuentran en ésta. De esta forma, calcula la cantidad de horas por enfermera requeridas y por ende el total de este cargo necesario en esa área [11]. Este trabajo se centra en un análisis estadístico en lugar de un modelo de optimización; además sólo se enfoca en determinar el número de enfermeras y sólo en servicios diferentes a urgencias. Relacionado con la programación del personal, la literatura es mucho más extensa. De hecho, existe gran variedad de trabajos relacionados con la programación, incluso dentro del contexto de los sistemas de salud en el que se evidencian diversos tipos de problemas, como son: *nurse scheduling*, *patient scheduling* y *surgery scheduling*. Uno de los temas más desarrollados es la programación de enfermeras, donde se destaca el trabajo de Burke [2] en el cual se realiza una amplia recopilación de los principales trabajos relacionados con problemas de *nurse rostering*, los diferentes problemas que contiene, sus métodos de solución, la importancia de los mismos y sus respectivas fortalezas y debilidades. En el artículo de Warner [12] se elabora la programación de

las enfermeras teniendo en cuenta sus habilidades y minimizando el costo por ausencia de personal.

Existe también un trabajo interesante en un centro hospitalario de Colombia [15]; sin embargo, la gran diferencia con el presente trabajo radica en que aquel trabajo supone que la demanda de urgencia es fija, igual a la demanda histórica y constante dentro de la semana.

3. Proceso de atención en la sala de urgencia

El presente trabajo fue desarrollado en la urgencia de un hospital pediátrico público de la ciudad de Santiago. Es importante conocer el funcionamiento normal de la atención de urgencia ya que gran parte del proyecto se centrará en este servicio. Su flujo cuenta de varios pasos que se describirán a continuación.

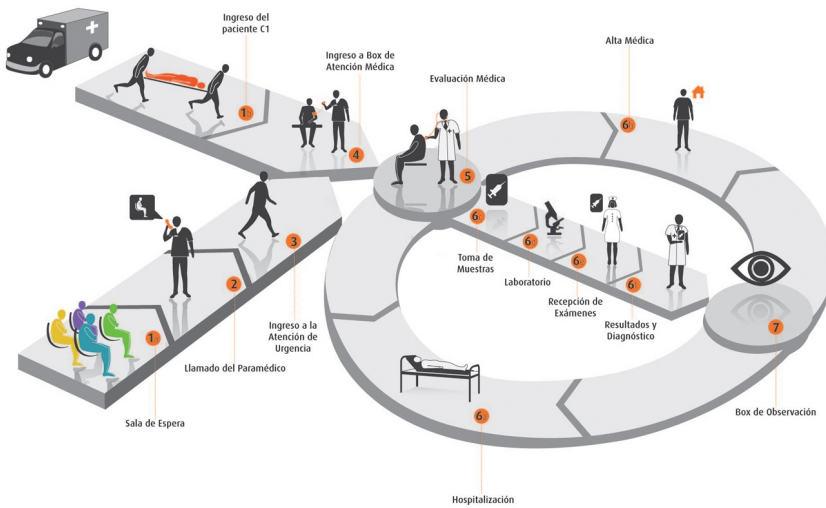


Figura 1: Proceso de atención de urgencia [20]

3.1. Selector de Demanda

Cada paciente que llega al servicio de urgencia tiene una categoría de urgencia que no es conocida a priori. En la primera etapa, la enfermera realiza un pre-diagnóstico a través de exámenes de rutina (temperatura, ritmo cardiaco, presión arterial) para poder categorizar al paciente. Al finalizar esta etapa, el paciente queda categorizado según su grado de urgencia. De acuerdo a lo definido por el Ministerio de Salud, existen cuatro categorías de pacientes:

- **C1: Paciente Grave:** Atención de emergencia, paciente con riesgo vital, evaluación y tratamiento inicial de inmediato.
- **C2: Paciente de alta complejidad:** Atención de urgencia, paciente agudo crítico, evaluación y tratamiento inicial inmediata.
- **C3: Paciente de mediana complejidad:** Atención de urgencia, paciente agudo no crítico, evaluación y tratamiento prioritario.
- **C4: Paciente no urgente:** Atención según disponibilidad de recursos, evaluación y tratamiento.

