

Monográfico

Análisis espacial de los accidentes de tráfico con víctimas mortales en carretera en España, 2008-2011



Diana Gómez-Barroso^{a,b,*}, Teresa López-Cuadrado^b, Alicia Llácer^{a,b}, Rocío Palmera Suárez^{a,b} y Rafael Fernández-Cuenca^{a,b}

^a CIBER de Epidemiología y Salud Pública (CIBERESP), España

^b Centro Nacional de Epidemiología, Instituto de Salud Carlos III, Madrid, España

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 9 de septiembre de 2014

Aceptado el 19 de febrero de 2015

On-line el 2 de septiembre de 2015

Palabras clave:

Accidentes de tráfico

Análisis espacial

Sistemas de información geográfica

RESUMEN

Objetivo: Estimar las áreas de mayor densidad de accidentes de tráfico en carretera con víctimas mortales a 24 horas por km²/año en la España peninsular, en el periodo de 2008 a 2011, utilizando un sistema de información geográfica.

Métodos: Se geocodificaron los accidentes según la carretera y el punto kilométrico donde ocurrieron. Se calculó el promedio del vecino más cercano para detectar posibles *clusters* y obtener el ancho de banda necesario para calcular la densidad de Kernel.

Resultados: Se analizaron 4775 accidentes, de los cuales el 73,3% se produjeron en carreteras secundarias. La distancia media estimada entre los accidentes fue de 1242 metros, y la distancia media esperada fue de 10.738 metros. El índice del vecino más cercano fue de 0,11, lo que significa que existen agregaciones de accidentes en el espacio. Se obtuvo un mapa con la densidad de Kernel, con una resolución de 1 km², que permite conocer aquellas áreas donde la densidad es mayor.

Conclusiones: Esta metodología permite obtener una mayor aproximación al origen de los riesgos de los accidentes de tráfico al tener en cuenta el punto kilométrico. El mapa obtenido permite visualizar aquellas áreas donde hubo una mayor densidad de accidentes. Esto puede ser una ventaja a la hora de tomar decisiones por parte de las autoridades competentes.

© 2014 SESPAS. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Spatial analysis of road traffic accidents with fatalities in Spain, 2008-2011

ABSTRACT

Keywords:

Traffic accidents

Spatial analysis

Geographic information systems

Objective: To estimate the areas of greatest density of road traffic accidents with fatalities at 24 hours per km²/year in Spain from 2008 to 2011, using a geographic information system.

Methods: Accidents were geocoded using the road and kilometer points where they occurred. The average nearest neighbor was calculated to detect possible clusters and to obtain the bandwidth for kernel density estimation.

Results: A total of 4775 accidents were analyzed, of which 73.3% occurred on conventional roads. The estimated average distance between accidents was 1,242 meters, and the average expected distance was 10,738 meters. The nearest neighbor index was 0.11, indicating that there were aggregations of accidents in space. A map showing the kernel density was obtained with a resolution of 1 km², which identified the areas of highest density.

Conclusions: This methodology allowed a better approximation to locating accident risks by taking into account kilometer points. The map shows areas where there was a greater density of accidents. This could be an advantage in decision-making by the relevant authorities.

© 2014 SESPAS. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Introducción

Según la Organización Mundial de la Salud, cada año los accidentes de tráfico causan la muerte de aproximadamente 1,24 millones de personas en todo el mundo. Entre 20 y 50 millones de

personas sufren traumatismos no mortales, y a su vez una proporción de estos padecen algún tipo de discapacidad¹.

En el año 2011, España ocupaba el séptimo lugar entre los países de la Unión Europea (UE) con menor mortalidad por accidentes de tráfico, siendo su tasa de víctimas mortales de 45 por millón de habitantes, inferior a la media de la UE, que era de 60 por millón. Entre los años 2008 y 2011 ha habido un descenso tanto de los accidentes de tráfico con víctimas mortales como del número de fallecidos, del 10,7% y el 26%, respectivamente².

* Autora para correspondencia.

Correo electrónico: dgomez@externos.isciii.es (D. Gómez-Barroso).

Desde el año 2008, las muertes por accidentes de tráfico han dejado de ser la primera causa de muerte entre las causas externas, pasando a una segunda posición tras el suicidio. Esto puede deberse, por un lado, a las medidas implantadas por la Dirección General de Tráfico en los últimos años³, y por otro a la reducción del número de vehículos en carretera, estimada por el Ministerio de Fomento en el periodo 2007-2011 en un 9%⁴. A pesar de todo, las defunciones por accidentes de tráfico continúan siendo un importante problema de salud pública y una de las principales causas de muerte en los jóvenes entre 15 y 29 años de edad^{2,3}.

