

# Índice de Saturación Modificado y Ambulancias (ISMA): asignación de ambulancias y reservación remota de camas en los Servicios de Urgencias Médicas

Carlos Polanco-González<sup>1\*</sup>, Jorge Alberto Castañón-González<sup>2</sup>, Sebastián Villanueva-Martínez<sup>3</sup>, José Lino Samaniego-Mendoza<sup>2</sup> y Thomas Buhse<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, D.F., México; <sup>2</sup>Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Anáhuac, Huixquilucan, Edo. de México, México; <sup>3</sup>Biología de la Reproducción, Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán. D.F., México; <sup>4</sup>Centro de Investigaciones Químicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Mor., México

## Resumen

**Introducción:** En gran parte del mundo, incluido nuestro país, los Servicios de Urgencias Médicas están sobresaturados. Esta situación obliga con frecuencia a redireccionar hacia otras unidades médicas las ambulancias que arriban de forma continua al Servicio de Urgencias, lo cual retrasa la admisión de los pacientes transportados y repercute desfavorablemente en su evolución. **Objetivo:** Presentar un complemento al sistema computacional Índice de Saturación Modificado (ISM), que monitorea el grado de saturación de una red de Servicios de Urgencias Médicas, para incluir una red de ambulancias, facultando al sistema para la asignación óptima de ambulancias al sitio del accidente o evento clínico grave y la reservación remota de camas en el Servicio de Urgencias más cercano y menos saturado. **Material y métodos:** La evaluación del complemento computacional y su conectividad al sistema ISM se llevaron a cabo con una prueba computacional que verificó estos dos aspectos, y que usó en sus medidas de tiempo únicamente diferencias entre códigos postales. **Resultados:** La verificación de su sostenimiento en tiempo real mostró que el nuevo sistema ISMA es una estructura robusta que se puede trasladar a teléfonos móviles, laptops o tablets y que administra de forma eficiente la medición de la sobredemanda de los Servicios de Urgencias de su red hospitalaria, la asignación de ambulancias y pacientes en las mejores condiciones de distancia-tiempo al sitio del accidente o evento clínico más cercano y menos saturado, y la asignación de las ambulancias que han de acudir al sitio del evento o contingencia. **Conclusiones:** Esta herramienta de gestión administrativa es eficiente y simple de usar, y relaciona de forma óptima redes de servicio independientes.

**PALABRAS CLAVE:** Servicio de Urgencias Médicas. Red de hospitales. Red de ambulancias.

## Abstract

**Introduction:** In most places all over the world –including our country– services in emergency rooms are oversaturated. This situation frequently forces the continuously arriving ambulances to be redirected to other medical units, delaying the admission of patients moved and thus adversely affecting their physical condition. **Objective:** To introduce an improvement to the Índice de Saturación Modificado computational system, which monitors the degree of saturation of a network of emergency

### Correspondencia:

\*Carlos Polanco-González  
Facultad de Ciencias  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Av. Universidad 3000, Circuito Exterior s/n  
Ciudad Universitaria, Coyoacán, C.P. 04510  
México, D.F., México  
E-mail: polanco@unam.mx

Fecha de recepción en versión modificada: 26-05-2014  
Fecha de aceptación: 29-05-2014

medical services, to include a network of ambulances, enabling in the system: (i) the effective allocation of ambulances to the site of the accident, or severe clinical event, and (ii) the remote booking of beds in the nearest and least saturated emergency room available. **Material and Methods:** The evaluation and connectivity of the computational improvement to the Índice de Saturación Modificado system was carried out with a computational test verifying these two aspects, using only differences in postal codes, for time measuring. **Results:** The verification of its sustainability online showed the new Índice de Saturación Modificado y Ambulancias system (ISMA) has a robust structure capable of being adapted to mobile phones, laptops or tablets, and can efficiently administrate: (i) the quantification of excessive demand in the emergency room services of a hospital network, (ii) the allocation of ambulances attending the site of the event or contingency, and (iii) the allocation of ambulances and patients, in the best distance-time conditions, from the site of the accident or clinical event to the nearest and least saturated emergency room service. **Conclusions:** This administrative management tool is efficient and simple to use, and it optimally relates independent service networks. (Gac Med Mex. 2015;151:313-7)

**Corresponding author:** Carlos Polanco González, [polanco@unam.mx](mailto:polanco@unam.mx)

**KEY WORDS:** Emergency room. Network of hospitals. Network of ambulances.

## Introducción

En gran parte del mundo, incluido nuestro país, los Servicios de Urgencias Médicas están sobresaturados. Esta situación obliga con frecuencia a redireccionar hacia otras unidades médicas las ambulancias que arriban de forma continua al Servicio de Urgencias, lo cual retrasa la admisión de los pacientes transportados y repercute desfavorablemente en su evolución. Por estas razones, se considera como un indicador de calidad específico de los Servicios de Urgencias. Un factor que agrava esta sobresaturación<sup>1-3</sup> es el arribo no planeado de ambulancias con pacientes graves o accidentados. Otro fenómeno relacionado con estos eventos es la llegada innecesaria de dos o más ambulancias al sitio del accidente, lo que conlleva que otros traslados programados de pacientes graves no puedan efectuarse a tiempo, o que los servicios de ambulancia no estén disponibles para efectuar otros traslados no planeados o urgentes.

