

# **ANÁLISIS EXPLORATORIO ESPACIAL DE ACCIDENTES VIALES EN LA CIUDAD DE PUNTA ARENAS**

Cristian Cárcamo C., Universidad Andrés Bello [t.carcamocardenas@gmail.com](mailto:t.carcamocardenas@gmail.com)

Carlos Pacheco T., Universidad Andrés Bello [c.ptrivio@gmail.com](mailto:c.ptrivio@gmail.com)

Carola Blázquez L., Universidad Andrés Bello [cblazquez@unab.cl](mailto:cblazquez@unab.cl)

## **RESUMEN**

Punta Arenas presentó el mayor número de accidentes en la región de Magallanes entre 2010 y 2015. Este estudio analizó espacialmente estos accidentes e identificó los puntos negros, ocurrencia de los accidentes y gravedad de lesiones de las personas involucradas, para luego ser relacionados entre si. Los resultados indican que las colisiones y los choques se concentraron en cinco intersecciones, las volcaduras en avenidas de alta velocidad, y los atropellos en el centro de la ciudad, y la principal causa fue el estado de ebriedad de los jóvenes. Los resultados de este estudio pueden ayudar a las autoridades a tomar medidas preventivas para aumentar la seguridad vial y asignar los recursos en zonas más riesgosas.

Palabras Claves: Accidentes viales, Análisis espacial, Punta Arenas

## **ABSTRACT**

Punta Arenas presented the highest number of accidents in the Region of Magallanes between 2010 and 2015. This study spatially analyzed these accidents and identified black spots, frequency of the accidents and the injury of the persons involved for relate them. The results indicate that collisions and impacts concentrated in five intersections, rollovers in high speed avenues, and pedestrian crashes in the center of the city, and the main contributing cause was under the influence of alcohol of young adults. The results of this study may help authorities will take preventive measures for increasing transportation safety and assigning resources to high risk zones.

*Keywords:* Traffic accidents, Spatial analysis, Punta Arenas

## **1. INTRODUCCIÓN**

Según un estudio de la Organización Mundial de la Salud (OMS) publicado en octubre del 2015, cada año mueren aproximadamente 1,25 millones de personas en accidentes de tránsito alrededor del mundo, siendo las lesiones causadas la principal causa de muertes en jóvenes y adultos entre 15 y 29 años de edad. A su vez entre 20 y 50 millones de personas sufren traumatismos no mortales y parte de estos llegan a padecer alguna discapacidad. Además, los accidentes de tránsito corresponden a la novena causa de muerte mundial y en el año 2030 se espera que sea la quinta causa (WHO, 2004). Chile es uno de los países con las tasas más bajas de accidentes viales dentro de la región junto a Argentina con 12,3 y 12,6 muertes por cada 100.000 habitantes, respectivamente, lo que no deja de ser una cifra preocupante (IRTAD, 2015). Bajo este escenario, la Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito (CONASET) ha impulsado varias iniciativas para lograr vías más seguras, en donde es necesario intervenir tanto en ámbitos preventivos para evitar que se generen accidentes, como ámbitos correctivos para corregir los factores que produzcan accidentes.

Magallanes es la segunda región con mayor tasa de accidentes de tránsito a nivel nacional con cerca de 1.100 siniestros viales al año, superado únicamente por Aysén, siendo estas cifras una preocupación para las autoridades en la materia (Ulloa, 2015). Según un estudio realizado por la Fundación Emilia, Magallanes encabeza la tasa de accidentes de tránsito por consumo de alcohol a nivel país, indicando que es el único lugar del país en que han aumentado los casos relacionados con el consumo de alcohol al volante desde que comenzó a regir la “Ley Emilia” (La Prensa Austral, 2015).

En Chile, existe escasa bibliografía sobre la utilización de herramientas geoespaciales en el análisis de accidentes viales y no se tiene conocimiento de ningún estudio similar para la ciudad de Punta Arenas. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo es realizar un análisis descriptivo de los accidentes viales y analizar patrones espaciales de estos accidentes en la ciudad de Punta Arenas entre los años 2010 y 2015. De esta manera, se pueden identificar aquellas zonas críticas de alto riesgo que han permanecido en el tiempo y así apoyar a las autoridades en la toma de decisiones sobre mejoras en la infraestructura vial, educación vial y políticas públicas que generen un impacto positivo en la seguridad vial. En particular, este estudio utilizará la metodología de puntos negros y el análisis del Equivalente en Número de Accidentes (ENA) establecido por la CONASET y a su vez se compararán estos puntos con las zonas de alta concentración de accidentes viales calculado usando el método de Estimación de Densidad de Kernel (EDK). Existen varios estudios en la literatura que han utilizado EDK para identificar estas áreas en zonas urbanas (Anderson, 2009; Bil *et al*, 2013; Blazquez y Celis, 2013; Flahaut *et al*, 2003; Mitra, 2008; Cantillo *et al*, 2016).