En las últimas décadas se ha incrementado el uso de los sistemas de información geográfica (SIG) en el ámbito de la epidemiología y la salud pública. Los recientes avances en los SIG y en la metodología de análisis espacial han permitido desarrollar nuevas técnicas en el análisis epidemiológico. Los SIG constituyen una herramienta fundamental en el fortalecimiento de todo el proceso de información, gestión y análisis en vigilancia epidemiológica, y además proporcionan un excelente medio para visualizar y analizar datos geoespaciales, revelando las tendencias, dependencias, interrelaciones y agrupaciones⁵.

Algunos estudios realizados en otros países han analizado la distribución espacial de los accidentes de tráfico utilizando SIG y técnicas de análisis espacial para detectar agregaciones de riesgo y excesos de accidentes⁵⁻¹³. Existen diferentes técnicas para la detección de puntos de riesgo, o *hot-spots*, aplicados al estudio espacial de los accidentes de tráfico. El estudio realizado por Anderson⁹ para analizar la distribución de riesgo de accidentes en Londres utiliza dos métodos diferentes, la densidad de Kernel y *K-means*, con resultados muy similares. Recientemente se ha publicado un estudio llevado a cabo en un estado de Brasil que utiliza la densidad de Kernel para detectar los *hot-spots* en las carreteras brasileñas¹⁴. En España es escaso el número de trabajos que profundizan en la distribución espacial de los accidentes de tráfico con víctimas mortales^{15,16}. Un estudio realizado por Rodríguez-Morales et al.¹⁷ analiza mediante métodos de detección de *hot-spots* los accidentes de tráfico producidos por fauna salvaje en la red de carreteras de Galicia. Hasta el momento, ningún estudio publicado ha utilizado este tipo de aproximación metodológica. Por este motivo, el objetivo del presente trabajo es estimar las áreas de mayor densidad de accidentes de tráfico en carretera con víctimas mortales a 24 horas por km²/año en la España peninsular en el periodo de 2008 a 2011, utilizando un SIG.

Material y métodos

Se realizó un estudio de procesos puntuales donde cada punto en el espacio corresponde a un accidente de tráfico en carretera con víctimas mortales a 24 horas para determinar la densidad de estos accidentes en la España peninsular en el periodo 2008-2011.

Datos

Los accidentes de tráfico en carretera con víctimas mortales a 24 horas se obtuvieron de la Dirección General de Tráfico. Estos fueron registrados por los agentes de tráfico en los atestados provisionales en el lugar del accidente, recogiendo variables demográficas y características del propio accidente. Según los atestados de los agentes de tráfico, las carreteras donde ha ocurrido el accidente se dividen en autopistas, autopistas, vía rápida, vía convencional de carril lento, vía convencional, camino vecinal, vía de servicio, ramal de enlace y otros. Para este estudio se han agrupado estas categorías en tres: autopistas y autopistas, carreteras convencionales, y otros, incluyendo en esta última el resto de las especificadas, excepto los

caminos vecinales que no pueden identificarse con la cartografía utilizada. Se seleccionaron el punto kilométrico y el nombre de la carretera donde se produjo el accidente.

La unidad de análisis fue el accidente de tráfico en carretera con víctimas mortales a 24 horas, definido como un accidente de tráfico en carretera en el cual haya habido al menos una víctima mortal en las primeras 24 horas, cualquiera que sea el número de vehículos implicados y de ocupantes.

Se han excluido del análisis los territorios insulares, por lo que el análisis sólo se ha realizado en la España peninsular.

Geocodificación de los accidentes

Para geocodificar los accidentes de tráfico en carretera con víctimas mortales a 24 horas se utilizó la cartografía topográfica nacional a escala 1:25.000, proyección UTM ETRS89 del Instituto Geográfico Nacional del año 2009, compuesta por 4025 hojas que cubren todo el territorio peninsular. De esta cartografía se extrajeron las autopistas, las autovías y las carreteras convencionales. A partir del punto kilométrico y de la identificación de la carretera en la cartografía se realizó la geocodificación de cada uno de los accidentes implementando en un SIG una herramienta para localizar de forma automática los accidentes por punto kilométrico en la carretera correspondiente de toda la península y obtener su localización geográfica con las coordenadas X e Y. Para ello se crearon lo que en geolocalización se llaman «rutas», indicando cada punto kilométrico de la carretera sobre el mapa tras establecer cuál es el principio (punto kilométrico=0) y el final de cada tramo de una carretera (punto kilométrico=n)¹⁸.

