



Estudio de sistemas de emergencias pre-hospitalarias empleando sistemas de información geográficos

Florencia Mosconi¹; Diógenes Dombald²; Nebel Moscoso³; Alberto Bandoni⁴; Aníbal Blanco⁵; Susana Moreno⁶

Recibido: 24 de junio del 2021 / Enviado a evaluar: 6 de julio del 2021 / Aceptado: 9 de diciembre del 2022

Resumen. Este trabajo propone el estudio de sistemas de emergencias pre-hospitalarias empleando las herramientas brindadas por los sistemas de información geográfica. Se analiza la situación actual del sistema y se proponen diversos escenarios de relocalización de las bases de ambulancias existentes y de inclusión de una nueva unidad. En todos los casos el criterio de desempeño adoptado es la cobertura territorial para un cierto tiempo de respuesta al primer llamado. Como caso de estudio se empleó el sistema de emergencias de la ciudad de Bahía Blanca, una ciudad mediana en la provincia de Buenos Aires, Argentina. Se emplearon los datos registrados en la base de datos del servicio, correspondientes a un año de operación. Los estudios muestran que la relocalización de las bases/ambulancias permiten mejorar el criterio de desempeño a costa de reducir la robustez frente a un segundo y tercer llamado de emergencia en las zonas de alta demanda.

Palabras clave: Atención pre-hospitalaria; sistemas de información geográfica; localización óptima.

[en] Study of pre-hospital emergency systems using geographic information systems

Abstract. This work proposes the study of pre-hospital emergency systems using the tools provided by geographic information systems. The current situation of the system is analyzed and several scenarios for relocating the existing ambulance stations and the inclusion of a new one are proposed. In all cases, the

¹ Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales del Sur. Centro Científico Tecnológico Bahía Blanca-CONICET (Argentina).

² Laboratorio ENA, Bahía Blanca (Argentina).

³ Departamento de Economía. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca (Argentina).

E-mail: nmoscoso@criba.edu.ar

⁴ Planta Piloto Ingeniería Química, Centro Científico Tecnológico PLAPIQUI-CONICET (Argentina).

E-mail: abandoni@plapiqui.edu.ar

⁵ Planta Piloto Ingeniería Química, Centro Científico Tecnológico PLAPIQUI-CONICET (Argentina).

E-mail: ablanco@plapiqui.edu.ar

⁶ Planta Piloto Ingeniería Química, Centro Científico Tecnológico PLAPIQUI-CONICET (Argentina).

E-mail: smoreno@plapiqui.edu.ar

adopted performance criterion is the area of coverage for a certain response time to the first call. The emergency system of the Bahía Blanca city, a medium-sized city in the province of Buenos Aires, Argentina, was used as a case study. The data registered in the service database, corresponding to one year of operation, were used. Results show that relocating the ambulance stations/vehicles allows improving the performance criterion at the cost of reducing the system robustness in the face of a second and third emergency call in high-demand areas.

Keywords: Pre-hospital care; geographical information system; optimal location.

[fr] Étude des systèmes d'urgence pré-hospitaliers à l'aide de systèmes d'information géographique

Résumé. Ce travail propose l'étude des systèmes d'urgence pré-hospitaliers à l'aide des outils fournis par les systèmes d'information géographique. La situation actuelle du système est analysée et divers scénarios sont proposés pour la relocalisation des bases d'ambulances existantes et l'inclusion d'une nouvelle unité. Dans tous les cas, le critère de performance retenu est une couverture territoriale pour un certain temps de réponse au premier appel. Comme étude de cas, le système d'urgence de la ville de Bahía Blanca, une ville de taille moyenne dans la province de Buenos Aires, en Argentine, a été utilisé. Les données enregistrées dans la base de données du service, correspondant à une année de fonctionnement, ont été utilisées. Des études montrent que la relocalisation des bases/ambulances permet d'améliorer les critères de performance au prix d'une réduction de la robustesse face à un deuxième et troisième appel d'urgence dans les zones à forte demande.

Mots-clés: Soins préhospitaliers; systèmes d'information géographique; emplacement optimal.

Cómo citar. Mosconi, F., Dombald, D., Moscoso, N., Bandoni, A., Blanco, A., Moreno, S. (2022). Estudio de sistemas de emergencias pre-hospitalarias empleando sistemas de información geográficos. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 42(2), 445-461.

Sumario. 1. Introducción. 2. Metodología. 3. Resultados y discusión. 3.1. Caracterizar el servicio de emergencia pre-hospitalaria. 3.2. Descripción y análisis de la actual localización de las bases. 3.3. Análisis de posibles escenarios de localización de bases/ambulancias. 4. Conclusiones. 5. Referencias bibliográficas.

1. Introducción

Los Servicios de Emergencia Pre-Hospitalaria (SEPH) funcionan como un proceso de atención que inicia con un llamado telefónico, continúa con el envío del vehículo con personal de salud, el cual decidirá si corresponde el traslado del paciente a un centro de salud. Si correspondiese, dicho traslado tiene la función de estabilizar al paciente hasta ser entregado en el centro de salud con su historia clínica. Luego, se liberan los recursos para que puedan atender una nueva emergencia.

Por diferentes motivos los SEPH se han visto más demandados en las últimas décadas. Entre las causas principales se observa una mayor ocurrencia de eventos cardiovasculares y de lesiones en la vía pública debido a accidentes de tránsito. Este tipo de incidentes requiere una atención oportuna, la cual está asociada al tiempo de respuesta al llamado, el cual se define como el período entre la recepción del llamado y la llegada de una ambulancia al lugar del suceso.

Para Rodríguez Díaz (2014) el tiempo de acceso -o demora- a un servicio de salud es una de las medidas de desempeño de los sistemas de salud. En particular, el tiempo de respuesta de un SEPH a una urgencia y/o emergencia depende de: la capacidad técnica del operador telefónico, el tránsito, el estado de los caminos/calles, la frecuencia de los llamados (según el día de la semana, la hora del día y/o la época del año), la cantidad y calidad de los vehículos disponibles y la ubicación de las bases de ambulancias.

Si alguna de estas variables se modificara en el tiempo, para mantener los tiempos de respuesta en valores aceptables, puede resultar necesario cambiar el lugar donde se encuentran los vehículos a la espera de una llamada de emergencia. En la literatura, esto se conoce como problema de relocalización de bases de ambulancias (Rodríguez Quintero et al., 2016) y tiene por objetivo lograr la localización óptima entendida como la posición de un punto en un plano, de tal forma que la suma de las distancias entre dicho punto y otros, sea mínima.

