

# Implementación para la Optimización de Turnos en una Unidad de Cuidados Mínimos

Juan Martín Pinna Cortiñas, Sebastián Lucas Esandi y Alberto Bandoni

Planta Piloto de Ingeniería Química, PLAPIQUI (UNS-CONICET), Casilla de Correo 717, (8000) Bahía Blanca, Pcia. Buenos Aires. {jpinna, sesandi, abandoni}@plapiqui.edu.ar

**Resumen** Este trabajo presenta una implementación computacional para la optimización de la asignación de turnos a pacientes que asisten a una Unidad de Cuidados Mínimos del Hospital Interzonal General de Agudos “Dr. José Penna”, de la ciudad de Bahía Blanca. La implementación resulta una solución informática práctica al problema de la organización de los recursos hospitalarios requeridos para el tratamiento de los pacientes, tanto en la modalidad “Hospital de Día” como en la de “Hospital de Semana”. Para esto, se desarrolló un modelo matemático sobre la base de uno publicado en la literatura, el cual fue adaptado y extendido e integrado en una herramienta computacional con un software de optimización no comercial y una interfaz de usuario. Para demostrar la utilidad del desarrollo, se presentan resultados correspondientes a la optimización de los turnos de pacientes en un dado horizonte de tiempo. La herramienta desarrollada está a disposición del personal administrativo y médico del hospital, para planificar los turnos de forma óptima tanto para los pacientes como para la Unidad de Cuidados Mínimos.

**Palabras clave:** Optimización, Cuidados mínimos, Hospital de día, Hospital de semana, Modelado matemático.

## 1 Introducción

Los hospitales actuales funcionan con diferentes modalidades para la prestación de sus servicios. Estas abarcan la atención ambulatoria, y las denominadas *hospitales de día* y *hospitales de semana* entre otras. En particular, el hospital de día permite al paciente recibir atención médica durante solo unas horas tanto para diagnóstico como para tratamientos que no justifican su internación [5, 6]. Por otra parte, el hospital de semana está destinado a los pacientes que requieren un tratamiento más extenso y debe contemplar el uso de camas. En ambos casos, antes de asignar un turno a un paciente es necesaria una planificación de los recursos del hospital, contemplando la disponibilidad de realización de estudios clínicos, de sillones o camas e inclusive la posibilidad de tratamientos posteriores tales como eventuales cirugías.

La complejidad de tal planificación requiere que exista un buen ordenamiento del hospital a nivel *táctico*, de forma tal que puedan planificarse óptimamente a

nivel *operativo* las tareas. Así, el diseño de la disponibilidad de estudios y tratamientos a lo largo de una semana constituye un tipo de táctica. Asimismo, una correcta planificación persigue el objetivo de maximizar la cantidad de pacientes que reciben atención médica lo más pronto posible. Tal objetivo solo puede alcanzarse si se optimizan en forma integral el uso de los recursos que posee el hospital.

Si bien en la literatura se clasifica el funcionamiento de las unidades hospitalarias en las dos modalidades antes mencionadas (día o semana), también pueden darse casos que incluyan ambos tipos en las mismas instalaciones. De esta forma, los pacientes que puedan ser tratados en el lapso de unas pocas horas se atienden en la modalidad hospital de día, dejando la forma hospital de semana a los restantes pacientes.

Cabe aclarar que, los hospitales regionales brindan atención a pacientes que residen en una extensa zona geográfica. Entonces, esto requiere el traslado de los mismos desde su residencia hasta el hospital.

En resumen, todos estos factores combinados derivan en un importante problema de planificación que resulta difícil y poco intuitivo de solucionar sin una asistencia computacional. En cambio, los modelos matemáticos de optimización resultan particularmente útiles para representar y solucionar este tipo de problemas. Además, los algoritmos de optimización existentes [3] ejecutados en computadoras actuales facilitan la resolución de grandes problemas de optimización en cuestión de minutos. Por lo tanto, la integración de estos módulos de optimización con bases de datos y una interfaz de usuario posibilitan que el personal administrativo de una Unidad de Cuidados Mínimos (UCM) optimice el flujo de pacientes en sus instalaciones dentro de un horizonte de tiempo determinado.

En particular, la interfaz presentada en este trabajo admite recolectar información de los pacientes, relevante tanto para su atención como así también para hacer análisis estadísticos del sector. Adicionalmente, la interacción con los pacientes se facilita gracias a la posibilidad de contacto por email.