Debido a que un paciente grave, desde el punto de vista clínico, puede estar «estable» o «inestable» (en estado crítico), las ambulancias de traslado deben contar con equipo de alta tecnología y personal médico y/o paramédico entrenado para dar atención prehospitalaria en el sitio del evento (accidente o evento clínico grave) y ofrecer apoyo vital avanzado farmacológico y/o electromecánico durante el traslado.

Si bien no es posible predecir un accidente, con los medios de telecomunicación actuales se puede construir una red que conecte y gestione servicios sobre dos redes computacionales: la red de ambulancias y la red de Servicios de Urgencias Médicas. Este enlace habilitaría la comunicación *in situ* y en tiempo real de

estas redes, mejorando así la asignación de ambulancias e incrementando la posibilidad de que el primer traslado del paciente sea el definitivo y de que éste reciba atención médica de forma oportuna.

Para tal efecto, enlazamos el sistema computacional denominado ISM<sup>4</sup>, que se centra en la medición de la sobresaturación de los Servicios de Urgencias Médicas de una red hospitalaria, con una red de ambulancias. Este nuevo sistema considera la reservación de camas<sup>5</sup> en el Servicio de Urgencias Médicas más cercano al sitio del accidente o evento clínico grave, previa asignación automática de la ambulancia que debe dirigirse al sitio del accidente. Hemos denominado este nuevo sistema ISMA, e, igual que el ISM, se ofrece para su uso de forma gratuita.

El sistema ISMA fundamentalmente es un gestor de servicios entre dos redes computacionales: ambulancias y Servicios de Urgencias Médicas. Aprovecha los algoritmos del sistema ISM en cuanto a disponibilidad de camas útiles y habilita al personal médico y paramédico de la ambulancia asignada para que efectúe una reservación de cama útil en el Servicio de Urgencias más cercano y/o menos saturado desde el sitio mismo del accidente o evento clínico catastrófico; asimismo, administra la asignación de ambulancias para su envío a la zona del evento, de acuerdo con su cercanía geográfica y disponibilidad.

El sistema ISMA es una herramienta que responde en tiempo real y es accesible desde cualquier ordenador, o bien puede adaptarse para ser consultado desde cualquier teléfono móvil, *laptop* o *tablet*. No requiere permisos ni requerimientos especiales de software, ya que sus algoritmos consideran únicamente la diferencia entre los códigos postales correspondientes al sitio del accidente y la ubicación de la ambulancia,

como una medida aproximada para la estimación del tiempo de arribo. Su simplicidad lo hace fácil de entender y proporciona un panorama detallado de las variables de sobredemanda de los Servicios de Urgencias Médicas adscritos, adicionando la asignación de ambulancias para la atención de pacientes graves y la reservación temporal de camas útiles en los Servicios de Urgencias más cercanos. El ISMA pasó satisfactoriamente las pruebas computacionales.

## Material y métodos

El sistema ISMA es un método matemático computacional que incluye las métricas del sistema ISM ya publicado<sup>4</sup>, y que ahora habilita la gestión de información sobre la red de ambulancias.

### Sistema ISMA

#### Asignación de ambulancia

El sistema selecciona, dentro de la red de ambulancias adscritas, la ambulancia disponible y más cercana al sitio del evento, y la asigna para acudir a dicho sitio. Simultáneamente calcula el tiempo aproximado de arribo de la ambulancia desde su localización inicial hasta el sitio del accidente a partir del siguiente algoritmo:

Tiempo de llegada de la ambulancia (en minutos) =  

$$([código postal donde se localiza la ambulancia] - [código postal del sitio del accidente]) \times (750 \times 0.002000)$$
 Donde 750 se considera la distancia promedio (en metros) entre códigos postales y 0.002000 representa el recíproco de la velocidad promedio (30 km/h) de la ambulancia, expresado en metros por minuto.

La asignación de la ambulancia se lleva a cabo en función de su cercanía y disponibilidad, ya que el sistema ISMA evalúa con el algoritmo anterior todas las ambulancias adscritas a la red, para finalmente asignar aquélla con menor tiempo de llegada. Una vez asignada, le solicita su confirmación para dirigirse al sitio del accidente.