El problema de localización de bases de ambulancias es un caso especial del problema de locación de servicios públicos. Si bien la localización de servicios públicos se puede abordar desde distintas perspectivas, la localización geográfica es la que habitualmente se analiza. En particular, adquiere especial relevancia la localización de los servicios públicos de atención de la salud en la medida que deben procurar garantizar la accesibilidad territorial a los usuarios (Rodríguez Sánchez et al., 2016). Este proceso puede ser asistido mediante los modernos Sistemas de Información Geográfica (SIG), que son herramientas informáticas que permiten organizar, modelar y analizar datos vinculados a una referencia espacial y que, además, incorporan entre sus múltiples herramientas modelos de localización-asignación óptima.

Diferentes autores han utilizado estas herramientas para identificar los sitios más adecuados para instalar servicios de salud en función de la demanda, minimizando la distancia que se debe recorrer para poder alcanzarlos (Ramírez, 2012; Fuenzalida Díaz & Moreno Jiménez, 2010; Ramírez & Bosque Sendra, 2001). En particular, dado que la calidad de los servicios de emergencia se relaciona directamente con el tiempo de respuesta, la localización óptima debería garantizar el principio de equidad espacial, el cual se refiere a la configuración geográfica que asegure a todos los usuarios las mismas condiciones de acceso a los servicios de salud.

En el municipio objeto de estudio en este trabajo (Municipio de Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina), el servicio de emergencia público es provisto por el Sistema Integrado de Emergencias Pre-hospitalarias (SIEmPre), el cual recibe el aviso de llamados de emergencias médicas al número telefónico 107 y las derivaciones del servicio 911 que necesiten de atención pre-hospitalaria en la ciudad principal, en dos localidades más pequeñas y en las rutas aledañas. Al momento de la recolección de los datos el sistema posee 5 ambulancias con bases ubicadas en distintos puntos que se encuentran equipadas para todo tipo de emergencias y cuentan con personal en turnos rotativos que atienden urgencias, emergencias y traslados entre hospitales. Un estudio preliminar de este sistema ha sido presentado en Bandoni, A. (2019).

El objetivo principal de este trabajo estudiar, con el auxilio de SIG, la localización actual de las bases de ambulancia existentes y analizar posibles escenarios de relocalización que permitan reducir los tiempos de respuesta del sistema. Para alcanzar este objetivo se propone: i) caracterizar el servicio de emergencia pre-hospitalaria, ii) describir y analizar la localización actual de las bases y iii) analizar posibles escenarios de localización óptima de las bases para diferentes tiempos de respuesta.

2. Metodología

La información analizada fue proporcionada por el SEPH a través de su base de datos y consistió en los registros de salidas de las ambulancias entre los meses de abril de 2017 y mayo de 2018 inclusive, consistente en 15.095 historias clínicas, una por cada llamada al servicio. De estos datos se excluyeron 1.380 historias clínicas que, por distintas razones, no poseían la dirección de la emergencia.

Se ubicaron en el mapa del municipio los puntos geográficos donde ocurrieron las emergencias. La geolocalización se realizó a través del geocodificador gratuito, disponible online, *GPSVisualizer* mediante el cálculo y asignación de proyección geográfica (latitud / longitud) a cada uno de los datos espaciales. Las direcciones que no podían ser localizadas se geolocalizaron en *Google Maps* manual e individualmente. Las llamadas ocurridas en la ruta se localizaron manualmente.

Las coordenadas se ingresaron en dos Sistemas de Información Geográfica (SIG): i) *Quantum Gis* (QGIS) de código libre versión desktop 3.2.2 descargado en forma gratuita desde su página oficial, y ii) *ARCGIS* online y desktop 10.5, un software con licencia al que se accedió con una prueba gratuita online que ofrece el programa. Ambos permitieron analizar la demanda del servicio a través de diferentes tipos de mapas, de puntos y calor.

Para describir y analizar la localización actual, se georreferenciaron en ambos SIG *QGIS* las cuatro bases del municipio y las zonas que cada una de ellas debe cubrir según disposiciones de las autoridades sanitarias. Las bases se representaron en forma de puntos y las zonas abarcadas por cada base por polígonos.

Se analizó mediante las herramientas de *QGIS* la influencia de las bases actuales (zonas geográficas que el servicio puede cubrir en determinadas distancias o tiempos de recorrido) de dos maneras diferentes, a saber:

1. Distancias en línea recta: conocido técnicamente como distancia euclidiana en la cual *QGIS* crea buffers (zonas de influencia espacial alrededor de un punto) en donde cada base es el centro de una circunferencia y la periferia de este círculo es la influencia máxima de dicha base. Para esto se debe asignar la distancia deseada y el punto donde se encuentra cada base.

2. Distancias en base a tiempos de respuesta: a partir de herramientas proporcionadas por los SIG, se crearon distintos escenarios asignando tiempos de respuesta a la emergencia de 8 minutos, 9 minutos, 10 minutos, y así sucesivamente para poder ver el área de influencia de cada base y observar en cuantos minutos se

logra abarcar la totalidad de la zona de cobertura. Se utilizaron ambos softwares y ambas funciones indistintamente:

- El software *ARCGIS* online posee una herramienta denominada “crear áreas de tiempo recorrido”. La misma calcula áreas de cobertura que un vehículo puede recorrer desde un punto en todas las direcciones posibles en un tiempo estipulado. La distancia es medida en forma real, en viaje en automóvil (puede también elegirse recorridos a pie o en camión) tomando las direcciones y sentidos reales de las calles, no distancia en línea recta. Además, tiene la opción de sumarle tráfico vehicular.
- El SIG *QGIS* también posee una función de creación de áreas de tiempo de recorrido a través de la instalación de la extensión (plugin) *LocationLab: Catchmen*. La misma utiliza una API key (Interfaz de programación de aplicaciones) de HERE, un desarrollador gratuito que permite el acceso a mapas globales, para calcular recorridos óptimos por rutas y calles existentes.

Para plantear los posibles escenarios de relocalización se analizaron un número de ubicaciones posibles donde situar bases de ambulancias teniendo en cuenta las siguientes restricciones:

- Que se trate de propiedades pertenecientes al municipio (por ejemplo, delegaciones), sociedades de fomento de barrios, instituciones del sistema de salud;
- Que sean sitios que posean fácil acceso vial
- Que posean espacio adecuado para el guardado de la ambulancia y para el descanso del personal

Una vez identificadas las posibles ubicaciones, se utilizó la herramienta *Network Analyst de ArcMap 10.5* (*ARCGIS*) para la búsqueda de localizaciones óptimas. La misma es un algoritmo para el problema de ubicación de instalaciones que, a partir de *N* instalaciones candidatas y *M* puntos de demanda, elige un subconjunto de instalaciones *P*, tal que se minimice la suma de las distancias ponderadas desde cada punto de demanda a cada instalación *P*. Se realizaron pruebas con dicha herramienta para todos los meses analizados considerando la relocalización de 5 ambulancias. Además, se analiza la localización de una sexta ambulancia que se suma a las 5 existentes en el municipio y, finalmente, se relocalizan el total de 6 ambulancias.

