

## MODELOS DE SIMULACION PARA LA OPTIMIZACION DE LA ENTREGA DE TURNOS EN LABORATORIOS DE ANALISIS CLINICOS

Pablo M. Jeger<sup>1</sup>, María Alicia Valverde<sup>2</sup>, Alberto Bandoni<sup>1,3</sup> y Humberto Heluane<sup>4</sup>

<sup>1</sup> CONICET

pmjeger@gmail.com

<sup>2</sup> Laboratorio Análisis Clínico, Bacteriológico y Guardia del Hospital Centro de Salud “Zenón J. Santillan”, Tucumán, Argentina

marilyvalverde@hotmail.com.ar

<sup>3</sup> Planta Piloto de Ingeniería Química, PLAPIQUI (UNS – CONICET), Bahía Blanca, Argentina

abandoni@plapiqui.edu.ar

<sup>4</sup> FACET, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina

hheluane@herrera.unt.edu.ar

**Resumen.** En los últimos años se ha observado en Argentina, al igual que en otros países, un aumento sostenido en los costos de la atención de la salud. En nuestro país este incremento está asociado principalmente a los siguientes motivos: las innovaciones biomédicas, farmacéuticas y tecnológicas, y el crecimiento y envejecimiento poblacional. En este contexto, adquiere amplia relevancia la implementación de sistemas de información y la formulación de modelos matemáticos que permitan optimizar los recursos disponibles (materiales, humanos y económicos). Para optimizar los procesos en salud y la calidad de las prestaciones es necesario racionalizar la toma de decisiones relacionadas a los servicios de atención. En este trabajo se presentan y comparan dos modelos de simulación que permiten mejorar la asignación de turnos en laboratorios de análisis clínicos de hospitales públicos.

### 1 Introducción

En los hospitales públicos, los servicios de diagnóstico deben tratar con diferentes tipos de pacientes: pacientes internados, pacientes ambulatorios y pacientes que ingresan por la guardia médica. En el caso de los laboratorios bioquímicos, el número de pacientes atendidos suele ser alto debido a que la mayoría de los diagnósticos requieren conocer los niveles de distintos analitos en sangre y, además, muchos análisis de sangre y de orina son requisitos para que se lleven a cabo distintos estudios, tratamientos e intervenciones quirúrgicas.

En el caso de los pacientes ambulatorios, los diferentes sistemas de atención al público pueden dividirse en dos grandes categorías: sistemas en los cuales los pacientes son atendidos en el día por orden de llegada y sistemas en los cuales los pacientes deben solicitar previamente un turno para ser atendidos. Los primeros tienen cierta ventaja para los pacientes atendidos: el tiempo de espera hasta la obtención de los resultados se reduce notablemente. No obstante, si en un día determinado el número de pacientes que concurre al laboratorio supera la capacidad de trabajo del mismo, los pacientes no atendidos se ven forzados a regresar otro día. Esta consecuencia es altamente indeseada,

debido a que implica para el paciente retornar al hospital generalmente en ayunas y con un nuevo tiempo de espera sin la certeza de ser atendido.

Los sistemas de atención al público por turno en servicios públicos permiten una programación del trabajo más efectiva, ya que, por ejemplo., si el laboratorio sólo atiende a pacientes a los que previamente se les asignó un turno, la cantidad de análisis a realizar diariamente está determinada. El paciente, si bien puede obtener un resultado más tardío, no es sometido a colas y tiempos de espera innecesarios. Una de las principales desventajas de los sistemas por turno se evidencia cuando un paciente falta a un turno ya asignado. Estos casos, conocidos como no-shows, un tiempo no aprovechado en el trabajo del laboratorio, lo cual se traduce en turnos más lejanos para otros pacientes.