El 80% de los accidentes se geocodificaron de manera automática después de implementar la herramienta de búsqueda de los puntos kilométricos de los accidentes, mientras que el 20% restante se realizó de forma manual.

Análisis espacial

En una primera fase se calculó el índice del promedio del vecino más cercano¹⁹ para estimar la distancia media entre un accidente y el accidente (vecino) más cercano, basándose en las distancias observadas entre los accidentes y las distancias esperadas si la distribución de estos se hubiera debido al azar. Si la distancia media observada es inferior a la esperada (índice menor de 1) se considera que los accidentes están agregados, es decir, que existen *clusters* espaciales. Esta técnica permitió detectar la presencia de *clusters* en el espacio, y además obtener el ancho de banda necesario (distancia media observada) para realizar la siguiente fase del análisis. Esta consistió en utilizar la estimación de la densidad de Kernel²⁰ para detectar aquellas áreas en las carreteras en las que existe una mayor densidad de accidentes por kilómetro cuadrado en la península.

Este método es útil para determinar la propagación de riesgo de un accidente, lo que puede definirse como el área alrededor de un *cluster* determinado donde existe un aumento de la probabilidad de que ocurra un accidente basado en la dependencia espacial. En segundo lugar, este método permite definir un área de análisis espacial homogéneo para toda la zona estudiada, que hace posible la comparación de unas zonas con otras⁹.

Para el cálculo de las superficies, el método de Kernel estima la densidad de observaciones alrededor de un píxel, usando la función cuadrática de Kernel descrita por Silverman²⁰. Este método es una herramienta de interpolación y suavizado usada para generalizar la posición de un punto a un área. La estimación de densidad de Kernel se ajusta a una superficie curvada sobre cada caso, de tal manera que la superficie es más alta encima del caso y cero a partir de una

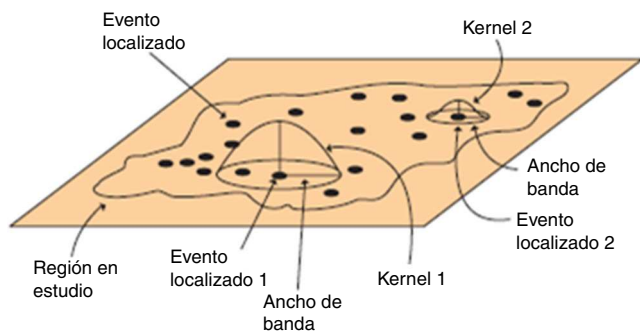


Figura 1. Gráfico de la densidad de Kernel.

distancia del caso especificada (el ancho de banda). En términos matemáticos se expresa como:

$$f(x, y) = \frac{1}{nh^2} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{d_i}{h}\right)$$

donde $f(x, y)$ es el valor de densidad en la posición (x, y) , n es el número de casos, h es el ancho de banda, d_i es la distancia geográfica entre el caso i y la ubicación (x, y) , y K es una función de densidad. Las unidades de $f(x, y)$ son casos por unidad de área²¹.

El método divide el área de estudio, en este caso el territorio peninsular de España, en un número determinado de celdas, y realiza un barrido circular alrededor de cada punto (accidente) aplicando una ecuación matemática (Kernel) que va de 0 hasta el ancho de banda definido (fig. 1). Este ancho de banda fue la distancia media observada obtenida del cálculo del vecino más cercano²².

Se obtuvo la densidad de Kernel por km²/año para cada una de las celdas en que se divide el mapa. El análisis se realizó con el SIG Arcmap versión 10.0.

Resultados

Datos

Los accidentes de tráfico en carretera con víctimas mortales a 24 horas declarados en el periodo 2008-2011 fueron 6406, de los cuales se analizaron 4775 al tener que prescindir del resto (26%) por haberse producido el accidente en un camino vecinal, por estar incompleta o ser errónea la información sobre el lugar donde ocurrió, o por no coincidir con la cartografía utilizada. El 73,3% de los accidentes analizados se produjeron en carreteras convencionales o secundarias, mientras que el 5,7% tuvieron lugar en autopistas y el 20,4% en autovías; el 0,6% restante tuvo lugar en otro tipo de vía. La tabla 1 muestra la distribución del número de accidentes por comunidades autónomas, siendo Cataluña la que más accidentes en carretera con víctimas mortales ha registrado en el periodo estudiado, seguida de Andalucía. Respecto al número de fallecidos, también es Cataluña la primera comunidad autónoma, seguida de Andalucía y Castilla y León. Se muestra la distribución por tipo de carretera en cada comunidad autónoma, y es en las carreteras convencionales o secundarias donde hay más accidentes con víctimas mortales a 24 horas en todas las comunidades autónomas.