#### Reservación en el Servicio de Urgencias

La ambulancia que ha sido asignada al sitio del accidente o evento clínico grave tiene la posibilidad de reservar una cama útil en el Servicio de Urgencias más cercano al sitio del accidente, ya que el sistema

ISMA calcula el tiempo aproximado de arribo de la ambulancia desde el sitio del accidente hasta el Servicio de Urgencias a partir del siguiente algoritmo:

Tiempo de llegada al Servicio de Urgencias (en minutos) =  

$$([código postal del Servicio de Urgencias] - [código postal del sitio del accidente]) \times (750 \times 0.002000)$$

Donde 750 se considera la distancia promedio (en metros) entre códigos postales y 0.002000 representa el recíproco de la velocidad promedio (30 km/h) de la ambulancia, expresado en metros por minuto.

El sistema ISMA evalúa con este algoritmo todos los Servicios de Urgencias adscritos a la red y recomienda aquél con menor tiempo de llegada, al mismo tiempo que solicita la confirmación del Servicio de Urgencias para que acepte o no la reservación de la ambulancia.

#### Sistema ISMA: análisis retrospectivo

El sistema ISMA muestra en tiempo real las variables de sobresaturación del sistema computacional ISM<sup>3</sup> y las siguientes (Tabla 1):

- Accidente o evento clínico grave.
- Ambulancia asignada por el sistema para acudir al sitio del accidente y tiempo aproximado de arribo al Servicio de Urgencias cuya cama útil ha sido «reservada» por los médicos y/o paramédicos de la ambulancia.

Debido a que el sistema ISMA muestra únicamente las últimas variaciones de las variables, todas las modificaciones a estas variables son almacenadas en un archivo «histórico» para permitir en cualquier momento llevar a cabo un análisis retrospectivo por medio de Series de Tiempo. Esto permitirá observar las variaciones en el tiempo por cada unidad hospitalaria.

#### Sistema ISMA: pruebas

La verificación del sistema ISMA fue estrictamente computacional y no incluyó ningún tipo de prueba exhaustiva o de tipo aleatorio. Las pruebas individuales se centraron en dos aspectos:

- La asignación de la ambulancia.
- La reservación de la cama útil en el Servicio de Urgencias.

La naturaleza de los cambios del sistema ISM que derivaron en el sistema ISMA, a juicio de los autores, no requiere otro tipo de pruebas, debido fundamentalmente a que las mejoras son estrictamente

**Tabla 1. Descripción de los campos que el sistema ISMA muestra al usuario inmediatamente después de cada actualización**

n.º	Concepto	Definición
1	Ubicación de la ambulancia	Código postal del sitio donde se localiza la ambulancia
	Sitio del accidente o evento clínico grave	Código postal del sitio del accidente
2	Ambulancia	Identificador de la ambulancia
3	Condición del enfermo grave	Asignación de acuerdo con colores: [R]rojo: inestable [A]amarillo: estable
4	Edad	Edad aproximada del accidentado
5	Género	Masculino o femenino
6	Sitio del accidente (código postal)	Código postal del sitio del accidente

computacionales, y en ese sentido se verificaron, esta observación es discutida más adelante.

### **Sistema ISMA: conectividad**

El sistema ISMA se ha desarrollado para una plataforma de computadora portátil con conexión remota vía puerto 22, protegido contra ataques no humanos (de otras computadoras); sus métricas de tiempo-distancia para la asignación y reservación de ambulancias y Servicios de Urgencias se basan en códigos postales, y el diseño del sistema es de tipo modular-estructurado, de manera que su conversión a teléfonos móviles, *laptops* o *tablets*, con sistema operativo Android OS<sup>6</sup> y localización vía GPS<sup>7</sup>, resulta simple aunque laboriosa.

### **Resultados**

El sistema no presentó ningún error en las pruebas computacionales, que consideraron: tráfico de transacciones entre Servicios de Urgencias, reubicación de sitios de las ambulancias, asignación de ambulancias a accidentes y reservación de camas en los Servicios de Urgencias Médicas desde las ambulancias.