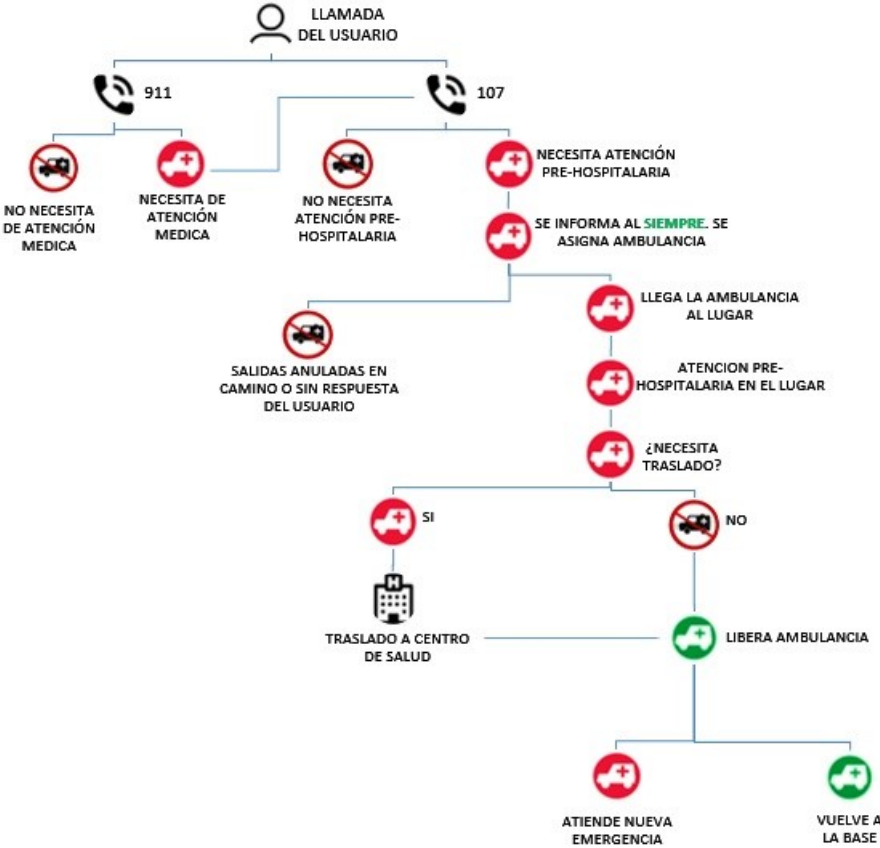
Una vez obtenidas las posibles combinaciones de escenarios que *ArcMap* (*ARCGIS*) propuso, las mismas se probaron en la herramienta de *QGIS Location Lab* mencionada previamente, para determinar el área de influencia de las nuevas instalaciones en base a diferentes tiempos de demora (8 minutos, 10 minutos, 12 minutos y 14 minutos). A las áreas obtenidas se le superponen los puntos de demanda de la base de datos analizada. De esta manera, es posible observar la cantidad de llamados que abarca cada base y calcular los porcentajes de demanda cubierta.

3. Resultados y discusión

3.1. Caracterizar el servicio de emergencia pre-hospitalaria

El proceso de atención del SEPH del municipio objeto de estudio es similar la mayoría de los que se pueden encontrar descriptos en la literatura. El proceso se inicia con el llamado de un usuario al número telefónico 107 o 911. Este último recibe llamadas de todo tipo de emergencias, pero aquellas que se correspondan con la necesidad de un servicio de salud son trasladadas al 107. Si la emergencia necesita la atención pre hospitalaria, el operador se comunica con el SEPH donde se asigna una ambulancia que concurre al lugar del hecho.

Figura 1. Descripción del proceso de gestión de atención de emergencias.



Fuente: Elaboración propia.

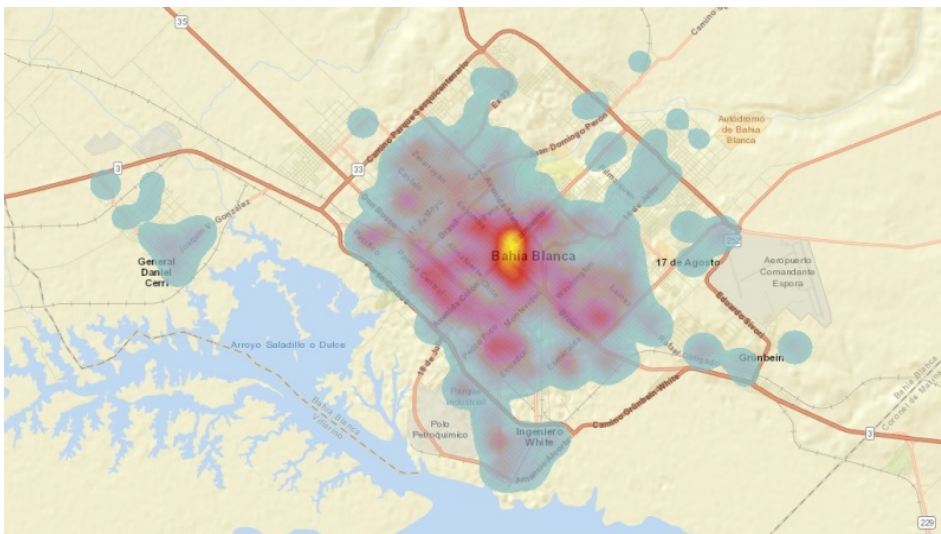
Luego de la atención pre-hospitalaria en el lugar, y si fuera necesario el traslado del paciente a un centro de salud, la ambulancia lo llevará y luego de entregar al paciente estará lista para una nueva emergencia o volverá a su base. En caso de que el paciente no requiera hospitalización, la ambulancia se libera luego de la atención en el lugar del hecho. En ocasiones puede suceder que cuando la ambulancia se encuentra en camino, la emergencia sea anulada o al llegar al lugar no se encuentre el usuario. La Figura 1 presenta el esquema del proceso.

El tiempo del proceso de atención del servicio pre-hospitalario está compuesto por cuatro etapas:

- Etapa 1: el tiempo que transcurre entre la recepción de la llamada y el momento en que el receptor (107) delega la atención al SEPH.
- Etapa 2: el tiempo que el SEPH demora en llegar al lugar del incidente.
- Etapa 3: el tiempo de atención en el sitio de ocurrencia.
- Etapa 4: en caso que se requiera traslado a centro de salud, el tiempo que transcurre desde que inicia el traslado hasta que es recibido en un hospital.