En la figura 2 puede verse una muestra de la cartografía de las carreteras del mapa topográfico nacional a escala 1:25.000 utilizada para geocodificar los casos y la distribución de accidentes en esos tramos según el punto kilométrico donde ocurrieron.

Análisis espacial

La distancia media estimada entre los accidentes para el periodo de estudio fue de 1242 metros, la distancia media esperada era

de 10.738 metros y el índice del vecino más cercano fue de 0,11, con una $p < 0,001$, por lo que se asume que los accidentes están agregados en el espacio.

Para el análisis de densidad de Kernel se utilizó un tamaño de celda de 100 × 100 metros, obteniendo una malla que cubre todo el territorio peninsular español dividida en 10.360 columnas y 8356 filas. El ancho de banda utilizado, 1250 metros, fue la distancia media observada entre los accidentes (vecino más cercano).

En la figura 3 se muestra una ampliación del análisis de la estimación de la densidad de Kernel por km²/año. La mayor densidad de Kernel de accidentes de tráfico con víctimas mortales a 24 horas por km²/año se concentra en diferentes puntos. Los lugares donde hay más de 10 accidentes por kilómetro cuadrado son, en la provincia de Castellón, en el municipio de Villareal, en la N-340; en Valdellòs i l'Hospitalet de l'Infant, en Tarragona, en la confluencia de la AP-7 con la C-44; en Vianos, Albacete, en la confluencia de la A-7 con la N-322; en Sevilla en la A-4; y por último, en la N-II y la incorporación a la A-2 a su paso por Santa María de la Huerta, en Soria. Esta distribución tiende a concentrarse en la zona este de la península.

Se ha creado un archivo kmz, que puede verse desde Google Earth (<http://www.google.es/intl/es/earth/index.html>), el cual permite una visualización de las zonas con mayor densidad de accidentes por kilómetro cuadrado a mayor escala y gran resolución. En él se han representado mediante globos de Google todas las zonas donde ha habido más de cinco accidentes, categorizadas en dos grupos: de cinco a diez accidentes y más de diez. Estos globos representan el centroide de la densidad de accidentes en 1 km². Las zonas donde se han producido entre cinco y diez accidentes por km²/año se concentran en el noroeste de la península y en un eje que va desde el centro de la península hacia la zona de levante. Google Earth permite visualizar no sólo las áreas con más accidentes, sino también las carreteras donde se producen y las características del terreno.

Discusión

Esta es la primera publicación en que se analizan datos nacionales de accidentes de tráfico en carretera con víctimas mortales a 24 horas para localizar zonas con mayor densidad de accidentes de tráfico por km²/año. Se ha obtenido un mapa global que permite visualizar en Google Earth con detalle las diferentes zonas donde hay una densidad de cinco a diez accidentes y más de diez accidentes por km²/año en el conjunto de las carreteras del territorio peninsular español. La distribución de las zonas de más de diez accidentes tiende a concentrarse en el este, mientras que las zonas con cinco a diez accidentes se concentran más en el noroeste y en un eje del centro a la zona de levante.

Existen otras publicaciones que analizan desde el punto de vista espacial los accidentes de tráfico^{6,7,12,23-30}. En concreto, algunos autores han utilizado la densidad de Kernel para estimar las áreas de riesgo y los *hot-spots* de accidentes de tráfico en carretera^{9,13,31}. Un estudio llevado a cabo en Londres⁹ presenta un mapa con las zonas donde se han producido más accidentes en el área metropolitana. De esta manera presentan las celdas con mayor densidad de accidentes de tráfico. Utilizando este mismo método de densidad de Kernel, Bil et al.¹³ presentan un análisis de accidentes de tráfico realizado en Moravia (República Checa), en el que muestran un mapa con las localizaciones más peligrosas dentro de la red de carreteras de la zona. Otro estudio, realizado por Xie y Yan³¹, utiliza la densidad de Kernel para presentar las zonas de concentración de accidentes en Kentucky. En este estudio, el análisis se realiza de forma lineal, utilizando la red de conexiones de las carreteras, lo que permite localizar los puntos conflictivos a lo largo de estas en lugar de en un área. Cabe destacar, en nuestro ámbito, el