En la bibliografía existen antecedentes de autores que estudiaron casos de planificación de servicios en sistemas de salud (1,2,3,4,5,6) pero aparentemente no hay trabajos realizados hasta el momento sobre la asignación de turnos en laboratorios de análisis clínicos. La mayoría de los trabajos que abordan esta problemática se enfocan en una planificación del trabajo diario, mientras que, en los laboratorios bioquímicos, es conveniente estudiar la asignación de turnos en períodos de tiempo más amplios, que es el enfoque presentado en este trabajo. En este trabajo se presentan dos modelos de simulación para la asignación de turnos que considera la urgencia asociada al paciente.

## 2 Descripción del problema

La asignación de turnos a pacientes ambulatorios es una tarea que se realiza sólo en días hábiles (los pacientes de urgencia que concurren al hospital en fines de semana y feriados son atendidos por el laboratorio de guardia). Se utilizará entonces el término “día” para referirse a días hábiles. Una forma de realizar esta tarea es según el orden de llegada: se decide un número fijo de turnos para cada día y a cada paciente se le otorga el turno más cercano disponible. Esta política resulta fácil de implementar. No obstante, este sistema no es apropiado si se tiene en cuenta que pacientes distintos pueden tener urgencias distintas.

El problema de asignación de turnos en el laboratorio bioquímico de un hospital público se puede definir a partir de la siguiente situación: diariamente, un número indefinido de pacientes ambulatorios concurre a la ventanilla del laboratorio para solicitar turno con una orden médica. Se debe asignar un turno a cada paciente de acuerdo al nivel de urgencia del paciente y a la disponibilidad de turnos en la agenda, teniendo en cuenta que no se sabe ni la cantidad de pacientes que solicitarán un turno próximamente ni el nivel de urgencia de los mismos.

A partir de observaciones y datos experimentales tomados del laboratorio de un hospital público, se definen tres grados de urgencia en los pacientes.

1). Pacientes rutinarios: Son pacientes no diagnosticados cuyos análisis no son de urgencia.

2). Pacientes de urgencia médica: Son pacientes ya diagnosticados o bien pacientes cuyos síntomas justifican una fecha de turno más temprana.

3). Pacientes de urgencia máxima: en general, pacientes oncológicos o de alguna otra patología que necesitan tener sus resultados lo antes posible para iniciar un tratamiento en particular.

Se considera que las llegadas de los pacientes que tienen distinta urgencia son independientes entre sí. Los criterios a tener en cuenta para la asignación de turnos deben considerar no sólo lo que es mejor para el paciente en ventanilla sino también lo que es óptimo para los pacientes futuros y para el funcionamiento del laboratorio. Se define una cantidad  $N$  de turnos disponibles por día.

Si bien el Laboratorio Central del Hospital Centro de Salud “Zenón Santillán” que es de Nivel III de complejidad del sistema público de atención de la salud de la ciudad de Tucumán, donde se realizó parte de este trabajo, tiene la capacidad instalada y el personal idóneo para responder a la demanda diaria sin turnos, se desea obtener modelos generalizados de modo que podrían ser utilizado en otros servicios que no tuvieran la capacidad de procesar todos los análisis que llegan en el día.

En este trabajo, se presentarán dos modelos de asignación de turnos y se compararán los resultados del funcionamiento de ambos, mediante una simulación basada en datos reales.

### 3 Formulación de los modelos

En este trabajo se formularon dos modelos con diferentes filosofías para organizar la agenda de pacientes a ser atendido en días futuros en un laboratorio bioquímico.

#### Modelo A

Se determina experimentalmente un vector de probabilidades  $P = (p_1, p_2, p_3)$ , donde  $p_i$  es la probabilidad de que la urgencia de un paciente sea del  $i$ -ésimo nivel, donde debe cumplirse que  $p_1 + p_2 + p_3 = 1$ .