Este trabajo se organiza de la siguiente manera. En la Sección 2 se presenta el esquema completo de la solución informática propuesta, consistente en el modelo matemático, la base de datos y la interfaz de usuario. En la Sección 3 se detalla el modelo matemático y en la Sección 4 la interfaz de usuario y la base de datos. En la Sección 5 se presentan los resultados del caso de estudio de la UCM del Hospital Penna. Finalmente, en la Sección 6 se exponen conclusiones generales.

## 2 Metodología

El sistema que se presenta consiste en cuatro componentes fundamentales: un modelo matemático de optimización, un módulo de *software* de optimización, una interfaz y una base de datos.

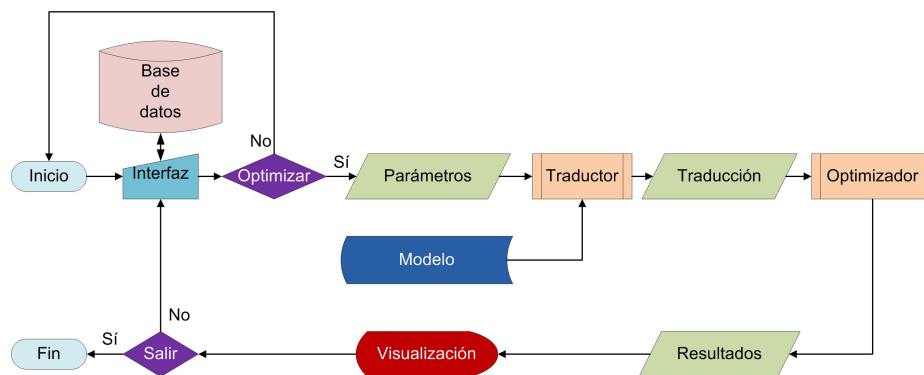
El desarrollo de un caso de estudio concreto de la aplicación presentada en este trabajo, se realizó sobre la UCM del Hospital Interzonal General de Agudos (HIGA) “Dr. José Penna” de la ciudad de Bahía Blanca. El modelo matemático de optimización representa la función objetivo, las restricciones, los datos y las

variables correspondientes a este problema particular. El módulo de *software* de optimización posibilita que a partir de dicho modelo y los datos ingresados en la interfaz, se encuentre una solución óptima al objetivo planteado. En tercer lugar, la base de datos almacena tanto la información ingresada por el usuario, como los resultados obtenidos mediante el módulo de optimización.

En la Fig. 1 se aprecia en detalle el sistema completo. Así, la interfaz posibilita ingresar parámetros para luego volcarlos en un archivo (*ParámetrosHdD.zpl*). Además, en otro archivo (*ModeloHdD.zpl*) existe una implementación computacional del modelo matemático escrito en el lenguaje de programación ZIMPL [3]. A continuación, la optimización en sí la realiza un proceso (SCIP [3]) y se obtienen los resultados en un archivo (*Óptimo.sol*) permitiendo la visualización en la interfaz.

Con respecto a la implementación computacional, se escribió en Java la interfaz y la base de datos se programó en MySQL. Cabe destacar que estas componentes de *software* tienen licencia de tipo GNU, mientras que el módulo SCIP se encuentra bajo licencia académica.

El HIGA “Dr. José Penna” dispone al servicio de la UCM una serie de recursos clínicos y de laboratorios como los que se detallan en la Tabla 1. Los horarios de trabajo y la organización de los turnos pueden apreciarse en la Tabla 2; donde se observa que una semana de actividad de la UCM se discretiza en catorce bloques de tiempo, ofreciendo servicios de lunes a sábados por la mañana. Debido a que el horizonte de planificación de actividades es de cuatro semanas, los bloques se denominan en el modelo desde B1 hasta B56.



**Figura 1.** Esquema que representa todas las componentes de *software* del proyecto. La interfaz permite al usuario ingresar el listado de pacientes, los servicios clínicos disponibles en la UCM, visualizar los resultados e interactuar con la base de datos. Por otro lado, el modelo en sí (se encuentra almacenado en un archivo denominado *ModeloHdD.zpl*) se combina con los parámetros generados por la interfaz (archivo *ParámetrosHdD.zpl*) y se obtiene el modelo traducido a optimizar (mediante el traductor ZIMPL). Luego, con el optimizador (SCIP) se logran los resultados en un archivo (*Óptimo.sol*). Esto último es mostrado al usuario en la interfaz.