Tabla 1
Distribución y características de los accidentes de tráfico en carretera con víctimas mortales a 24 horas en el territorio peninsular de España, 2008-2011

Comunidad autónoma	Nº accidentes	Nº lesionados	Nº fallecidos	Tipo de carreta		
				Autopista/autovía	Convencional	Otros
Andalucía	714	1620	823	234	479	1
Aragón	262	533	292	42	220	0
Asturias	118	228	125	20	98	0
Cantabria	55	145	58	20	34	1
Castilla y León	557	1218	647	177	374	6
Castilla-La Mancha	441	1059	502	106	327	8
Cataluña	795	1648	921	143	646	6
Comunidad Valenciana	495	1100	558	137	358	0
Extremadura	179	386	209	31	146	2
Galicia	428	814	462	55	367	6
Madrid	325	654	342	147	178	0
Murcia	119	230	131	56	61	2
Navarra	84	168	93	25	59	0
País Vasco	138	241	156	41	97	0
La Rioja	65	136	75	10	55	0

ya citado trabajo de Rodríguez-Morales et al.¹⁷ que utiliza la misma metodología.

El informe que presenta anualmente EuroRAP³² muestra los tramos de más accidentabilidad en los países europeos teniendo en cuenta el número de accidentes con víctimas mortales o heridos graves, en función de la longitud del tramo y de la intensidad de tráfico de la vía. Estos informes anuales son una valiosa herramienta para detectar los tramos de más riesgo en la red vial. Comparando

el mapa del informe presentado en 2011³³ con nuestros resultados se observan algunos puntos comunes, aunque tanto la metodología empleada como los períodos de estudio son diferentes. Las carreteras donde se concentra la mayor densidad de Kernel de accidentes de tráfico con víctimas mortales a 24 horas por km²/año en nuestro estudio aparecen en el mapa que presenta EuroRAP como tramos de riesgo medio o medio-alto, lo mismo que aquellas áreas en las que aparecen entre cinco y diez accidentes, que también aparecen



Figura 2. Ejemplo de la distribución espacial de los accidentes de tráfico.