El número de turnos disponibles por día  $N$  se divide en tres grupos de turnos, uno para cada nivel de urgencia:  $N_1$ ,  $N_2$  y  $N_3$ , proporcionales a la probabilidad de ocurrencia de la urgencia correspondiente. Como los números de turnos para todas las urgencias deben ser enteros, se toma la parte entera inferior para las urgencias 1 y 2 y los turnos remanentes se asignan a la urgencia 3. Es decir:

$$N_1 = \lfloor p_1 \cdot N \rfloor \quad (1)$$

$$N_2 = \lfloor p_2 \cdot N \rfloor \quad (2)$$

$$N_3 = N - N_1 - N_2 \quad (3)$$

De esta manera, el turno asignado a todos los pacientes es siempre el primer turno disponible dentro de la lista de espera de la urgencia correspondiente.

### **Modelo B**

Para los pacientes de urgencia máxima, se asigna un turno en el próximo día, sin importar la disponibilidad de la agenda. Para los pacientes de urgencia 1 y 2, se procede de la siguiente forma:

Se enumeran todas las posibles fechas para asignar un turno. La primera fecha disponible es el próximo día, llamado día 1. La última fecha disponible es el primer día a partir del cual ya no hay turnos asignados, llamado día M. Para todas las posibles fechas, se calcula la espera que representa cada una en días. La primera representa una espera de un día y la última representa una espera de M días.

A continuación, se calcula el porcentaje de espera [E %] que representa cada fecha con respecto a la espera máxima. Se calcula además el porcentaje de turnos asignados [T %] en todas las fechas con respecto a la cantidad N de turnos disponibles por día.

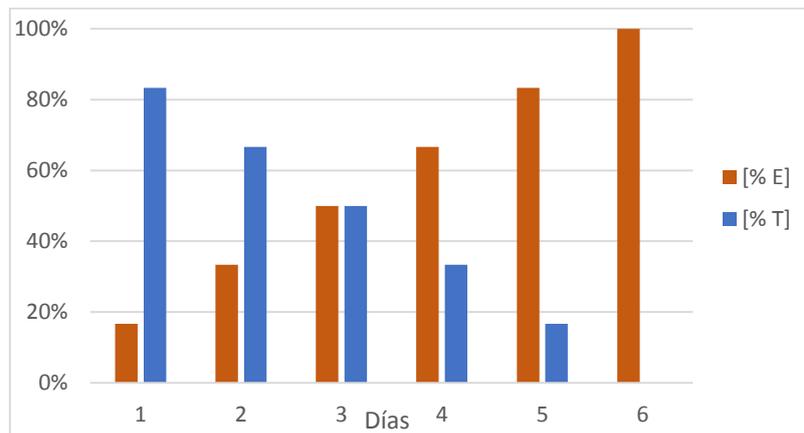
Para todas las posibles fechas se calcula la suma de estos porcentajes, multiplicando el porcentaje de espera por un factor  $w_E$ . Es decir:

$$F = w_E \cdot [\% E] + [\% T] \quad (4)$$

Se debe elegir la fecha cuyo valor de F es mínimo.

En general, un  $w_E$  alto implica que se pretende disminuir la espera del paciente, mientras que un  $w_E$  bajo implica que se pretende asignar un turno más lejano y de esta forma tener una mayor cantidad de turnos cercanos disponibles en el futuro.

Como un ejemplo del procedimiento propuesto, en la Figura 1 se muestra la agenda de turnos previamente asignados donde se muestra la variación de los valores de %E y %T para 6 días consecutivos. Se considera que el número de turnos diarios “ideal” para el laboratorio es N=60.



**Figura 1:** Valores de %E y %T para 6 días consecutivos.

Como puede observarse, para fechas más lejanas, el porcentaje de espera aumenta mientras que el porcentaje de turnos asignados decrece.

En el modelo B, se deben determinar dos valores de  $w_E$ : uno para los pacientes de urgencia 1 ( $w_{E_1}$ ) y otro para los pacientes de urgencia 2 ( $w_{E_2}$ ). Debido a que a los pacientes de urgencia 2 les debería corresponder un turno más próximo, debe cumplirse que  $w_{E_1} < w_{E_2}$ .

Los valores de  $w_{E_1}$  y  $w_{E_2}$  se determinan diariamente mediante una simulación denominada en este trabajo como “calibración” y que se describe a continuación.