Esta investigación se propone analizar si la relocalización de las actuales bases/ambulancias puede reducir el tiempo de la segunda etapa. El SEPH bajo estudio realiza entre 40 y 50 salidas por día, las cuales se dividen en emergencias de usuarios directos, donde el sistema debe concurrir al lugar del hecho para prestar su servicio (representan aproximadamente el 60% del total), y emergencias inter-hospitalarias, en las cuales el servicio es solicitado para trasladar un paciente desde un centro de salud a otro (representan el 40% restante).

Figura 2. Localización geográfica de la demanda del servicio en mapa de calor (abril 2017).



Fuente: Elaboración propia en base a las Historias Clínicas de SIEmPre.

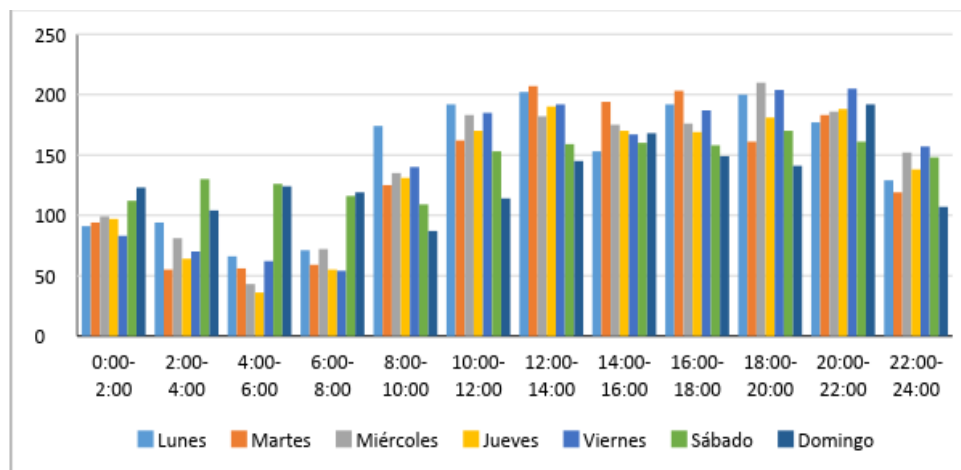
Las salidas se representaron en mapas de calor mediante gráficos de colores que muestran la información según la densidad de las áreas. Se utiliza la representación de una termografía, con colores cálidos (amarillo y rojo) para mostrar las zonas o focos con mayor demanda del servicio, frente a una gama de colores fríos (celeste, violeta) que señalan zonas con menor ocurrencia de eventos. A modo de ejemplo, en la Figura 2 se expone la localización de los llamados del mes de abril de 2017.

Para todos los meses analizados, se observó que prevalece un patrón de demanda como el de la Figura 2, siendo el centro de la ciudad la zona de mayor densidad y en menor medida la zona sur. Por esta razón fue posible avanzar en un estudio de la relocalización de bases/ ambulancias independientemente de los meses del año. Si se hubiera detectado alguna variación estacional de los focos de demanda, la localización de las mismas debería contemplar ubicaciones geográficas diferentes dependiendo del mes.

La distribución de los eventos a lo largo del día refleja que hay una mayor frecuencia en las horas del mediodía y la tarde de lunes a viernes, lo cual puede asociarse inicialmente a las horas de mayor actividad laboral. Por otro lado, los fines de semana presentan una distribución mayor de la demanda en los horarios de madrugada, lo que se correlaciona naturalmente con la actividad nocturna asociada, en principio, al esparcimiento.

Una inspección del despacho de ambulancias a lo largo de los días de la semana revela una distribución uniforme, es decir, no hay un día de la semana en el cual se concentre un mayor número de incidentes. Como se mencionó anteriormente, la demanda en los días sábados y domingos se presenta en una franja horaria distinta a la de los demás días, o sea, menor cantidad de casos en las horas de la tarde y más en las de la madrugada, compensando la cantidad de demanda de los demás días (ver Figura 3).

Figura 3. Distribución horaria y temporal de los despachos.

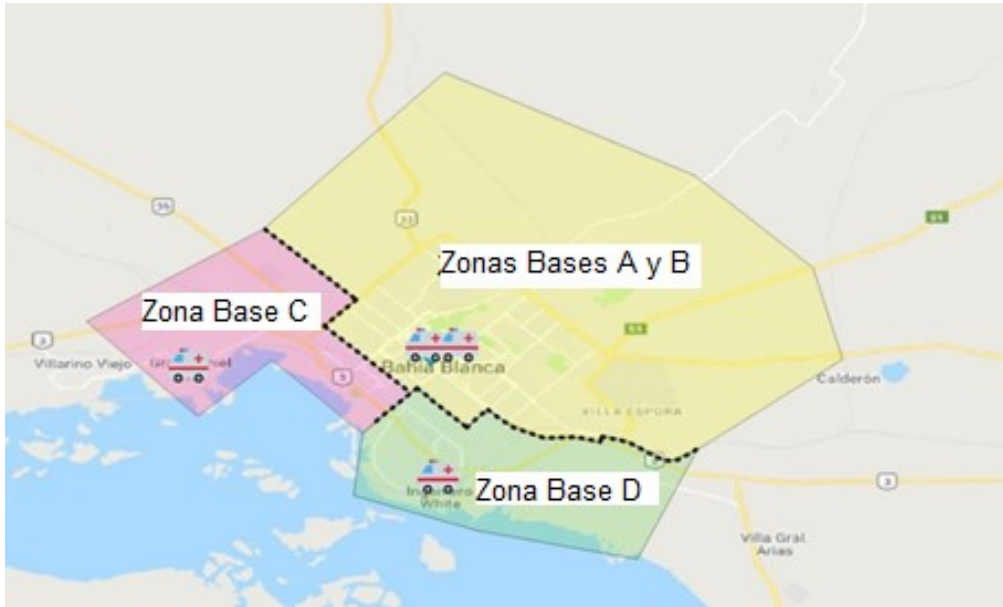


Fuente: Elaboración propia en base a las historias clínicas de SIEMPre.

3.2. Descripción y análisis de la actual localización de las bases

El sistema posee 4 bases de ambulancia ubicadas en distintos puntos del municipio de Bahía Blanca. Cada base cuenta con al menos una ambulancia y tiene una zona establecida a cubrir. La localización y la zona de alcance de cada una de las bases es definida por las autoridades del servicio. La disposición actual, que rige desde abril de 2018, se muestra en la Figura 4. Cabe señalar que las bases A y B están ubicadas en la zona céntrica de la ciudad y se encuentran muy próximas entre sí. Las bases A, C y D cuentan con una única ambulancia, mientras que la base B posee 2 vehículos.