1) Laboratorio	9) Prueba pulmonar	17) Angiografía
2) Rayos X	10) Gammagrafía	18) Colonoscopia
3) Resonancia	11) Eco cardiograma	19) Papilotomía endoscópica
4) Biopsia	12) Monitoreo Holter	20) Eco cardiograma transesofágico
5) Ecografía	13) Otorrinonaringología	21) Cirugía traumatológica
6) Eco-doppler	14) Gastroscopia	22) Cirugía pediátrica
7) Tomografía	15) Exámenes oftalmológicos	23) Cirugía neurológica
8) Otro	16) Mamografías	24) Cirugía general
25) Odontología	26) Cirugía maxifacial	27) Otro 1
28) Otro 2	29) Otro 3	30) Otro 4

**Tabla 1.** Estudios clínicos y cirugías disponibles en la UCM del HIGA “Dr. José Penna”. Se observa que aparecen campos denominados *Otros* que permiten incluir futuros procedimientos.

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábados	Domingos
8 a 12 hs	B1	B3	B5	B7	B9	B11	B13
12 a 18 hs	B2	B4	B6	B8	B10	B12	B14

**Tabla 2.** Esquema de trabajo de una semana propuesto para la UCM. El trabajo se realiza de lunes a sábados, dividiendo los días en dos bloques. Es decir, no se trabaja ni el día sábado durante la tarde ni el domingo, de ahí que, tanto la disponibilidad de estudios como los turnos asignados se encuentran dentro de los bloques de B1 a B11. A saber, las siguientes tres semanas siguen una distribución análoga, extendiéndose hasta el bloque B56.

### 3 Modelado matemático

Para el desarrollo del modelo de optimización aplicado al caso en estudio se utilizó como base uno propuesto en la literatura para un hospital en Italia [4]. Sin embargo, debido a que ese modelo fue planteado para una unidad de reumatología, que además funciona en la modalidad de hospital de semana, se realizaron varias modificaciones tales como:

- definición de un horizonte de planificación diferente (cuatro semanas),
- incorporación del uso de sillones,
- una diferente utilización de las camas,
- una función objetivo que favorezca la asignación de turnos a los pacientes lo más pronto posible,
- implementación de la herramienta computacional utilizando *software* no comerciales.

Seguidamente se detalla la notación utilizada, los parámetros del modelo, las variables, las restricciones y la función objetivo.

### 3.1 Notación del modelo

- $B = \{b : b = 1, \dots, 56\}$ , conjunto de bloques,
- $K = \{k : k = 1, \dots, 12\}$ , conjunto de divisiones de tiempo,
- $S = \{i : i = 1, \dots, 30\}$ , conjunto de estudios clínicos,
- $P = \{p : p = 1, \dots, n\}$ , lista de espera de pacientes,
- $D_1 = 17$ , nro. de camas disponibles,
- $D_2 = 23$ , nro. de sillones disponibles,
- $D_3 = 3$ , nro. máximo de pacientes admitidos por bloque.

### 3.2 Parámetros

- Se define como  $\mu_{bk}^i$  al número de pacientes que pueden realizar el estudio  $i$  en la división  $k$  del bloque  $b$ ,
- para el paciente  $p \in P$ , la estadía mínima del paciente  $nb_p$  definida como número de bloques,
- la prioridad del paciente  $w_p$  dada como alta (3), media (2) o baja (1),
- el conjunto de prescripciones de un paciente  $s_p^i = 1$  si el servicio  $i$  es prescrito al paciente  $p$ ; 0 en caso contrario. Prosiguiendo, se especifica  $ns_p = \sum_{i \in S} s_p^i$  como el número de prescripciones del paciente  $p$ .
- En último lugar, la admisión del paciente se da a partir de un determinado bloque definido como  $l_p$ .

### 3.3 Variables

- $x_{pbk}^i = \begin{cases} 1 & \text{si el paciente } p \text{ realiza el estudio } i \text{ en la división } k \text{ del bloque } b \\ 0 & \text{caso contrario, (variable binaria),} \end{cases}$
- $y_{pb} = \begin{cases} 1 & \text{si el paciente } p \text{ ocupa una cama durante el bloque } b \\ 0 & \text{caso contrario, (variable binaria),} \end{cases}$
- $z_{pb} = \begin{cases} 1 & \text{si el paciente } p \text{ ocupa un sillón durante el bloque } b \\ 0 & \text{caso contrario, (variable binaria),} \end{cases}$
- $adm_{pb} = \begin{cases} 1 & \text{si el paciente } p \text{ es admitido durante el bloque } b \\ 0 & \text{caso contrario, (variable binaria),} \end{cases}$
- $rb_{pb} =$  número de bloques que le restan al paciente  $p$  con respecto a su estadía mínima  $nb_p$  para el paciente  $p$ , (variable entera),
- $o_{pb} = \begin{cases} 1 & \text{si el paciente } p \text{ realiza algún estudio en el bloque } b \\ 0 & \text{caso contrario (variable entera).} \end{cases}$