La urgencia viene condicionada por el tiempo hasta la atención definitiva mientras que la gravedad tiene más que ver con el pronóstico final. Por ejemplo, un cáncer puede ser más grave que una crisis de asma, pero ésta puede ser más urgente que el primero.

3.2. Ingreso y Atención

- **Ingreso de pacientes críticos:** Aquellos pacientes catalogados como Graves (C1) que vienen vía ambulancia, ingresan directamente a la atención médica suspendiendo el ritmo habitual de la urgencia.
- **Sala de espera:** Todo paciente no grave es atendido en admisión donde la secretaria llena una planilla con sus datos, pasa a clasificarse en el selector de demanda. El paciente deberá esperar a ser llamado para la atención médica.
- **Llamado del paramédico:** El paramédico le comunica al paciente que prontamente será atendido.
- **Ingreso a urgencias:** Tras ser llamado, debe ingresar al box que se le asigne para ser atendido.
- **Ingreso al box de atención:** Cabe destacar que para el hospital donde se desarrolla este trabajo hay dos tipos de box de atención; uno en pediatría, que atiende todas las enfermedades respiratorias, influenza, gripes, etc. y el segundo en traumatología donde llegan todas las atenciones por golpes, fracturas, contusiones, etc.
- **Evaluación Médica:** El médico de turno realizará la evaluación, para así determinar un posible diagnóstico.

3.3. Post-Evaluación

- **Toma de muestras:** La evaluación requiere que se le realicen exámenes médicos para determinar el diagnóstico y su futuro tratamiento.
- **Laboratorio:** Las muestras médicas de los exámenes deben ser evaluadas, lo cual toma aproximadamente 3 horas.
- **Recepción de exámenes:** La enfermera a cargo recibe los resultados y se lo comunica al médico.
- **Resultados y diagnóstico:** Con los resultados de los exámenes el médico determina el diagnóstico y su tratamiento el cual puede ser: Alta médica, box de observación u hospitalización.
 - **Alta médica:** Posterior al diagnóstico médico se prescribe el tratamiento correspondiente.
 - **Box de observación:** En el caso de requerir que el paciente espere de una forma supervisada, para ver la evolución de su problema de salud.
 - **Hospitalización:** Si el diagnóstico sugiere que sea internado, para realizar el servicio especializado en el hospital.

4. Pronóstico de Demanda

Para estimar la demanda de la sala de urgencia se proponen métodos basados en modelos de minería de datos. En este capítulo se presentan primero los modelos de pronóstico de la demanda agregada y luego una forma de separar el pronóstico por categorías.

4.1. Modelos de Pronóstico

Para poder predecir en forma efectiva, uno de los ingredientes clave es la calidad de la información y que las condiciones de funcionamiento del hospital y las condiciones ambientales permanezcan relativamente estables. Por ejemplo, si hay un terremoto o una pandemia, difícilmente el modelo podrá incorporar esa información y adaptar los pronósticos. Para ello se debería recalibrar los modelos para que realmente funcionen.

Los datos proporcionados por las bases de datos operacionales de urgencia en el hospital son de buena calidad ya que todo paciente debe ser registrado

en sus sistemas. Con una transformación, se pueden agregar los datos para llegar a la información de cantidad de pacientes.

La inspección visual de la demanda agregada revela un fuerte patrón estacional, como se muestra en la Figura 2. Además, se observa una leve baja en la demanda durante los meses de verano (enero - febrero) y una alta afluencia de pacientes durante los meses de la temporada de invierno (mayo - junio - julio). Esto se debe a que la contaminación del aire, el smog y las bajas temperaturas que conducen a enfermedades respiratorias, aumentan el número de atenciones, en especial en este hospital de niños.