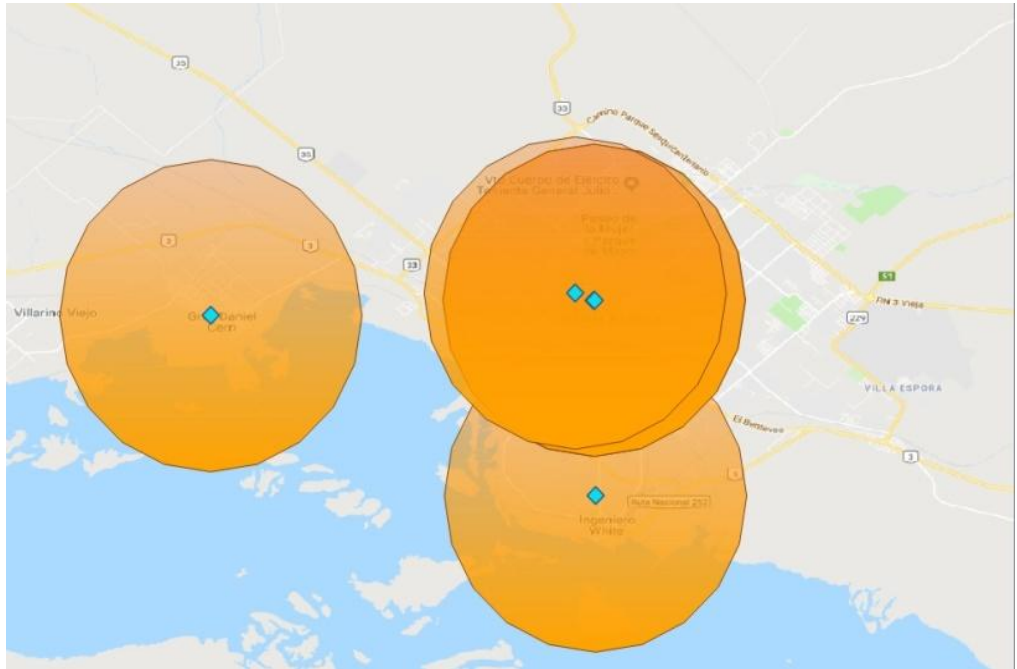
Figura 4. Localización actual de las bases.



Fuente: Elaboración propia.

Con QGIS se realizaron *buffers*, herramienta que traza círculos de radio definido alrededor de un punto dado. En este caso, para cada base de ambulancia se estableció un radio de 5.500 metros a la redonda. Esta distancia fue calculada empleando la velocidad promedio que desarrolla una ambulancia y un tiempo de respuesta que se desea investigar. Se supuso que el promedio mínimo de velocidad de la ambulancia es de 30 km/hora (Villegas et al., 2012; Polanco González et al., 2015) y los tiempos de respuesta estimados son en promedio de 11 minutos. Bajo estos supuestos de velocidad y tiempo, se recorre la distancia utilizada para el análisis. En la Figura 5 se observa que las bases A y B tienen zonas de influencia superpuestas dado que se hallan muy próximas, abarcando las zonas con mayor densidad de la demanda.

Figura 5. Buffers zona de influencia de las bases actuales

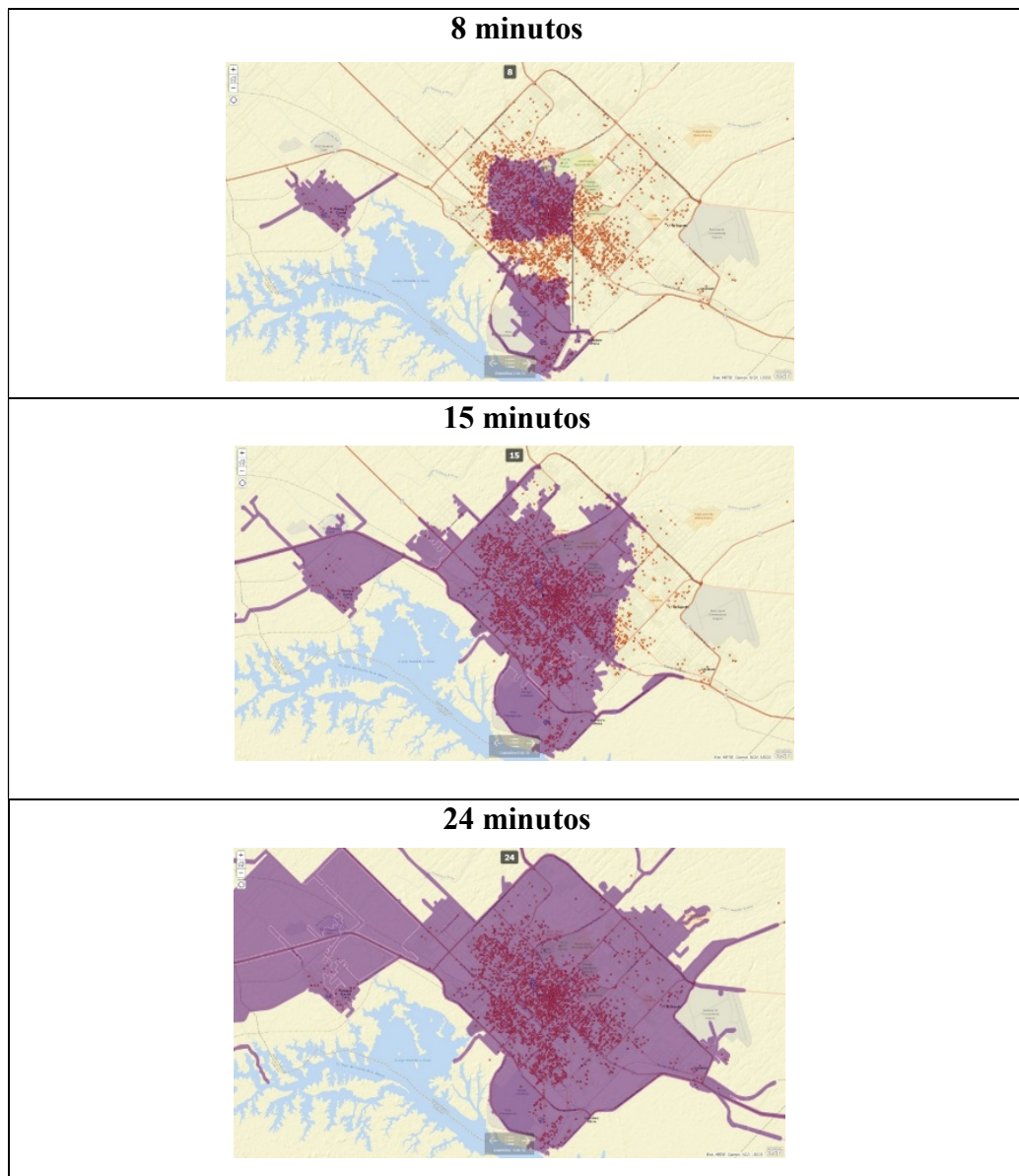


Fuente: Elaboración propia.