### 3.4 Restricciones

$$o_{pb} \geq x_{pbk}^i \quad \forall i \in S, \forall p \in P | nb_p > 0, \forall b \in B, \forall k \in K. \quad (1)$$

$$y_{pb} \geq o_{pj} - \left( 1 - \sum_{jj \in B} adm_{pjj} \right) \quad \forall p \in P | nb_p > 0, \forall b \in B, \forall j \in B | j \geq b, \quad (2)$$

$$\forall jj \in B | jj \leq b.$$

$$y_{pb} \leq o_{pb} \quad \forall p \in P | nb_p > 0, \forall b \in B. \quad (3)$$

Las Ecs. (1) a (3) permiten que a partir de la admisión del paciente, la cama sea ocupada por él hasta que haya realizado todos los estudios que tiene prescritos. Se observa que el parámetro  $nb_p$  se utiliza, en términos generales, como bandera o *flag* para distinguir a los pacientes que utilizan cama.

$$\sum_{b \in B} \sum_{k \in K} x_{pbk}^i \leq s_p^i \quad \forall i \in S, \forall p \in P | nb_p > 0. \quad (4)$$

$$\sum_{k \in K} x_{pbk}^i \leq s_p^i \quad \forall i \in S, \forall p \in P | nb_p = 0, \forall b \in B. \quad (5)$$

Las Ecs. (4) y (5) limitan los estudios que puede realizar un paciente a la prescripción médica tanto para los pacientes que utilizan cama ( $nb_p > 0$ ) o sillón ( $nb_p = 0$ ) respectivamente.

$$\sum_{b \in B} z_{pb} \leq 1 \quad \forall p \in P | nb_p = 0. \quad (6)$$

Además, la Ec. (6) asegura que a lo sumo se asigne el uso del sillón a los pacientes que se encuentran bajo esta modalidad.

$$\sum_{i \in S} x_{pbk}^i \leq 1 \quad \forall p \in P, \forall b \in B, \forall k \in K. \quad (7)$$

Luego, en la Ec. (7) no se tolera que un paciente haga más de un estudio en una de las divisiones de tiempo  $k \in K$  en cualquier bloque  $b \in B$ .

$$\sum_{p \in P} x_{pbk}^i \leq \mu_{bk}^i \quad \forall i \in S, \forall b \in B, \forall k \in K. \quad (8)$$

Adicionalmente, se respeta la disponibilidad de recursos de la UCM mediante la Ec. (8).

$$\sum_{b \in B} adm_{pb} \leq 1 \quad \forall p \in P. \quad (9)$$

Por otro lado, se limita la admisión de cada paciente a una única oportunidad (Ec. (9)), evitando el traslado innecesario de pacientes al hospital.

$$\sum_{j \in B | j \leq b} adm_{pj} \leq \sum_{i \in S} \sum_{k \in K} \sum_{j \in B | j \leq b} x_{pjk}^i \quad \forall b \in B, \forall p \in P. \quad (10)$$

De esta forma (Ec. (10)), el paciente solamente puede realizar un estudio si antes fue admitido.

$$x_{pbk}^i \leq y_{pb} \quad \forall i \in S, \forall p \in P | nb_p > 0, \forall b \in B, \forall k \in K. \quad (11)$$

$$x_{pbk}^i \leq z_{pb} \quad \forall i \in S, \forall p \in P | nb_p = 0, \forall b \in B, \forall k \in K. \quad (12)$$

En otras palabras, se asegura que tenga reservada una cama (Ec. (11)) o un sillón (Ec. (12)) dependiendo de cuál sea su forma de estadía.

$$\sum_{j \in B | j \leq b} y_{pj} \leq ORD(b) \cdot \sum_{j \in B | j \leq b} adm_{pj} \quad \forall p \in P | nb_p > 0, \forall b \in B. \quad (13)$$

$$\sum_{j \in B | j \leq b} z_{pj} \leq ORD(b) \cdot \sum_{j \in B | j \leq b} adm_{pj} \quad \forall p \in P | nb_p = 0, \forall b \in B. \quad (14)$$

Dicho de otra manera, en las Ecs. (13) y (14) se asegura que el paciente no pueda ocupar una cama o sillón antes de su admisión.