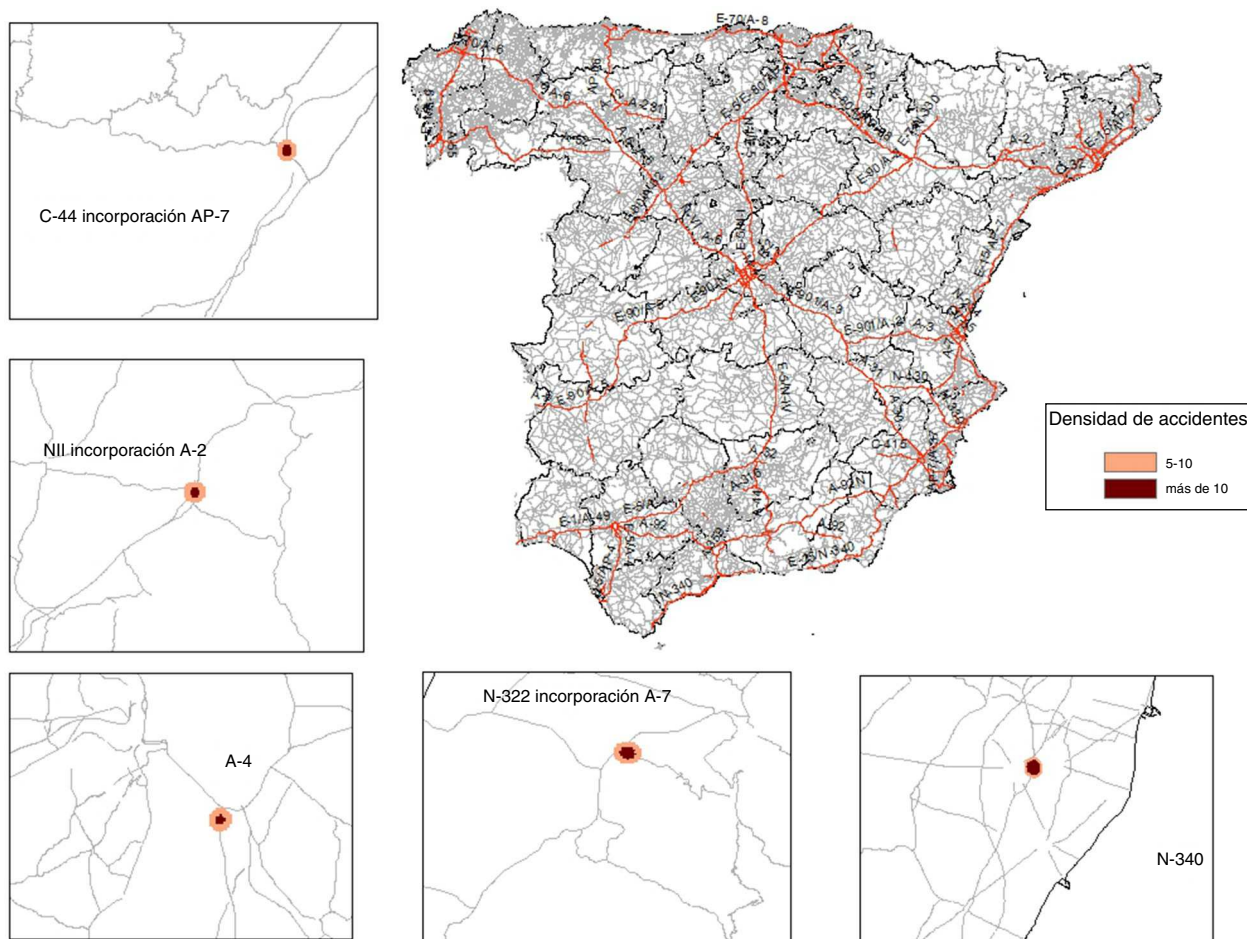


Figura 3. Densidad de accidentes por kilómetro cuadrado, 2008-2011.

como zonas de riesgo medio-alto en el mapa de EuroRAP. Las zonas que aparecen en EuroRAP como zonas de alto riesgo no se encuentran en nuestros resultados, debido a las diferentes fuentes de datos utilizadas, al periodo de estudio y a la metodología empleada.

Una primera limitación es intrínseca al propio método utilizado²⁰, ya que la estimación de la densidad de Kernel está sujeta a la elección por parte del investigador del ancho de banda de búsqueda. En nuestro estudio, sin embargo, el ancho de banda se ha calculado teniendo en cuenta criterios estadísticos basados en el vecino más cercano, por lo que este ancho de banda parece ajustarse mejor al problema planteado. Este criterio de elección del ancho de banda se ha realizado siguiendo la propuesta de De Cos²² en un estudio en el cual se valora la aplicación de los métodos Kernel en todo el país para identificar patrones espaciales de crecimiento. Una segunda limitación es de selección de la unidad de análisis, que es el accidente de tráfico sin tener en cuenta si hubo un muerto o más, ni si hubo un vehículo implicado o más, lo que puede simplificar el gradiente de riesgo. Al emplear como fuente de datos la mortalidad antes de las 24 horas, los resultados pueden estar infraestimados ya que los heridos graves en un accidente pueden acabar muriendo. No se ha podido incluir en el análisis la intensidad de tráfico de cada una de las carreteras analizadas, lo cual es otra limitación. Además, el análisis se ha realizado en dos dimensiones, cuando los accidentes de tráfico en carretera con víctimas mortales a 24 horas ocurren en una red viaria, es decir, siguen las líneas de la red, pero dada la amplitud de la red viaria estudiada (en toda la España peninsular tenemos 60.000 segmentos de red viaria) no es posible llevar a cabo este tipo de análisis. Por ello, los datos están por áreas de 1 km² y no por línea de carretera.

Este trabajo presenta una primera aproximación al estudio del problema de la densidad de accidentes de tráfico en carretera con víctimas mortales a 24 horas, aplicando técnicas geográficas. Esto permite, por un lado, obtener una representación a gran escala de la distribución de los accidentes, al tener en cuenta el punto kilométrico donde han ocurrido, y por otro identificar áreas con mayor frecuencia de accidentes. Las zonas en que parece haber una mayor densidad de accidentes tendrían que ser estudiadas en detalle para poder identificar cuáles son los factores de riesgo que están influyendo. Estos factores pueden estar relacionados con el estado de las carreteras, con la señalización, con factores meteorológicos o con factores relacionados con la intensidad y el tipo de tráfico.