Para complementar el estudio de *buffers* anterior, se utilizó la herramienta de *ARCGIS online* para crear “áreas de tiempo recorrido” con el fin de identificar la zona de influencia de las bases actuales teniendo en cuenta los caminos, rutas y sentidos de calles. La herramienta permite elegir tiempos de viaje, para los cuales el SIG mostrará las zonas que alcanzará a recorrer un vehículo en ese tiempo desde su punto de partida en todas las direcciones posibles.

En la Figura 6 se puede observar la zona alcanzada en color violeta para 3 tiempos de viaje diferentes de manera que se vaya extendiendo la cobertura hasta cubrir toda la zona de influencia de las bases actuales. Se verá que con la disposición actual de las bases/ambulancias hacen falta 24 minutos para poder cubrir todos los puntos de la ciudad. Los puntos naranjas son las coordenadas de llamadas a lo largo de 2017 a modo de ilustrar la ubicación de demanda que se logra cubrir.

Figura 6. Áreas de influencia de las bases actuales con distancia real y tiempos de traslado para 8, 15 y 24 minutos.

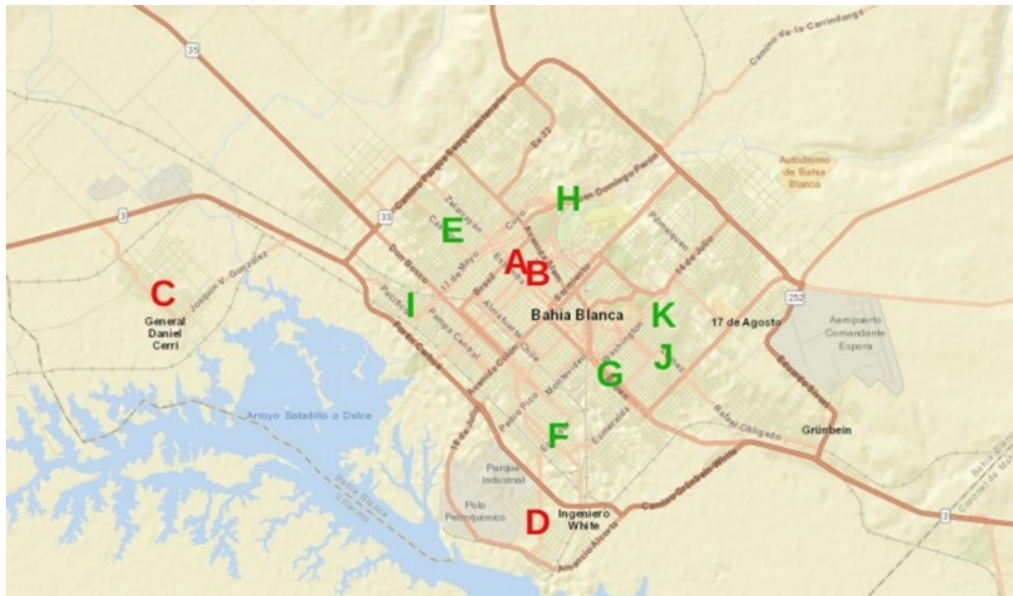


Fuente: Elaboración propia.

3.3. Análisis de posibles escenarios de localización de bases/ambulancias

Los potenciales escenarios de localización fueron evaluados empleando las herramientas de localización óptima de los sistemas de información geográfica. Se propuso al SIG las posibles localizaciones de bases de ambulancias, que incluyen, además de las localizaciones de las bases actuales, las nuevas ubicaciones sugeridas por autoridades del servicio. Las mismas se detallan en la Figura 7 empleando una letra roja para las bases existentes (A, B, C y D) y verde para las posibles nuevas localizaciones (E-K).

Figura 7. Bases propuestas al SIG para la elección de escenarios de localización óptima



Fuente: Elaboración propia.

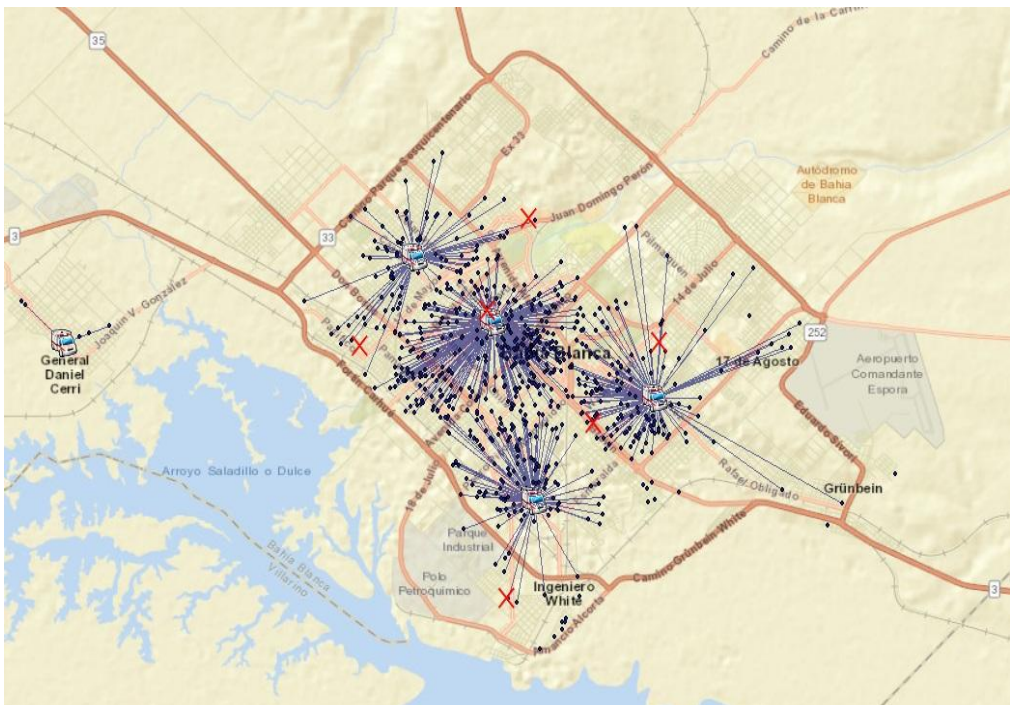
Utilizando la herramienta de búsqueda de localización óptima de ArcGIS 10.5 se generaron 4 posibles escenarios de relocalización maximizando la cobertura a 5.500 metros de recorrido, distancia elegida por los mismos motivos expresados al introducir el análisis en base a distancia euclídea.