$$rb_{p'b1'} = nb_p \cdot adm_{p'b1'} \quad \forall p \in P. \quad (15)$$

$$rb_{pb} \leq nb_p \cdot \sum_{j \in B | j \leq b} adm_{pj} - \sum_{j \in B | j \leq b} y_{pj} \quad \forall p \in P, \forall b \in B | b \geq b2'. \quad (16)$$

$$nb_p \cdot y_{pb} \geq rb_{pb} \quad \forall p \in P, \forall b \in B. \quad (17)$$

$$\sum_{j \in B | (j \geq b)}^{b+nb_p-1} y_{pj} \geq nb_p \cdot adm_{pb} \quad \forall p \in P, \forall b \in B | b \leq |B| - nb_p + 1. \quad (18)$$

Las Ecs. (15) a (18) garantizan que todos los pacientes cumplan con su estadía mínima ( $nb_p$ ).

$$adm_{pb} = 0 \quad \forall p \in P, \forall b \in B | \{b \geq (SA - nb_p + 1)\} \wedge \{b \leq (SA + 3)\}. \quad (19)$$

La Ec. (19) evita la admisión del paciente si no llega a cumplir su estadía mínima antes del fin de semana, en concreto, antes del sábado a la tarde. Para comprender mejor, se utiliza el parámetro  $SA \in B$  que simboliza el bloque temporal del primer sábado a la tarde. Se debe aclarar que restricciones análogas

se incluyen para los tres fines de semana siguientes hasta completar el horizonte de planificación de cuatro semanas. Estas últimas no se detallan a los fines de brevedad.

$$y_{pb} = 0 \quad \forall p \in P, \forall b \in B | [\{b > SA\} \wedge \{b \leq (SA + 3)\}]. \quad (20)$$

Además, en la Ec. (20) no se permite que un paciente utilice una cama ni el sábado a la tarde ni durante todo el día domingo. Como en el caso anterior, esta restricción se repite para los siguientes fines de semana.

$$\sum_{i \in S} \sum_{b \in B} \sum_{k \in K} x_{pbk}^i = ns_p \cdot \sum_{b \in B} adm_{pb} \quad \forall p \in P. \quad (21)$$

De esta forma (Ec. (21)) se asegura que el paciente cumpla con todas sus prescripciones si es admitido.

$$\sum_{p \in P} y_{pb} \leq D_1 \quad \forall b \in B. \quad (22)$$

$$\sum_{p \in P} z_{pb} \leq D_2 \quad \forall b \in B. \quad (23)$$

Las Ecs. (22) y (23) garantizan que no se supere la cantidad de camas o sillones disponibles.

$$\sum_{p \in P} adm_{pb} \leq D_3 \quad \forall b \in B. \quad (24)$$

También se respeta la cota de admisión máxima permisible por bloque  $B$  mediante la Ec. (24).

$$adm_{pb} = 0 \quad \forall p \in P, \forall b \in B | b < l_p. \quad (25)$$

La Ec. (25) fuerza que se respeten las preferencias del paciente en cuando a su disponibilidad para asistir al hospital a partir de una determinada fecha (bloque  $l_p$ ).

### 3.5 Función objetivo

La función objetivo permite maximizar el uso de los recursos disponibles en la UCM y brindar la mejor atención posible a los pacientes ingresándolos lo más rápido posible. Esto se logra maximizando la admisión y minimizando su tiempo de espera. En concreto, incluyendo el término  $b$  en el denominador como se detalla a continuación

$$\sum_{b \in B} \sum_{p \in P} w_p \cdot adm_{pb}/b. \quad (26)$$



**Datos del paciente**

Pacientes Recursos Listado Informes Salir

**Nombre (\*)** Ramón **Observaciones** Control diabetes  
**Apellido(\*)** Gutierrez **Grupo sanguíneo(\*)** A Rh positivo  
**DNI(\*)** 24.545.656 **Celular(\*)** 0291 15456789 **Donante de órganos(\*)**  No  Si  
**TEL(\*)** 0291 4567678 **E-mail** ramonguti74@gr **Sexo**  Femenino  Masculino  
**Estadía mínima (turnos)** Cama **Turno a partir de:** 25/04/2016