Figura 2: Demanda histórica

Cuando los datos están desglosados por tipo de patología, es decir, separando por cada uno de los box de atención, pediatría y traumatología, se pueden ver grandes diferencias. La demanda en pediatría es mucho más volátil, ya que depende de factores tales como la temperatura y gripes estacionales, mientras que la demanda en el box de traumatología es más estable, como se muestra en las Figuras 3 y 4.

También es posible concluir de los datos que la demanda pediátrica agrupa un 70 % de los casos de urgencia y traumatología sólo un 30 %.

Para los pronósticos se aplicaron cuatro modelos diferentes: Regresión Lineal, Medias Móviles, Red Neuronal [17] y Support Vector Regression [7]. Para mayor detalle sobre la formulación de los modelos aquí planteados referirse al trabajo [13] y [3].

La validación de los modelos aquí desarrollados fue realizada utilizando la medida de comparación MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*), definida como se muestra en la fórmula (1)

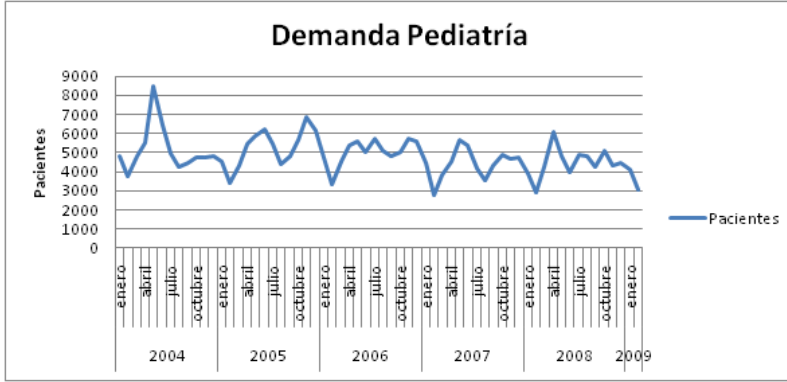


Figura 3: Demanda pediatría

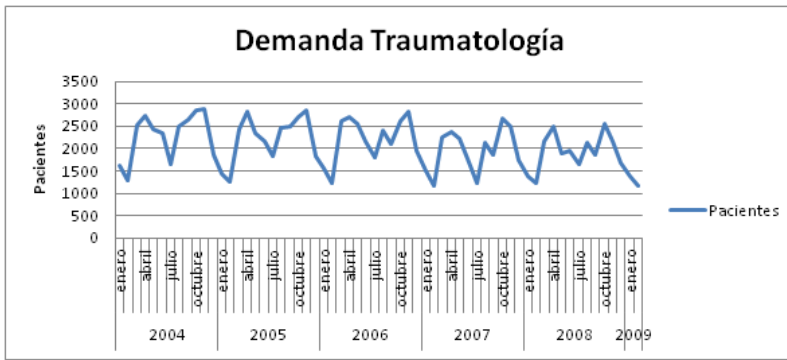


Figura 4: Demanda traumatología

$$[!h]MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \frac{|Y_t - F_t|}{Y_t} \quad (1)$$

Donde Y_t es el valor real de la demanda para el período t y F_t el valor que se había pronosticado.

Los resultados obtenidos para cada uno de los modelos se muestra en la Tabla 1.

Una vez obtenidos estos resultados se segmentó la demanda mensual a una demanda semanal. Esto dado a que se logró evidenciar que cada semana dentro de un mes tiene un comportamiento similar. Entonces, tomando los pronósticos mensuales y asumiendo que la demanda es constante dentro de ese mes, se puede tener un pronóstico diario aplicando la distribución semanal y por turno, tal como muestran las Tablas 2, 3 y 4. Así se puede obtener el

	Regresión Lineal	Media Móvil	Red Neuronal	SVR
Pediatría	12,67 %	7,53 %	7,45 %	5,61 %
Traumatología	6,54 %	7,36 %	8,99 %	5,09 %