Con fines comparativos recordamos el Escenario Actual posee 5 ambulancias en 4 bases: A, B (con dos ambulancias), C y D.

El Escenario 1 consistió en permitir que el GIS pueda elegir entre todas las bases propuestas, independientemente que sean las actuales, las alternativas o una combinación de ambas, para localizar las 5 ambulancias disponibles. La prueba de relocalización se realizó para cada uno de los meses de manera independiente. Se obtuvo que las mejores ubicaciones serían las bases B, C, E, J y F, manteniendo solo dos de las bases actuales (B y C). En la Figura 8 se expone el Escenario 1 con los

puntos de demanda correspondientes al mes de enero de 2018. Las ambulancias representan las localizaciones de bases elegidas, las cruces representan las restantes bases candidatas (que no son escogidas), mientras que las líneas representan las uniones hacia los puntos de demanda (localización de las historias clínicas) desde las bases óptimas.

Figura 8. Elección de localización óptima en el Escenario 1 (enero 2018)



Fuente: Elaboración propia en base a la herramienta *Network analyst, ArcMap desktop*.

El Escenario 2 asume la posibilidad de ubicar un total de 6 ambulancias (sumando un vehículo a los 5 existentes en el municipio) en cualquiera de las ubicaciones propuestas en la Figura N°7. En este caso, las localizaciones óptimas seleccionadas por el GIS son: B, C, G, E, F y K.

Para el Escenario 3 se propuso agregar una sexta ambulancia al Escenario Actual seleccionándose a J como localización óptima para una 6ta base.

Por último, el Escenario 4 propone incorporar una nueva ambulancia/base al Escenario 1, esto es, al escenario resultante de relocalizar las 5 ambulancias disponibles. En este caso el optimizador recomienda emplazar en la posición G la nueva base/ambulancia.

En la Tabla N°1 se comparan los cuatro escenarios en base a los porcentajes de cobertura de la demanda para diferentes tiempos de respuesta y la distribución de demanda del año 2017. En la Figura 9 se presenta gráficamente las opciones bases/ambulancias estudiadas, con los porcentajes de cobertura correspondientes a un tiempo de respuesta de 8 minutos.

Tabla N°1. Cobertura de la demanda de los posibles escenarios para diferentes tiempos de respuesta del servicio (con datos del año 2017)

ESCENARIO	BASES	N° DE AMBULANCIAS	8 [min]	10 [min]	12 [min]	14 [min]
Actual	A-B-C-D	5	48%	10%	82%	89%
1	B-C-E-F-J	5	79%	95%	98%	99%
2	B-C-E-F-G-K	6	84%	95%	98%	99%
3	Actual + J	6	64%	87%	96%	99%
4	Escenario 1 + G	6	83%	95%	98%	99%

Fuente: Elaboración propia.

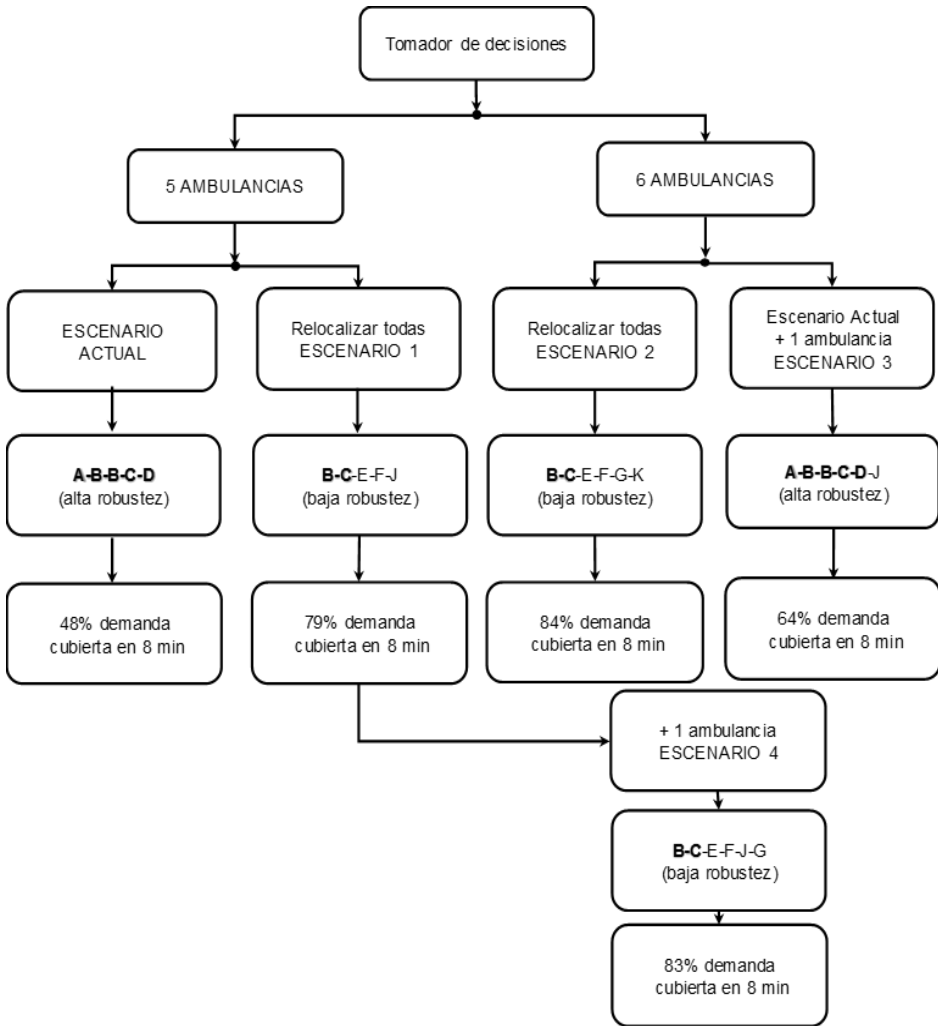
Si se compara el Escenario Actual con el Escenario 1, el cual involucra la relocalización de 3 de las 5 ambulancias, se observa un incremento en el porcentaje de cobertura del servicio del 64,5% para tiempo de respuesta de 8 min.