Los campos con (\*) son obligatorios

<input type="checkbox"/> 01 - Laboratorios	<input type="checkbox"/> 02 - Rayos X	<input type="checkbox"/> 03 - Resonancia	<input type="checkbox"/> 04 - Biopsia	<input type="checkbox"/> 05 - Ecografía
<input type="checkbox"/> 06 - Eco-doppler	<input type="checkbox"/> 07 - Tomografía	<input type="checkbox"/> 08 - Otro	<input type="checkbox"/> 09 - Prueba pulmonar	<input type="checkbox"/> 10 - Gammagrafía
<input type="checkbox"/> 11 - Eco cardiograma	<input type="checkbox"/> 12 - Monitoreo Holter	<input type="checkbox"/> 13 - Otorrinolaringología	<input type="checkbox"/> 14 - Gastroscopia	<input type="checkbox"/> 15 - Exámenes Oftalmoló...
<input type="checkbox"/> 16 - Mamografías	<input type="checkbox"/> 17 - Angiografía	<input type="checkbox"/> 18 - Colonoscopia	<input type="checkbox"/> 19 - Papilotomía endosc...	<input type="checkbox"/> 20 - Eco cardiograma tra...
<input type="checkbox"/> 21 - Cirugía traumatológica	<input type="checkbox"/> 22 - Cirugía pediátrica	<input type="checkbox"/> 23 - Cirugía neurológica	<input type="checkbox"/> 24 - Cirugía general	<input type="checkbox"/> 25 - Odontología
<input type="checkbox"/> 26 - Cirugía maxifacial	<input type="checkbox"/> 27 - Otro 1	<input type="checkbox"/> 28 - Otro 2	<input type="checkbox"/> 29 - Otro 3	<input type="checkbox"/> 30 - Otro 4

Guardar Borrar

**Figura 2.** Ventana de la interfaz que facilita el ingreso de datos de los pacientes. Además de los datos de identificación, prioridad, estadía mínima, modalidad (cama o sillón) y preferencia de fecha; se elige la prescripción médica (parámetro  $s_p^i$ ) entre los posibles estudios y tratamientos (ver Tabla 1).

## 4 Interfaz y Base de datos

La interfaz está implementada en Java mediante el IDE (*Integrated Development Environment*) Netbeans. Dispone de cinco paneles para comunicarse tanto con la base de datos, como con el *software* de modelado y optimización (SCIP). A continuación, se detalla cada uno de los mismos:

1. **Datos del paciente:** permite ingresar los datos necesarios para la planificación de los estudios del paciente. Esto incluye no solo los personales y de contacto, sino el nivel de prioridad, el uso de camas o sillones; la estadía mínima y a partir de qué fecha asignar los estudios a realizar (ver Fig. 2).
2. **Recursos:** posibilita ver de manera rápida, con un calendario, las capacidades disponibles en cuanto a los estudios y la cantidad de camas y sillones (ver Fig. 3).
3. **Listado:** muestra la lista de todos los pacientes que solicitan un turno. Desde este panel, se puede proceder a la opción **Procesar**, la cual se comunica con el modelo y el *software* de optimización. Conforme termina de optimizar, se obtiene como resultado una propuesta de turnos asignados para asistir en el proceso de toma de decisión. A continuación, se realiza la comunicación con los pacientes para confirmar los turnos o planificarlos nuevamente (*rescheduling*). Este punto es de particular importancia para garantizar que todos los pacientes que solicitan atención médica obtengan una propuesta que sea capaz de adecuarse no solo a la disponibilidad de recursos hospitalarios, sino también a sus posibilidades de trasladarse y asistir a la realización de los estudios prescriptos. Toda esta información, a su vez, queda registrada en la base de datos, lo cual permite volver a utilizarla en futuras planificaciones de turnos, modificarla y actualizarla (ver Fig. 4).
4. **Informes:** permite visualizar los estudios que se ha realizado cada paciente, los resultados de los mismos; un *scheduling* con vista diaria, semanal y mensual de la planificación (ver Figs. 5, 6 y 7). Asimismo, la información visual estadística sobre las actividades de la UCM.
5. **Configuración:** mediante este panel es posible agregar, modificar o eliminar estudios, así como asignar los valores por defecto de las capacidades disponibles en un mes.

La base de datos relacional está realizada con una estructura MySQL, dispone de 22 tablas y se comunica con la interfaz mediante el sistema de gestión de bases de datos XAMPP.

## 5 Resultados

En primer lugar, se ingresan mediante la interfaz (Fig. 2) los valores de los parámetros que, a los fines de optimización, se representan internamente como se detalla en la Tabla 3. Asimismo, la disponibilidad de estudios y tratamientos utilizada puede consultarse en [1].