### **Calibración**

Se desea determinar un par de valores ( $w_{E_1}, w_{E_2}$ ) que garantice, para los días siguientes, una distribución apropiada de los turnos de los pacientes futuros. Para esto, se realizan distintas simulaciones de las colas de los pacientes en los próximos días. El número de pacientes que concurre a solicitar un turno cada día se obtiene por simulación de Monte Carlo, tomando como función de distribución los valores de cantidad de pacientes de los últimos días. El nivel de urgencia de los pacientes se determina de forma aleatoria, tomando en cuenta que cada urgencia tiene una probabilidad de ocurrencia  $p_i$ . Los turnos se asignan según el modelo B, para distintos pares de valores ( $w_{E_1}, w_{E_2}$ ). Después de asignarse el último turno para el período de tiempo considerado, se evalúa la distribución de turnos de la siguiente forma:

- Se descartan los casos en los cuales las esperas medias de los pacientes de urgencia 1 y 2 superan los correspondientes límites de tolerancia cuyos valores serán establecidos posteriormente en este trabajo.
- Se evalúa, para cada día, el número de turnos asignados por encima o por debajo del valor deseado  $N$ . La función objetivo es el promedio, entre todos los días y todas las simulaciones realizadas, del exceso u holgura de turno asignados.
- Se elige el par de valores ( $w_{E_1}, w_{E_2}$ ) en el cual el valor de la función objetivo es mínimo.

Como es esperable, una distribución perfecta asigna  $N$  turnos a cada día, lo que implica la función objetivo igual a cero.

A continuación, se presenta un ejemplo de una calibración del Método B para una agenda semi-ocupada. El número óptimo de turnos asignados por día es  $N=60$ . La espera media de los pacientes de urgencia 2 no puede ser superior a 5 días (tolerancia para pacientes de urgencia 2), y la espera media de los pacientes de urgencia 1 no puede ser superior a 10 días (tolerancia para pacientes de urgencia 1). Se evaluaron valores de  $w_{E_1}$  y  $w_{E_2}$  entre 0 y 2, tomando un paso de 0.1 con  $w_{E_1} < w_{E_2}$ , de tal forma que el peso del porcentaje de espera pueda ser menor, mayor o igual que el peso del porcentaje de turnos asignados. Se considera que el estado inicial de la agenda de turnos para los siguientes 14 días es la que se detallada en la Tabla 1.

**Tabla 1:** Estado inicial de la agenda de turnos para 14 días.

Días	Turnos Asignados	Días	Turnos Asignados
1	50	8	24
2	46	9	20
3	44	10	16
4	40	11	14
5	36	12	12
6	32	13	8
7	28	14	4

Se tomaron datos empíricos de un laboratorio bioquímico de un hospital público, y según los tiempos de espera de los turnos asignados a todos los pacientes, se estimaron las probabilidades de ocurrencia de cada urgencia de la siguiente forma:  $\frac{1}{2}$  para los pacientes de urgencia 1,  $\frac{1}{3}$  para los pacientes de urgencia 2 y  $\frac{1}{6}$  para los pacientes de urgencia 3.

Para la simulación del número de pacientes que solicitan un turno diariamente por el Método de Montecarlo, se utilizaron datos reales del laboratorio de 20 días consecutivos. Las simulaciones se realizaron utilizando MATLAB (7).

Los pares de valores  $(w_{E_1}, w_{E_2})$  son evaluados frente a 10 simulaciones distintas para evaluar un comportamiento promedio frente a distintos escenarios. En cada una, se evalúa la respuesta del algoritmo durante un período de 10 días consecutivos. Como resultado, se obtuvo que en el par de valores  $w_{E_1} = 0,5$ ;  $w_{E_2} = 1,1$  se minimiza la función objetivo a un valor de 2,87. Esto quiere decir que, ante estas simulaciones, el número de turnos asignados por día difiere de 60 en un promedio de 2,87 turnos. Para esta solución, la espera media de pacientes de urgencia 2 es de 3,1 días, y para los pacientes de urgencia 1 es de 9,8 días. Eso representa una mejor con respecto a las esperas actuales de los pacientes del laboratorio.