Tabla 1: Validación modelos de pronóstico

Día	Porcentaje
Lunes	16,7 %
Martes	14,6 %
Miércoles	14,1 %
Jueves	13,7 %
Viernes	13,6 %
Sábado	13,5 %
Domingo	13,9 %

Tabla 2: Porcentaje de atenciones diarias en pediatría

Día	Porcentaje
Lunes	16,5 %
Martes	16,7 %
Miércoles	16,1 %
Jueves	16,4 %
Viernes	14,3 %
Sábado	10,1 %
Domingo	9,9 %

Tabla 3: Porcentaje de atenciones diarias traumatología

dato aproximado de cuántos pacientes llegarán por cada turno durante un año corrido.

4.2. Pronóstico por Categoría

Uno de los temas importantes para el hospital, además de la cantidad total de los pacientes que llegan a la sala de urgencia, es la gravedad de cada uno de ellos, tal como se detalla en la sección 3.1 y se debe tener un estimado de cómo estos llegan dentro del día. Esto sirve para estar preparados ya que los pacientes más graves deben pasar más tiempo con los médicos que los pacientes menos graves. Teniendo esta caracterización se puede estimar la cantidad de recursos necesarios para una atención de calidad.

La gravedad de los pacientes puede ser obtenida en base a distribuciones

Turno	Horario	Porcentaje de atenciones pediatría	Porcentaje de traumatología
Día	08:00 – 19:59	73,46 %	75,85 %
Noche	20:00 – 07:59	26,54 %	24,15 %

Tabla 4: Distribución de atención por turno

históricas. Se observó que estas distribuciones tienen un comportamiento diferente a través de los distintos meses del año tal como se aprecia en la Figura 5, pero con un comportamiento relativamente similar a lo largo de los años.

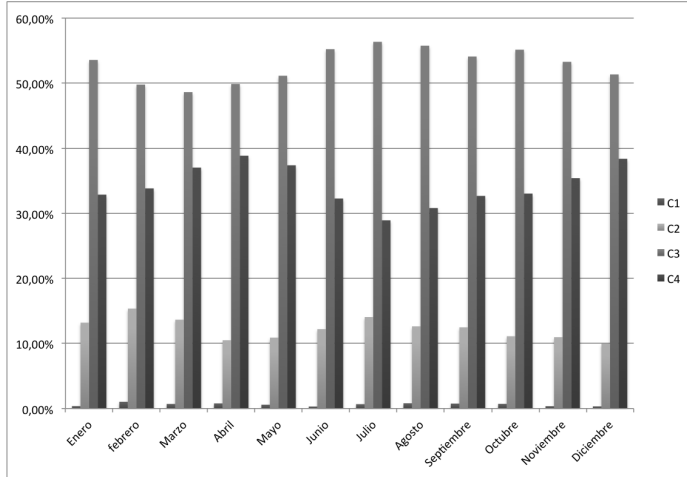


Figura 5: Distribución de categorías por mes

Los datos obtenidos por categoría para los diferentes meses se pueden ver de forma detallada en la Tabla 5

5. Modelo de Optimización para Determinar Personal en la Sala de Urgencia

El modelo busca determinar el número de médicos por turnos necesarios para cubrir de buena manera la demanda, pero no asigna específicamente a cada uno de los médicos. Esta asignación se hace actualmente en el hospital de forma manual.

La información de la cantidad de pacientes que llegan a la sala de urgencia se determina en base a los modelos de pronóstico descritos en el capítulo anterior. Estos pronósticos son desagregados en base a información histórica para separar la demanda diaria de pacientes y sus respectivas categorías.

A continuación se detallarán los parámetros y las variables de decisión para luego presentar el modelo de optimización.