La información espacial del estudio puede ser una ventaja a la hora de tomar decisiones por parte de las autoridades competentes, tanto para poner en marcha medidas concretas y campañas en materia de tráfico, como para evaluar los riesgos asociados a estos accidentes.

Aunque en España el número de víctimas mortales en accidentes de tráfico ha disminuido en los últimos años³⁴, sigue siendo un importante problema de salud pública, por lo que es necesario continuar trabajando en esta línea.

En el futuro se plantea realizar estudios simplificando la red vial para poder presentar los resultados por punto kilométrico en lugar de área, así como realizar análisis de posibles factores de riesgo asociados, a partir de las características de las carreteras y de la densidad de tráfico, las condiciones del pavimento, la influencia de factores meteorológicos y las características intrínsecas al tráfico.

Editor responsable del artículo

Miguel Ángel Negrín Hernández.

¿Qué se sabe sobre el tema?

Aunque la mortalidad por accidente de tráfico en carretera ha descendido en los últimos años, sigue siendo un importante problema de salud pública ya que afecta principalmente a los jóvenes. Estudiar los accidentes considerando el punto geográfico permite conocer las características del terreno donde se han producido y analizar posibles factores asociados.

¿Qué añade el estudio realizado a la literatura?

Este trabajo presenta un estudio de la densidad de accidentes de tráfico con víctimas mortales en carretera a 24 horas mediante un sistema de información geográfica, utilizando como referencia el punto kilométrico donde tuvo lugar el accidente. Conocer la distribución espacial de estos accidentes y la densidad por áreas geográficas puede ayudar a llevar a cabo intervenciones preventivas y evaluar los riesgos asociados.

Contribuciones de autoría

D. Gómez-Barroso y R. Fernández-Cuenca concibieron y diseñaron el trabajo. R. Palmera Suárez realizó la recogida de los datos. D. Gómez-Barroso, T. López-Cuadrado, A. Llácer y R. Fernández-Cuenca realizaron el análisis de los datos y la interpretación de los resultados. D. Gómez-Barroso, T. López-Cuadrado, A. Llácer y R. Fernández-Cuenca elaboraron el manuscrito. Todos los autores aprobaron la versión final para su publicación.

Financiación

Ninguna.

Conflictos de intereses

Ninguno.

Agradecimientos

A la Dirección General de Tráfico por facilitarnos los datos de accidentes con víctimas mortales en carretera a 24 horas.

Dedicamos este artículo a Alicia Llacer ya que sin su entusiasmo y apoyo no lo hubiéramos conseguido. Gracias Ali.

Anexo. Material adicional

Se puede consultar material adicional a este artículo en su versión electrónica disponible en doi:10.1016/j.gaceta.2015.02.009.