**Figura 3.** En la solapa **Recursos** se elige para cada día del calendario la disponibilidad de estudios (parámetro  $\mu_{b,k}^i$ ) de la UCM. Se listan en forma vertical los estudios de la Tabla 1 mientras que en la dirección horizontal están las divisiones de tiempo  $k \in K$  de dos bloques  $b \in B$ . Para ser más específico, las divisiones de tiempo dentro de los bloques turno mañana y tarde duran media hora. Esta tabla se encuentra cargada de antemano con valores que fueron asignados en la solapa **Configuración**. Además, a la izquierda se observa que se pueden elegir los valores de disponibilidad de camas y sillones (parámetros  $D_1$  y  $D_2$  respectivamente).

$P$	$w_p$	$nb_p$	$l_p$	$s_p^i$
p1	3	2	b3	{1, 2, 21}
p2	2	1	b9	{1, 8}
p3	2	0	b7	{5, 28}
p4	3	1	b11	{1, 2, 21}
p5	3	0	b15	{1, 6, 11}
p6	1	0	b53	{5}
p7	1	0	b51	{1, 27}
p8	2	0	b9	{13}
p9	1	0	b31	{1, 8}
p10	2	0	b33	{1, 2, 25}
p11	3	2	b3	{2, 8, 11}
p12	1	0	b45	{25}
p13	3	1	b5	{1, 2, 21}
p14	2	0	b33	{8, 13}
p15	1	0	b19	{16}
p16	1	0	b51	{25}

**Tabla 3.** Valores particulares que toman los parámetros del modelo para el caso de estudio. Se muestran: el listado de pacientes ( $P$ ), su prioridad ( $w_p$ ), estadia mínima ( $nb_p$ ), preferencias de admisión después de cierta fecha ( $l_p$ ) y prescripción  $s_p^i$ .

Luego, en la Fig. 3 se puede elegir la capacidad de ofrecer estudios y tratamientos de la UCM. Se observa que en la dirección vertical de la tabla se listan los estudios de la Tabla 1 y en el eje horizontal se detallan los horarios en intervalos de tiempo de media hora. Esta tabla cuenta con valores cargados de antemano definidos en la solapa **Configuración**. Además, a la izquierda de la pantalla se pueden elegir la cantidad de camas ( $D_1 = 17$ ) y sillones ( $D_2 = 23$ ) disponibles para los pacientes, como el número máximo de pacientes admisibles por bloque de tiempo ( $D_3 = 3$ ).

PACIENTE	PRIORIDAD	OBSERVACIONES	CELULAR	ESTADÍA MÍNIMA	TURNOS
García Carlos	Alta	Fractura cadera	0291-453456701	2 turno en cama	05/05 - 08:30
Uribarre Jacinta	Media	Descompostura di...	0291-156456789	1 turno en cama	06/05 - 08:30
Orellano Claudia	Media	Contracciones abd...	0291-45345678	Sillón	05/05 - 08:00
Garmendia Calisto	Alta	Fractura codo	0291-156456789	1 turno en cama	09/05 - 08:30
Levinas Claudio	Alta	Control coronario	0291-156456789	Sillón	09/05 - 08:30
Fleisher Martina	Baja	Control embarazo	0291-156456789	Sillón	28/05 - 11:00
Viotto Carlo	Baja	Control presión	0291-156456789	Sillón	27/05 - 08:30
Durat Luisa	Media	Otitis aguda	0291-156456789	Sillón	06/05 - 11:00
Guardiolo Carla	Baja	Fiebre alta	0291-156456789	Sillón	17/05 - 08:30
Prieto Ernestina	Media	Infexción muela	0291-156456789	Sillón	18/05 - 08:30
Fernández Raúl	Alta	Dolor torácico agudo	0291-156456789	2 turno en cama	04/05 - 13:30
Gatti Gustavo	Baja	Caries	0291-156456789	Sillón	Pendiente
Plarmun Roberto	Alta	Fractura pie	0291-453456789	1 turno en cama	04/05 - 08:30
Repeto Renata	Media	Otitis	0291-156456789	Sillón	18/05 - 09:00

**Figura 4.** Resultados obtenidos por el módulo de optimización para el listado completo de pacientes  $P$ . En 5 se presenta la solución óptima. Además, haciendo clic en el nombre de un paciente se muestran en detalle sus turnos asignados.

Una vez que se ejecuta la optimización, se obtienen los resultados presentados en la Fig. 4. Se muestra el listado completo de turnos asignados mientras que haciendo clic en el nombre de un paciente, se detalla su itinerario planificado. Esto puede imprimirse en el momento que el paciente se presenta en la UCM para recibir su atención.