Si se desearan mantener las bases actuales con 5 vehículos y agregar una nueva base para localizar una sexta ambulancia (Escenario 3), la cobertura se incrementaría en un 33,3%, siempre considerando un tiempo de demora de 8 min. Esta opción resulta en un incremento del porcentaje de cobertura inferior a la del Escenario 1.

Por último, si se relocalizan las 6 ambulancias (Escenarios 2 y 4), el aumento de los porcentajes de cobertura para 8 min de respuesta sería del 75 y 72,9% respectivamente con respecto al Escenario Actual, mientras que en comparación con el Escenario 1, la cobertura solo se incrementaría un 6 y 5%, respectivamente.

Es interesante notar además que la sola relocalización de las ambulancias disponibles (Escenario 1) alcanza para cubrir prácticamente la totalidad (98%) de los llamados analizados en un tiempo de respuesta de 12 min, frente al 82% con la configuración actual en el mismo tiempo.

Figura 9. Cobertura de la demanda para los cuatro escenarios en 8 minutos.



Fuente: Elaboración propia.

Si se planificara agregar una nueva ambulancia al sistema, el estudio sugiere la relocalización de la totalidad de las bases acuerdo a la propuesta del Escenario 2, dado que con ello se logra la mayor cobertura posible en 8 min y una cobertura prácticamente total en 12 min.

4. Conclusiones

Este trabajo permitió comprobar que mediante el uso de SIG es posible geolocalizar los llamados de emergencia para tener un panorama de la demanda a la que está sometido el SEPH, así como georreferenciar la oferta que brinda dicho servicio. Adicionalmente, con diferentes herramientas que poseen estas plataformas, se logró analizar la relación entre ambas dimensiones y estudiar el impacto sobre los principales indicadores de desempeño debido a la introducción de modificaciones en la infraestructura del servicio.

El estudio realizado debe considerarse, sin embargo, como una aproximación al complejo problema real que, en la práctica, posee las siguientes características:

- i) la ubicación real de cada ambulancia al momento de acudir a un despacho, podría no ser la base asignada, dado que puede estar regresando de otra salida
- ii) la velocidad con la que se desplaza cada ambulancia es incierta, dado que en áreas como el microcentro la misma podría ser sustancialmente menor que en áreas donde hay una menor densidad vehicular
- iii) el tiempo que demora la ambulancia en atender la emergencia y el eventual traslado del paciente a un centro de salud cuando es necesario, hace que el sistema posea una capacidad de respuesta reducida al momento de asignar un nuevo despacho.

En particular, relacionado con el ítem iii), en el caso de ocurrir un llamado mientras la ambulancia está ocupada con una emergencia, el mismo no podría ser atendido con igual rapidez, dado que tendría que concurrir otra ambulancia de una base más alejada. En este sentido, la rapidez de atención de un segundo y tercer llamados también son parámetros importantes de análisis al momento de diseñar la localización de las bases de ambulancias.

En este trabajo, el principal parámetro de desempeño del SEPH fue el tiempo de atención al primer llamado, lo cual, naturalmente, conduce a distribuir lo más posible las bases en el territorio. Sin embargo, este criterio produce sistemas menos robustos frente a segundos y terceros llamados que ocurran de manera más o menos simultánea. De hecho, hay que recordar que el actual sistema posee 3 ambulancias en las bases A y B, las cuales están muy próximas entre sí (Figura 5) y además en el epicentro de la zona de mayor demanda (Figura 2). Esto le confiere a sistema una gran robustez para la atención de emergencias en la zona de mayor demanda, a costa de requerir traslados mayores para atender llamados de zonas pobladas menos densamente y con menor ocurrencia de emergencias.

Otra limitación del estudio propuesto es que no se han analizado los costos de relocalizar las actuales bases/ambulancias, ni los relacionados con incluir una nueva ambulancia al sistema, lo que involucra, además de la adquisición del vehículo, los asociados a la incorporación del personal correspondiente. En este sentido se plantea un interesante problema multiobjetivo relacionado con tres indicadores a considerar: (i) el costo de la inversión, (ii) la potencial mejora de los tiempos de respuesta al

primer llamado, (iii) la robustez del sistema, medida por ejemplo en términos del tiempo de respuesta a un segundo y tercer llamados.

5. Referencias bibliográficas

- Fuenzalida Díaz, M. y Moreno Jiménez, A. (2010): Diseño con SIG de la localización óptima de centros de atención primaria de salud, discriminando según estatus socioeconómico. En: Ojeda, J., Pita, M.F. y Vallejo, I. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla, Sevilla. 453-465.
- Polanco González, C., Castañón González, J.A., Villanueva Martínez, S, et al. (2015): Índice de Saturación Modificado y Ambulancias (ISMA): Ambulance assignment and remote Emergency Room Bed Reservation. *Gac Med Mex.* 151(3), 313-317. Disponible en internet: <https://www.medigraphic.com/pdfs/gaceta/gm-2015/gm153e.pdf>
- Ramírez, L. y Bosque Sendra, J. (2001): Localización de hospitales: analogías y diferencias del uso del modelo p-mediano en SIG raster y vectorial. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 21, p. 53-79.
- Ramírez, M. (2011): Sitios óptimos destinados a la expansión de los equipamientos de atención primaria de la salud en el Área Metropolitana del Gran Resistencia, Chaco, Argentina. En: *Sistemas de Información Geográfica y Localización Óptima de Instalaciones y Equipamientos*, 229-250.
- Rodríguez Quintero, A. K., Osorno Osorio, G. M. y Maya Duque, P. A. (2016): Relocalización de vehículos en servicios de emergencias médicas: una revisión. *Ingeniería y Ciencia*, 12, 163–202. doi: <http://dx.doi.org/10.17230/ingciencia.12.23.9>
- Rodríguez Díaz, V. (2014): Accesibilidad geográfica de la población a la red de hospitales públicos de Andalucía: aportaciones desde el análisis de redes. Tesis doctoral, Universidad Pablo Olavide, Sevilla.
- Rodríguez Sánchez, Y., Gómez Figueroa, O., Diéguez Matellán, E., De León Rosales, L. y Rodríguez González, L. (2016): Localización-asignación de los servicios de atención primaria en un área de salud. *Revista Médica Electrónica*, 38(6), 837-850. Disponible en internet: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1684-18242016000600005&lng=es&tlng=es
- Villegas, J., Castañeda, C., Blandón, K. (2012): Mejoramiento de la localización de ambulancias de atención pre hospitalaria en Medellín (Colombia) con modelos de optimización. Congreso Latino Iberoamericano de Investigación Operativa, Brasil..