Bibliografía

- Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial. Ginebra: Organización Mundial de la Salud; 2013.
- Principales cifras de la siniestralidad vial 2011. Madrid: Dirección General de Tráfico; 2014.
- Anuario estadístico 2010. Evolución del número de muertos en accidentes de circulación y principales medidas de seguridad vial. Madrid: Dirección General de Tráfico; 2014.
- Fernández-Cuenca R, Llácer A, López-Cuadrado T, et al. Mortalidad por causas externas en España. *Bol Epidemiol Sem*. 2014;22:56-76.
- Jonhson CP, Jonhson J. GIS: a tool for monitoring and management of epidemics. February 2001. New Delhi: Map India 2001 Conference; 2001.
- Erdogan S. Explorative spatial analysis of traffic accident statistics and road mortality among the provinces of Turkey. *J Safety Res*. 2009;40:341-51.
- Erdogan S, Yilmaz I, Baybura T, et al. Geographical information systems aided traffic accident analysis system case study: city of Afyonkarahisar. *Accid Anal Prev*. 2008;40:174-81.
- Lightstone AS, Dhillon PK, Peek-Asa C, et al. A geographic analysis of motor vehicle collisions with child pedestrians in Long Beach, California: comparing intersection and midblock incident locations. *Inj Prev*. 2001;7:155-60.
- Anderson TK. Kernel density estimation and K-means clustering to profile road accident hotspots. *Accid Anal Prev*. 2009;41:359-64.
- Ayuthya RS, Bohning D. Traffic accident mapping in Bangkok metropolis: a case study. *Stat Med*. 1995;14:2445-58.
- Eksler V, Lassarre S. Evolution of road risk disparities at small-scale level: example of Belgium. *J Safety Res*. 2008;39:417-27.
- Eksler V, Lassarre S, Thomas I. Regional analysis of road mortality in Europe. *Public Health*. 2008;122:826-37.
- Bil M, Andrasik R, Janoska Z. Identification of hazardous road locations of traffic accidents by means of Kernel density estimation and cluster significance evaluation. *Accid Anal Prev*. 2013;55:265-73.
- De Andrade L, Vissoci JR, Rodrigues CG, et al. Brazilian road traffic fatalities: a spatial and environmental analysis. *PLoS One*. 2014;9:e87244.
- Rivas-Ruiz F, Perea-Milla E, Jiménez-Puente A. Geographic variability of fatal road traffic injuries in Spain during the period 2002-2004: an ecological study. *BMC Public Health*. 2007;7:266.
- Redondo CJ, Luna del Castillo JD, Jiménez Moleon JJ, et al. Variabilidad geográfica de la gravedad de los accidentes de tráfico en España. *Gac Sanit*. 2000;14:16-22.
- Rodríguez-Morales B, Díaz-Varela ER, Marey-Pérez MF. Spatiotemporal analysis of vehicle collisions involving wild boar and roe deer in NW Spain. *Accid Anal Prev*. 2013;60:121-33.
- Gómez-Barroso D, López-Cuadrado T, Palmera-Suárez L, et al. Geocodificación de los accidentes de tráfico con víctimas mortales en carretera en España. 18 October 12 A. D. Santander: XXX Reunión Científica de la Sociedad Española de Epidemiología; 2012. p. 107.
- Scott LM, Janivas MV. Spatial statistics in ArcGIS handbook of applied spatial analysis. Springer Berlin Heidelberg; 2010. p. 27-41.
- Silverman BW. Density estimation for statistics and data analysis. London: Chapman & Hall/CRC; 1998. p. 48.
- Carlos HA, Shi X, Sargent J, et al. Density estimation and adaptive bandwidths: a primer for public health practitioners. *Int J Health Geogr*. 2010;9:39.
- De Cos Guerra O. Valoración del método de densidades focales (Kernel) para la identificación de los patrones espaciales de crecimiento en España. *Geofocus*. 2004;4:136-65.
- Aguero-Valverde J, Jovanis PP. Spatial analysis of fatal and injury crashes in Pennsylvania. *Accid Anal Prev*. 2006;38:618-25.
- Ipingbemi O. Spatial analysis and socio-economic burden of road crashes in south-western Nigeria. *Int J Inj Contr Saf Promot*. 2008;15:99-108.
- Jones AP, Langford IH, Bentham G. The application of K-function analysis to the geographical distribution of road traffic accident outcomes in Norfolk, England. *Soc Sci Med*. 1996;42:879-85.
- La Torre G, Van Beeck E, Quaranta G, et al. Determinants of within-country variation in traffic accident mortality in Italy: a geographical analysis. *Int J Health Geogr*. 2007;6:49.
- MacNab YC. Bayesian spatial and ecological models for small-area accident and injury analysis. *Accid Anal Prev*. 2004;36:1019-28.
- Prieto F, Gómez-Deniz E, Sarabia JM. Modelling road accident blackspots data with the discrete generalized Pareto distribution. *Accid Anal Prev*. 2014;38-49, 71C.
- Thomas I. Spatial data aggregation: exploratory analysis of road accidents. *Accid Anal Prev*. 1996;28:251-64.
- Tolón-Becerra A, Lastra-Bravo X, Flores-Parra I. National and regional analysis of road accidents in Spain. *Traffic Inj Prev*. 2013;14:486-95.
- Xie ZX, Yan J. Detecting traffic accident clusters with network kernel density estimation and local spatial statistics: an integrated approach. *Journal of Transport Geography*. 2013;31:64-71.
- European Road Assessment Programme [Internet]. EuroRAP. (Consultado el 14/7/2014.) Disponible en: <http://www.eurorap.org/>
- European Road Safety Atlas. Leading Europe into the decade of action 2011. Belgium: EuroRAP AISBL; 2011.
- Principales cifras de la siniestralidad vial 2013 [Internet]. Dirección General de Tráfico. (Consultado el 26/6/2014.) Disponible en: <http://www.dgt.es/prensa/notas-de-prensa/2014/20140626-Espania-asciende-al-quinto-puesto-de-la-UE-en-tasa-de-fallecidos-por-accidente-de-trafico-shtml>