#### 4 Simulación de la entrega de turnos

Con el objetivo de comparar el desempeño del modelo A con el modelo B, se evaluó la respuesta de ambos modelos ante simulaciones de pacientes durante un período de 20 días hábiles (equivalente a un mes). Se tomó un intervalo de 20 días debido a que en este tiempo ambos modelos completarán los 14 días de la agenda inicial parcialmente ocupada y demostrarán su comportamiento en días que al inicio de la simulación estaban vacíos.

La simulación fue idéntica a la que se utiliza para la calibración del modelo B: el número de pacientes que solicitan un turno diariamente se obtiene de Simulación de Monte Carlo y la urgencia de cada paciente es aleatoria pero con una probabilidad de

ocurrencia de  $\frac{1}{2}$  para los pacientes de urgencia 1,  $\frac{1}{3}$  para los pacientes de urgencia 2 y  $\frac{1}{6}$  para los pacientes de urgencia 3.

En ambos casos, la agenda inicial de turnos ya asignados fue la presentada anteriormente en la Tabla 2. Para el modelo A, se considera que siempre la asignación de turnos se hace de acuerdo a las probabilidades de ocurrencia de cada urgencia. El modelo B es calibrado todos los días con 5 simulaciones para un rango de 10 días, evaluando los posibles valores de  $(w_{E_1}, w_{E_2})$  entre 0 y 1,7. Se utilizan 5 simulaciones en la calibración para obtener un valor promedio ante distintos escenarios. Un número mayor de simulaciones podría resultar en una calibración lenta y por lo tanto poco adecuada para su implementación. Los resultados de cada una de las 5 simulaciones se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2:** Resultados de las simulaciones para los modelos A y B.

		<b>FO</b> <b>(turnos)</b>	<b>Em1</b> <b>(días)</b>	<b>Em2</b> <b>(días)</b>	<b>Em3</b> <b>(días)</b>	<b>UF</b>
<b>Simulación 1</b>	<b>Modelo A</b>	0	5,04	5,26	7,39	25
	<b>Modelo B</b>	3,85	8,18	2,71	1,00	26
<b>Simulación 2</b>	<b>Modelo A</b>	0	5,49	6,27	4,74	26
	<b>Modelo B</b>	2,85	8,56	3,59	1,00	28
<b>Simulación 3</b>	<b>Modelo A</b>	0	4,10	5,59	3,85	24
	<b>Modelo B</b>	3,15	6,84	3,08	1,00	25
<b>Simulación 4</b>	<b>Modelo A</b>	0	6,14	5,21	4,45	25
	<b>Modelo B</b>	1,6	9,12	3,09	1,00	28
<b>Simulación 5</b>	<b>Modelo A</b>	0	5,38	7,16	5,36	26
	<b>Modelo B</b>	2,7	8,96	3,76	1,00	26

**Referencias de la Tabla 2:** FO: Valor de la Función Objetivo. Em1, Em2 y Em3: Espera media de los pacientes de urgencia 1, 2 y 3 respectivamente. UF: Última fecha a la cual se asignó un turno.

Como el modelo A asigna, para todos los días, exactamente 60 turnos, el valor de la Función Objetivo es 0 en todas las simulaciones. El modelo B asigna a cada día un número de turnos que difiere de 60 en un promedio que varía entre 1,6 y 3,85. En general, la última fecha para la cual el modelo B asignó turnos al cabo de 20 días es más lejana que en el caso del modelo A, si bien la diferencia no es muy amplia (por ejemplo, en la última simulación ambos modelos asignaron turnos para el día 26 y ninguno asignó turnos para el día 27).