	C1	C2	C3	C4
Enero	0,37 %	13,19 %	53,57 %	32,87 %
Febrero	1,03 %	15,35 %	49,79 %	33,83 %
Marzo	0,70 %	13,65 %	48,63 %	37,03 %
Abril	0,78 %	10,49 %	49,88 %	38,85 %
Mayo	0,58 %	10,89 %	51,14 %	37,38 %
Junio	0,30 %	12,20 %	55,23 %	32,27 %
Julio	0,67 %	14,05 %	56,36 %	28,92 %
Agosto	0,80 %	12,63 %	55,76 %	30,81 %
Septiembre	0,75 %	12,47 %	54,10 %	32,68 %
Octubre	0,71 %	11,10 %	55,15 %	33,03 %
Noviembre	0,35 %	10,96 %	53,28 %	35,40 %
Diciembre	0,32 %	9,95 %	51,35 %	38,38 %

Tabla 5: Distribución de categorías por mes

5.1. Definición de Parámetros y Variables de Decisión

En esta sección se definen los conjuntos a utilizar, los parámetros y variables de decisión a ocupar por el modelo para determinar el personal para el hospital, considerando C categorías, D días, T turnos, A actividades y M meses como horizonte de planificación

c : Categoría de pacientes $c = 1 \dots C$

d : Días de la semana $d = 1 \dots D$

t : Turnos de trabajo $t = 1 \dots T$

a : Actividades a realizar $a = 1 \dots A$

m : Meses $m = 1 \dots M$

Los parámetros son:

$Minimo_{a,d,t,m}$	Número mínimo de trabajadores en la actividad a que debe haber en el turno t del día d en el mes m .
$Minutos_{a,c}$	Tiempo en minutos requerido para atender a un paciente de la categoría c en la actividad tipo a .
$Demanda_{a,c,d,t,m}$	Número de pacientes requiriendo atención en actividad tipo a de categoría c que ingresan en el día d en el turno t , durante el mes m .
$Jornadas_{a,m}$	Número de jornadas semanales disponibles para una actividad a en el mes m , en que cada jornada puede satisfacer un turno completo.
$q_{a,c}$	Número de personas destinadas a la actividad tipo a necesarias para atender a un paciente de categoría c .
o_t	Duración en minutos del turno t .
d_t	Tiempo en minutos destinado a descansos y suplementos, en cada turno t .
s_t	Minutos disponibles de trabajo en tiempo regular por turno t $s_t = o_t - d_t, \forall t = 1 \dots T$.
$r_{a,d,t,m}$	Minutos necesarios para cubrir actividad a en el día d en el turno t , en el mes m .

Variables de decisión:

$y_{a,d,t,m}$	Cantidad de médicos para la actividad a asignados para atender pacientes en el turno t , en día d y en el mes m
---------------	---

5.2. Modelo de Programación Lineal

El objetivo del modelo es minimizar la cantidad de trabajadores y por lo tanto el costo de personal en el horizonte de tiempo de planificación respetando las siguientes restricciones.

- Definir los minutos necesarios para la actividad a por turno t en base a las necesidades de Demanda, a los minutos requeridos por cada categoría c de pacientes para el día d en el mes m .

$$r_{a,d,t,m} = \sum_{c=1}^C (Demanda_{c,d,a,t,m} \cdot Minutos_{a,c} \cdot q_{a,c})$$

$$\forall d = 1 \dots D, \forall a = 1 \dots A, \forall t = 1 \dots T, \forall m = 1 \dots M, \forall c = 1 \dots C \quad (2)$$

- Utilizar la cantidad de jornadas disponibles para asignar la cantidad de médicos a los diferentes turnos:

$$\sum_{d=1}^D \sum_{t=1}^T y_{a,d,t,m} \leq \text{Jornadas}_{a,m}$$

$$\forall a = 1 \dots A, \forall m = 1 \dots M \quad (3)$$

- Respetar el mínimo de trabajadores de cada tipo a en cada turno t de cada día d para cada mes m

$$y_{a,d,t,m} \geq \text{Minimo}_{a,d,t,m}$$

$$\forall d = 1 \dots D, \forall a = 1 \dots A, \forall t = 1 \dots T, \forall m = 1 \dots M \quad (4)$$