## **2. METODOLOGÍA**

Primero, en este estudio, se efectuó una depuración de la información al recibir la base de datos de todos los accidentes viales ocurridos en la región de Magallanes entre los años 2010 y 2015, descartando las provincias de Ultima Esperanza, Tierra del Fuego y Antártica chilena; debido a que la provincia de Magallanes representaba cerca del 90% de los siniestros en la región. De la misma forma, se excluyen las comunas de Laguna Blanca, Rio Verde y San Gregorio ya que el 90% de los siniestros ocurren en la comuna de Punta Arenas, en donde el 97% de estos accidentes ocurren en zonas urbanizadas (5.416), dejando fuera del alcance del estudio las zonas rurales. Con esta información, se realizó un análisis estadístico descriptivo de la base de datos de accidentes viales proporcionados por Carabineros de Chile a través de la Ley de Transparencia.

Posteriormente, se realizaron análisis espaciales en un Sistema de Información Geográfica (SIG): puntos negros, ENA y EDK. Para ello, se realizó un proceso de geocodificación de los accidentes, donde las direcciones fueron convertidas a coordenadas proyectadas UTM antes de utilizarlos en SIG. Como consecuencia de este proceso, se geocodificaron exitosamente cerca del 90% de los accidentes totales del estudio. El 10% restante no se pudo geocodificar por falta de información, direcciones inexistentes o erróneas, dirección sin enumeración, entre otras.

En este estudio, se compararon los resultados de ENA y EDK para determinar si existe alguna relación entre la concentración de accidentes y la gravedad de éstos. Además, se compararon los puntos negros con los resultados de la técnica EDK para determinar si dichos puntos están ubicados en las zonas de alto riesgo.

En Chile, los puntos negros son aquellas ubicaciones determinadas por un sitio, intersección o tramo de vía con una tasa igual o superior a cinco accidentes viales al año (CONASET, 2016). La incorporación del tratamiento de puntos negros es una medida efectiva para lograr reducciones de accidentes viales. En el periodo 1997-2002, se lograron reducciones promedio del 70% de accidentes viales en los puntos negros con la implementación del plan nacional de tratamiento de puntos negros (CONASET, 2008).

Los accidentes también puede ser analizados según su nivel de gravedad, en donde se recomienda una nomenclatura de colores (Rojo para accidentes fatales, Naranja para accidentes graves y Amarillo para accidentes leves) o bien la implementación de números (“3” para accidentes fatales, “2” para accidentes graves y “1” para accidentes leves). En este análisis, los accidentes son clasificados según gravedad y no según lesiones. Por ejemplo, basta un fallecido en un accidente de cinco personas para que éste sea considerado como tal, a pesar de que las otras cuatro personas hayan resultado con lesiones leves. Por lo general, se deben priorizar aquellos puntos que presenten mayor nivel de accidentabilidad determinadas por la gravedad del accidente. Para ello, se utiliza el indicador ENA, el cual se calcula como la suma de una ponderación de los accidentes según su gravedad (CONASET, 2008). En base a esta metodología, un accidente fatal equivale a tres accidentes leves o un accidente grave y un accidente leve.

Finalmente, EDK agrupa a las similitudes o disimilitudes de eventos representados por puntos en un ambiente SIG. En este estudio, se utilizó la agrupación o clusterización de datos para determinar la distribución espacial según la ubicación o algún atributo de los accidentes viales (Affum y Taylor, 1995). En otras palabras, la técnica EDK tiene un enfoque no paramétrico para

la formulación de funciones de densidad normalmente continuas y diferenciable que busca obtener focos y entrega como resultado la densidad de eventos definida por la cantidad de eventos por unidad de áreas (Moreno, 1991). Las ecuaciones (1) y (2) se utilizaron para identificar la concentración (densidad) de accidentes y así determinar aquellas áreas críticas de accidentabilidad en Punta Arenas.

$$f(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - x(i)}{h}\right) \quad (1)$$

$$\int K(x)dx = 1 \quad (2)$$

Donde,

$f(x)$ : es el valor de la densidad para el posición del punto  $x$

$x$ : es el punto en el cual se trata de estimar la densidad

$n$ : es el total de variables en el espacio analizado

$h$ : es el ancho de banda o radio de búsqueda

$K(x)$ : es una función de densidad definida para un punto  $x$

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Estadísticas generales

La región de Magallanes está compuesta por cuatro provincias. La provincia de Magallanes registró 5.708 accidentes desde el año 2010 hasta el año 2015, donde en la ciudad de Punta Arenas ocurrieron el 97,4% de los accidentes de tránsito. Bajo este escenario, sólo el 3% (143) ocurren en zonas rurales y el 97% (5.416) restante en la ciudad. La conducción en estado de ebriedad es la primera causa de accidentes con alrededor de 16% de éstos, seguido por conducción no atenta a las condiciones (12.9%). La responsabilidad del conductor se atribuye a el 45.9% de los accidentes y al peatón en aproximadamente 9%. Otras causas externas a esto accidentes son las fallas mecánicas y las condiciones climáticas con un 14.1%.