### **Discusión**

Aunque los múltiples y variados factores que condicionan la sobresaturación de los Servicios de Urgencias Médicas tienen su origen en diferentes partes del sector salud, desde el punto de vista médico y administrativo, es útil analizar el problema con un enfoque

funcional desde la perspectiva del propio Servicio de Urgencias Médicas, ya que ello nos ofrece un marco de referencia que permite el entendimiento sistemático de los problemas que enfrentamos. En este sentido, consideramos que el sistema ISMA es un complemento útil debido a que une dos redes fundamentales en la atención de los pacientes graves y/o accidentados: las ambulancias y los Servicios de Urgencias. Su versatilidad permite que el usuario decida, de acuerdo con sus necesidades, utilizar sólo una de ellas; si únicamente utiliza el ISM, podrá medir sólo la sobresaturación de su Servicio de Urgencias Médicas, pero si se adiciona la red de ambulancias, ésta se integra al sistema, que se comportará como un supervisor de las ubicaciones de todas esas unidades. Incluso si se desea utilizar sólo para administrar los accidentes o eventos clínicos graves que ocurren, permitiría, además de su registro, el análisis en tiempo y espacio de los puntos de acumulación u ocurrencia de estos incidentes.

El sistema ISMA es una mejora sobre todo computacional, y en este sentido requirió pruebas *ad hoc*, que verificaron la independencia entre módulos, su intercomunicación, la administración de solicitudes provenientes de las ambulancias (asignación y reservación), el monitoreo desde los distintos Servicios de Urgencias y el registro de los incidentes.

A la planificación de incidentes imponderables (eventos no programados), que son atendidos por los Servicios de Urgencias Médicas, se suma el hecho de trabajar con recursos limitados. De todo ello se desprende la necesidad de generar información local actualizada y compartida que permita ubicar adecuadamente la ocurrencia de eventos críticos

como la saturación del Servicio de Urgencias Médicas y la necesidad de redireccionar ambulancias, para así poder solucionar los problemas gradualmente con aplicaciones genéricas como el ISM y el ISMA que ahora presentamos. El uso de cualquiera de estos dos recursos dependerá de las necesidades de cada Servicio de Urgencias Médicas. Se propicia una aplicación más eficiente de los recursos disponibles en favor de los usuarios, ya que al tener tanto el médico como el administrador una visión «en tiempo real» de la cíclicidad «alterada» de los flujos de pacientes intentarán en lo posible solucionar y prevenir estos eventos, ya sea redireccionando flujos de pacientes, modificando procesos o corrigiendo desviaciones.

Con el ISMA presentamos una solución administrativa que trata de prevenir o en su defecto atenuar la problemática de redireccionar ambulancias por medio de un programa que permite su asignación y de forma simultánea reservar una cama en el Servicio de Urgencias Médicas del hospital más acorde con su cercanía y grado de saturación.

## Conclusiones

La adición del servicio de ambulancias al sistema computacional ISM, denominada ISMA, es un accesorio útil que coadyuva en la organización y administración del Servicio de Urgencias Médicas, al permitir al médico anticiparse a la demanda de servicio por traslados programados y no programados (urgentes), al asignar las ambulancias en las mejores condiciones de distancia-tiempo al sitio del accidente o evento clínico grave y al permitir al mismo tiempo reservar una cama útil en los Servicios de Urgencias, reduciendo

con ello los tiempo de traslado y la posibilidad de redireccionar la ambulancia por la sobresaturación del servicio.

## Disponibilidad

El sistema ISMA puede usarse sin costo alguno, solicitándolo a la dirección de correo electrónico polanco@unam.mx, para su uso en computadoras personales.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a Concepción Celis Juárez la revisión de este manuscrito, al Instituto de Ciencias Nucleares de la Universidad Nacional Autónoma de México su asistencia técnica y el apoyo financiero del proyecto bilateral México-Francia CONACYT (188689)-ANR (12-IS07-0006).

## Bibliografía

1. Trzeciak S, Rivers EP. Emergency department overcrowding in the United States: an emerging threat to patient safety and public health. *Emerg Med J*. 2003;20(5):402-5.
2. Moskowitz JC, Sklar DP, Geiderman JM, Schears RM, Bookman KJ. Emergency department crowding, part 2-barriers to reform and strategies to overcome them. *Ann Emerg Med*. 2009;53(5):612-7.
3. Derlet RW, Richards JR. Overcrowding in the nation's emergency departments: complex causes and disturbing effects. *Ann Emerg Med*. 2000;35(1):63-8.
4. Polanco-González C, Castañón-González JA, Buhse T, Samaniego-Mendoza JL, Arreguín-Nava R, Villanueva-Martínez S. [Modified overcrowd index in emergency room]. *Gac Med Mex*. 2013;149(4):417-24.
5. Piccotti E, Magnani M, Tubino B, Sartini M, Di Pietro P. Assessment of the triage system in a pediatric emergency department. A pilot study on critical codes. *J Prev Med Hyg*. 2008;49(3):120-3.
6. Doukas C, Plíakas T, Maglogiannis I. Mobile healthcare information management utilizing Cloud Computing and Android OS. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*. 2010;2010:1037-40.
7. El-shakhs S. Development, primacy, and systems of cities. *J Dev Areas*. 1972;7(1):11-35.