- Considerar el número de médicos en la actividad a en cada turno t de cada día d en el mes m para que sea capaz de atender emergencias (usualmente más de un médico):

$$y_{a,d,t,m} \geq q_{a,c}$$

$$\forall d = 1 \dots D, \forall a = 1 \dots A, \forall t = 1 \dots T, \forall m = 1 \dots M \quad (5)$$

- Naturaleza de las Variables

$$y_{a,d,t,m} \in \mathbb{N}$$

$$\forall d = 1 \dots D, \forall a = 1 \dots A, \forall t = 1 \dots T, \forall m = 1 \dots M \quad (6)$$

Minimizar la desviación de la capacidad requerida. Suponiendo que una desviación de la demanda se pondera de igual forma en ambos casos (demasiada capacidad o falta de capacidad). Se modela la función objetivo como valor absoluto de dicha desviación.

- Función Objetivo

$$\text{Min} |y_{a,d,t,m} * s_t - r_{a,d,t,m}|$$

$$\forall d = 1 \dots D, \forall a = 1 \dots A, \forall t = 1 \dots T, \forall m = 1 \dots M \quad (7)$$

Esta función no lineal se implemento como es común en estos casos, como suma de dos funciones excluyentes [4]. De la misma manera se puede diferenciar el costo de tener de tener demasiados recursos o falta de ellos por un ponderador.

Este modelo es genérico y flexible, ya que se puede adaptar a distintas situaciones con características similares al caso presentado. El modelo de programación lineal anteriormente descrito fue implementado en un software de optimización gratuito llamado ZIMPL [19] y resuelto a través del Solver no comercial SCIP [18]

6. Resultados

El modelo se probó con el pronóstico de septiembre del 2008 y se hizo una aproximación de turnos para el mes de septiembre del 2008. Los tiempos de atención para cada paciente según categoría fueron consensuados con el hospital tal como lo muestra la Tabla6.

C1	120 minutos
C2	60 minutos
C3	20 minutos
C4	10 minutos

Tabla 6: Tiempos de atención

También se consideró tiempos muertos en que el médico realiza otras actividades fuera de las estrictamente relacionadas con la atención de pacientes tal como se muestra en la Tabla 7

Administración	15 minutos cada 2 horas
Baño	15 Minutos cada 2 horas
Alimentación	45 minutos por turno
Docencia	20 minutos cada 2 horas de Lunes a Viernes de 14 a 20 hrs.

Tabla 7: Tiempo otras actividades

En el hospital debe haber un mínimo de un médico en cada especialidad en todo momento, por seguridad, si es que hay una emergencia. Se consideró que

Turno Mañana	8:00 - 19:59
Turno Tarde	20:00 - 7:59

Tabla 8: Estructura de atención.

para los casos C1 se necesitan dos médicos atiendan al paciente simultáneamente durante 120 minutos.

Los resultados del modelo se muestran gráficamente en las siguientes Figuras 6 y 7. Hay que destacar que en la actualidad hay tres médicos en pediatría y dos en traumatología para todo turno.

Observaciones

- El modelo es separable por mes.
- Los turnos se mantienen idénticos a los propuestos por el hospital, 2 turnos de 12 horas cada uno.

Sin embargo, el modelo es fácilmente ampliable para probar distintos tipos de turnos, como turnos de 8 horas, y turnos de 1 hora que representa una granularidad máxima para ajustarse de forma perfecta a la demanda.

- Se asume que toda la demanda que llega en un turno debe ser atendida por ese mismo turno.