Con respecto a las esperas medias, puede observarse que el modelo B respeta los niveles de urgencia de los pacientes. La espera de los pacientes de urgencia 3 es siempre mínima, como se especificó previamente. Además, en todas las simulaciones los pacientes de urgencia 2 esperan menos que los pacientes de urgencia 1. En cambio, en el modelo A puede darse el caso contrario. La espera de los pacientes de urgencia 1 en general es menor que en el modelo B, pero los pacientes de urgencias 2 y 3 suelen esperar más días en el modelo A. Un caso extremo se presenta en la primera simulación:

mientras los pacientes de urgencia máxima esperan sólo un día en el modelo B, su promedio de espera en el modelo A es mayor que 7 días.

Se concluye entonces que las respuestas del modelo B son más apropiadas para un ambiente donde existen distintos niveles de urgencia.

## 5 Simulación de los modelos ante variaciones en la demanda

Se estudia a continuación cómo responderían los modelos A y B planteados anteriormente ante variaciones en las demandas de pacientes.

Se plantea el siguiente caso: los modelos A y B distribuyen turnos considerando que las probabilidades de ocurrencia de cada tipo de paciente es igual al caso anterior. No obstante, durante un período de 10 días, existe un cambio en la demanda de modo que cada tipo de paciente tiene ahora una probabilidad de ocurrencia igual a  $\frac{1}{3}$ . Esto implica que el porcentaje de pacientes de urgencia máxima va a aumentar y el porcentaje de pacientes rutinarios va a disminuir, generando una dificultad adicional para ambos modelos.

La agenda inicial de turnos ya asignados es idéntica a la que se utilizó anteriormente y que se muestra en la Tabla 2. El modelo B es calibrado todos los días con 5 simulaciones para un rango de 10 días. Se realizaron 5 simulaciones, cuyos resultados son presentados en la Tabla 3.

**Tabla 3:** Simulaciones de los modelos A y B ante un cambio de demanda.

		<b>FO</b> <b>(turnos)</b>	<b>Em1</b> <b>(días)</b>	<b>Em2</b> <b>(días)</b>	<b>Em3</b> <b>(días)</b>	<b>UF</b>	<b>MT</b> <b>(turnos)</b>
<b>Simulación 1</b>	<b>Modelo A</b>	0	3,64	5,89	10,38	25	60
	<b>Modelo B</b>	10,6	8,48	3,60	1,00	17	80
<b>Simulación 2</b>	<b>Modelo A</b>	0	2,89	5,79	9,54	23	60
	<b>Modelo B</b>	8,6	8,04	3,37	1,00	16	76
<b>Simulación 3</b>	<b>Modelo A</b>	0	3,35	6,28	9,81	23	60
	<b>Modelo B</b>	8,9	8,71	3,89	1,00	17	74
<b>Simulación 4</b>	<b>Modelo A</b>	0	4,10	5,49	10,68	24	60
	<b>Modelo B</b>	9,3	8,81	3,64	1,00	17	75
<b>Simulación 5</b>	<b>Modelo A</b>	0	2,99	6,37	9,82	23	60
	<b>Modelo B</b>	9,1	8,22	3,42	1,00	16	78

**Referencias de la Tabla 3:** FO: Valor de la Función Objetivo. Em1, Em2 y Em3: Espera media de los pacientes de urgencia 1, 2 y 3 respectivamente. UF: Última fecha a la cual se asignó un turno, MT: máxima cantidad de turnos asignados a una misma fecha.

Como puede observarse, el modelo A respeta los 60 turnos asignados para cada día y la función objetivo se anula en todas las simulaciones. El modelo B asigna un exceso de turnos: los valores de la función objetivo triplican a los obtenidos en las simulaciones anteriores, y en algunos casos se asignan hasta 80 turnos para el mismo día. Por otro lado, la fecha del último turno asignado es siempre más alejada para el modelo A (en la Simulación 2, por ejemplo, el modelo A asigna su turno más lejano para el día 23 y el Modelo B para el día 16).