A continuación, se presenta en la Fig. 5 los turnos asignados para cuatro semanas de trabajo. En particular, algunos pacientes realizan su estadía en cama (ver en las primeras dos semanas los días miércoles y jueves), y otros en sillón (ver el viernes de la primera semana). Alternativamente, las Figs. 6 y 7 permiten apreciar la distribución de los turnos de los pacientes en un solo día de trabajo.

LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
02/05/2016	03/05/2016	04/05/2016 Fernández	05/05/2016 Orellano Fernández García	06/05/2016 Uribarre Durat	07/05/2016	08/05/2016
09/05/2016 Garmendia Levinas	10/05/2016	11/05/2016 Pastor Gianotto	12/05/2016 Pastor Díaz Cordero	13/05/2016	14/05/2016	15/05/2016
16/05/2016	17/05/2016 Guardiolo	18/05/2016 Prieto	19/05/2016 García Sánchez Marco	20/05/2016	21/05/2016	22/05/2016
23/05/2016	24/05/2016	25/05/2016	26/05/2016	27/05/2016 Viotto	28/05/2016 Fleisher	29/05/2016

**Figura 5.** Vista mensual de los turnos asignados por el optimizador para los pacientes de la UCM. Se aprecian los turnos asignados para cuatro semanas de trabajo.

PACIENTES	07:30	08:00	08:30	09:00	09:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	
Fernández													Eco ca.									

**Figura 6.** Vista diaria de los turnos de los pacientes de la UCM para el día 4 de mayo de 2016.

PACIENTES	07:30	08:00	08:30	09:00	09:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	
Orellano		Ecogra...																				
Fernández				Otro				Rayos X														
García			Labora...					Rayos X														

**Figura 7.** Vista diaria de los turnos de los pacientes de la UCM para el día 5 de mayo de 2016. Se aprecia que el segundo de los pacientes continúa su estadía desde el día anterior (Fernández).

En detalle, uno de los pacientes es el que permanece en la UCM ocupando una cama (Sánchez) recibiendo atención durante los dos días. En cambio, el resto de los pacientes realiza estadias más breves.

## 6 Conclusiones

Este trabajo presentó una implementación computacional de gestión de turnos para una UCM. En particular, se modificó y expandió un modelo matemático existente para permitir representar la dinámica de este sector en un hospital. Además, se utilizó *software* no comercial y se desarrolló una interfaz y una base de datos *ad hoc*. Esto lo motivó la necesidad de obtener una buena usabilidad para los usuarios finales (profesionales de la salud). La herramienta está instalada en el Hospital Penna de la ciudad de Bahía Blanca y se está configurando la disponibilidad de estudios y tratamientos. A futuro, se incorporará la opción de contacto con los pacientes mediante SMS. En particular, se realizará utilizando una placa Arduino GSM Shield [2], instalada en la computadora donde reside el sistema.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a las autoridades del HIGA “Dr. José Penna” y al Dr. Juan Ariel Bykaluk, Jefe de la Sala de Cuidados Mínimos y Hospital de Día. Además, a la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) por el apoyo para financiar este trabajo mediante el proyecto D-TEC 0009/13.

## Referencias

1. Disponibilidad de estudios y tratamientos en la UCM (2016), <http://www.geiss.uns.edu.ar/images/excel/parametroMu.xlsx>, 5 May 2016
2. Arduino GSM Shield (2016), <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoGSMShield>, last accessed: 14 April 2016.
3. Achterberg, T.: SCIP: Solving constraint integer programs. *Mathematical Programming Computation* 1(1), 1–41 (July 2009), <http://mpc.zib.de/index.php/MPC/article/view/4>. Last accessed: 8 April 2016.
4. Conforti, D., Guerriero, F., Guido, R., Cerinic, M.M., Conforti, M.L.: An optimal decision making model for supporting week hospital management. *Health care management science* 14(1), DOI 10.1007/s10729-010-9144-5 (2011)
5. Muniagurria, A.J., Nasurdi, A., Tozzini, R.I., Biso, T., Alejandra, A., Cipulli, G., Mazzolini, M., Pollastri, M., Salazar, L., Calisse, R., et al.: Hospital de día: un modelo de atención ambulatoria. Resultados de 6 años de funcionamiento. *Anuario Fundación Dr. J.R. Villavicencio XVIII*, ISSN 1851-040X (2010)
6. Terol García, E., Palanca Sánchez, I.: Hospital de Día - Estándares y recomendaciones, cap. 1, pp. 1–17. Ministerio de Sanidad y Política Social. Centro de Publicaciones. Gobierno de España, Paseo del Prado, 18. 28014 Madrid, España (2009), NIPO: 351-09-045-1