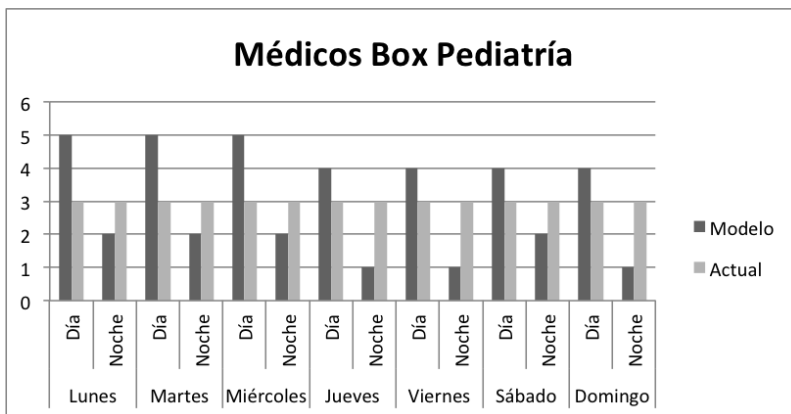


Figura 6: Médicos Box Pediatría

Dada la restricción de limitarse a distribuir las jornadas actuales de los médicos, se puede observar un mejor ajuste a la demanda. Para esta nueva distribución de turnos se estimo una mejora promedio de 10 minutos por paciente y quitando 4 turnos de traumatología.

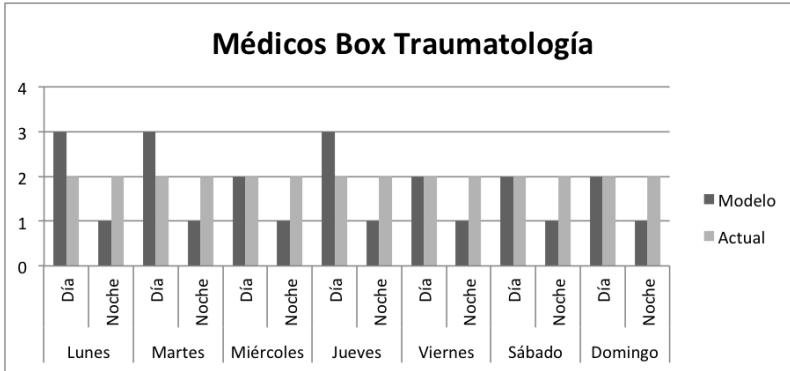


Figura 7: Box Traumatología

	Tiempo atención promedio [min]	Mejora %	Turnos necesarios	Capacidad Adicional
Situación base	81 min	-	70	-
Situación optimizada	71 min	12,3 %	66	-5,7 %
Óptimo calculado	45 min	43,2 %	76	8,6 %

Tabla 9: Resultados

Sin embargo eliminando la restricción de utilizar las jornadas actuales, el óptimo encontrado requiere 6 turnos adicionales lo que equivale a aumentar el total de jornadas en un 8,6%. Para esta asignación de turnos se estimo que se reduce el tiempo promedio de espera por paciente en 36 minutos.

Lo anteriormente descrito se resume en la tabla 9

Si bien el modelo trata de minimizar la desviación de capacidad, en el momento del trabajo se operaba con un turnos diferentes a los calculados, lo cual hace que se trabajaba fuera del óptimo. Esto indica que la demanda no se estaba atendiendo de forma adecuada, es decir que había pacientes que debían esperar un tiempo considerable por una atención.

7. Conclusión y Trabajo Futuro

En este trabajo se aborda la problemática de la gestión de capacidad en un servicio de urgencia de un hospital público. Esta unidad presenta características no determinísticas que hacen que la planificación no sea fácil. A través de modelos de predicción de demanda y un modelo de programación lineal es posible generar una metodología para realizar la asignación de turnos.

La predicción de la demanda es un proceso fundamental ya que es este el que alimenta con información confiable la gestión de recursos. Por lo tanto, una predicción confiable ayudará a aumentar la eficiencia del hospital y por sobre todo, el servicio de cara a los pacientes, quienes serán los más beneficiados gracias al mejor uso de recursos.

Como conclusiones generales del pronóstico de demanda podemos decir que la técnica Support Vector Regression (SVR) es la que genera mejores resultados; sin embargo, las redes neuronales también generan resultados bastante buenos.