Con respecto a las esperas de los pacientes, el modelo B respeta su primera regla: a los pacientes de urgencia máxima se les asigna un turno en el próximo día. Para los pacientes de urgencias 1 y 2, las esperas medias no exceden los valores de 9 y 4 días respectivamente, obteniéndose valores similares a los de las simulaciones anteriores. Por el contrario, en el modelo A se genera una inversión de los tiempos de espera media con respecto a lo pretendido en todos los casos. Por ejemplo, en la tercera simulación, los pacientes rutinarios esperan en promedio 3,35 días, mientras que la espera media de los pacientes de urgencia máxima es de 9,81 días.

Se puede concluir que, ante una modificación en la demanda de los pacientes, el modelo B respeta las prioridades entre distintos niveles de urgencia y mantiene los valores de las esperas medias a costa de una mayor cantidad de turnos asignados. El modelo A, en cambio, respeta la cantidad de turnos asignados a cada día pero no cumple con las urgencias de cada tipo de paciente.

## 6 Conclusiones

En el trabajo presentado se estudió el problema de asignación de turnos a pacientes ambulatorios en servicios de diagnósticos en hospitales en el cual se definieron tres tipos de pacientes según sus niveles de urgencia.

Se plantearon dos modelos distintos para la asignación de turnos. El modelo A divide a los pacientes en tres colas paralelas según sus respectivos niveles de urgencia, mientras que el modelo B analiza dos objetivos distintos (la espera del paciente y el nivel de disponibilidad de turnos para cada fecha) y elige la fecha óptima para cada paciente según su nivel de urgencia.

Ambos modelos fueron evaluados frente a simulaciones basadas en datos reales del laboratorio estudiado. Para un período de 20 días, el modelo B logró mejores respuestas en términos de esperas de los pacientes, minimizando las esperas de los pacientes de máxima urgencia y aumentando las esperas de los pacientes rutinarios.

Finalmente, ambos modelos fueron evaluados ante un aumento en la probabilidad de ocurrencia de los pacientes de urgencia máxima. La respuesta del Modelo B fue satisfactoria: se respetaron las urgencias medias de los pacientes según sus correspondientes niveles de urgencia. El modelo A, en cambio, asignó turnos más lejanos e invirtió las prioridades de los pacientes con respecto a los objetivos planteados.

Por lo tanto, se observa en el modelo B un método mejor y más versátil para la asignación de turnos. Se recomienda entonces su desarrollo para su implementación en servicios de diagnóstico.

**AGRADECIMIENTOS:** Los autores desean agradecer la valiosa colaboración recibida por el personal del Laboratorio de Análisis Clínicos del Hospital Centro de Salud “Zenón Santillán” de la ciudad de San Miguel de Tucumán (Argentina) sin la cual este trabajo no podría haberse realizado y al CIUNT que financió este trabajo mediante el subsidio “Herramientas de ingeniería de procesos aplicadas a servicios de salud”.

## Referencias

- 1.- Bekker R. y Koeleman PM. Scheduling admissions and reducing variability in bed demand, *Health Care Manag. Sci.* (2011), 14:237-249.
- 2.- Cayirli T, Veral E. Outpatient scheduling in health care: a review of literature. *Prod. Oper. Manag.* (2003), 12(4):519–49.
- 3.- Bruni ME, Beraldi P, Conforti D. A stochastic programming approach for operating theatre scheduling under uncertainty. *IMA J Manag Math.* Advanced Access published January 12, 2014. <http://dx.doi.org/10.1093/imaman/dpt027>.
- 4.- Kolisch R. y Sickinger S., Providing radiology health care services to stochastic demand of different customer clases, *OR Spectrum* (2008), 30:375–395.
- 5.- Wijewickrama AK. Y Takakuwa S., Designing outpatient appointment systems with patient characteristics: a case study, *Int. J. Healthcare Tech. Manag.* (2012), 13 ( 1/2/3).
- 6.- Samorani M. y LaGanga LR., Outpatient appointment scheduling given individual day-dependent no-show predictions, *Europ. J. Oper. Res.* (2015), 240: 245–257.
7. MATLAB R2009b, The MathWorks, Inc., Natick, Massachusetts, EEUU.