El modelo de programación lineal aquí descrito incluye restricciones impuestas por el hospital y restricciones basadas en la capacidad de atención y la demanda esperada en base a los modelos de pronóstico. Este modelo indica que haciendo una mejor distribución de los turnos en urgencia, la espera de los pacientes se reducirá dramáticamente. Sin embargo, se debe aumentar la cantidad de recursos necesarios para esta distribución óptima, correspondiente a 6 turnos por semana. Este modelo es altamente flexible y reproducible con un alcance de anticipación hasta de un año, dada la capacidad de los modelos predictivos, por lo que es una excelente herramienta de gestión a mediano plazo.

Como trabajo futuro se puede realizar un modelo de optimización para la asignación de turnos, para los distintos tipos de trabajos, tarea que se hace actualmente en el hospital de forma manual.

Agradecimientos: El primer autor agradece al Magister en Negocios con Tecnologías de la Información (MBE) de la Universidad de Chile.

Este trabajo fue parcialmente financiado por el Instituto Sistemas Complejos de Ingeniería (ICM: P-05-004-F, CONICYT: FBO16).

Referencias

- [1] Jones A., Joy M., and Pearson J. Forecasting demand of emergency care. *Health Care Management Science*, 2002.
- [2] Burke, Causmaecker D., Berghe V., and Landeghem V. The state of the art of nurse rostering. *Journal of Scheduling*, 2004.
- [3] Reveco C. *Pronóstico, Análisis y Gestión de demanda Hospitalaria*. Editorial Académica Española, 2011.
- [4] Shanno D. and Weil R. 'linear'programming with absolute-value functionals. *Operations Research*, 1971.
- [5] Velásquez J. D., Olaya Y., and Franco C. J. Predicción de series temporales usando máquinas vectoriales de soporte. *Revista chilena de ingeniería*, 2010.
- [6] Box G. E., Jenkins G. M., and Reinsel G. C. *Time Series Analysis Forecasting and Control*. Prentice Hall, 1994.
- [7] Drucker H, Burges C., Kaufman L., Smola A., and Vapnik V. Support vector regression machines. In *NIPS'96*, pages 155–161, 1996.
- [8] Blöchliger I. Modeling staff scheduling problems a tutorial. *European Journal of Operational Research*, 2003.
- [9] Schweigler L., Desmond J., McCarthy M., Bukowski K., Ionides E., and Younger J. Forecasting models of emergency department crowding. *Academic Emergency Medicine*, 2009.
- [10] Adya M. and Collopy F. How effective are neural nets at forecasting and prediction? a review and evaluation. *Journal of Forecasting*, 1998.
- [11] Warner M. Personnel staffing and scheduling. In *Patient Flow: Reducing Delay in Healthcare Delivery*, volume 91, pages 189–209. Springer US, 2006.
- [12] Warner D. M. and Prawda J. A mathematical programming model for scheduling nursing personnel in a hospital. *Management Science*, 1972.
- [13] Barros O., Weber R., Reveco C., Ferro E., and Julio C. Demand forecasting and capacity planning for hospitals. *Aceptado OR Spectrum*, 2010.

- [14] Farmer R. and Emami J. Models for forecasting hospital bed requirements in the acute sector. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 1990.
- [15] Aguirre S., Amaya C., and Velasco N. Planeación y programación del personal del servicio de urgencias en un centro médico. *Los cuadernos de PYLO – Logística Hospitalaria*, 2008.
- [16] Armstrong J. S. Principles of forecasting. 2001.
- [17] McCulloch W. S. and Pitts W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of Mathematical Biophysic*, 5:115–133, 1943.
- [18] Achterberg T. Scip: Solving constraint integer programs. *Mathematical Programming Computation*, 1(1):1–41, 2009.
- [19] Koch T. *Rapid Mathematical Prototyping*. PhD thesis, Technische Universität Berlin, 2004.
- [20] López W., Aldea E., Riquelme G., Savoy S. Burgos J., and Velásquez M. Diseño del servicio de salud, caso hospital de quilpué, 2010. <http://wiki.ead.pucv.cl/index.php/>.