Entre los años 2010 y 2012, los accidentes de tránsito en Punta Arenas disminuyeron desde 1.026 hasta 687 accidentes. Posteriormente, en el año 2013, se registraron 943 accidentes los que fueron aumentando paulatinamente hasta los 1.042 siniestros registrados en el año 2015, como se puede observar en figura 1. Cabe destacar que los accidentes viales han seguido aumentando después de los años 2012 y 2014, a pesar de la promulgación de las leyes Tolerancia Cero y Emilia.

Además, se identificó el rango de edad en que se encuentra la mayor cantidad de lesionados producto de accidentes ocurridos en Punta Arenas entre los años 2010 a 2015. Como se aprecia en la figura 2, las personas que son más propensas a ser víctimas de un accidente vial, ya sea

como conductor, pasajero o peatón, se encuentran en el rango de edad entre los 18 y 40 años. Este rango corresponde al 36.2% del total de personas que resultaron con algún tipo de lesión.

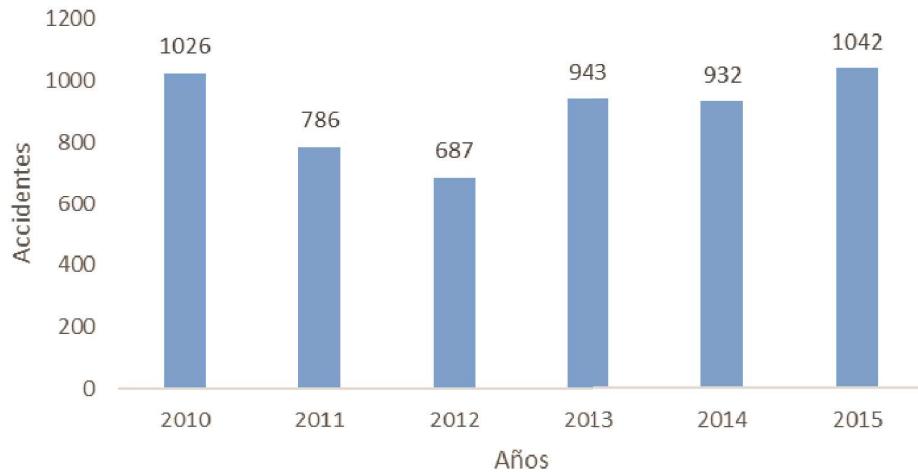


Figura 1: Accidentes viales anuales

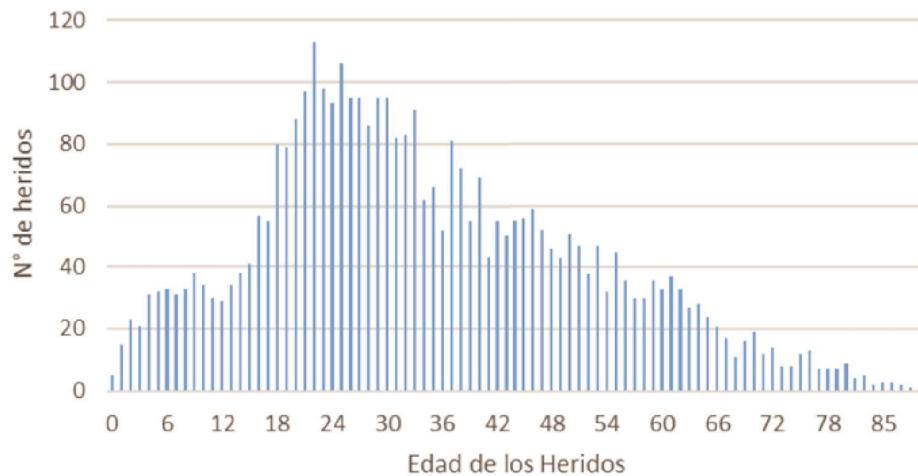


Figura 2: Personas involucradas en accidentes según edad

### 3.2 Análisis de puntos negros y EDK

A partir de este análisis, se generaron mapas con puntos negros para Punta Arenas separados por cada año. En el año 2010, se identificó solo un punto negro y en el año 2011, se observaron seis puntos negros. En el año 2012, los accidentes registrados no generaron puntos negros mientras que en los años 2013, 2014 y 2015 se obtuvieron 12, 30 y 4 puntos negros, respectivamente. Como resultado de este análisis, se identificaron nueve puntos negros de accidentes que permanecieron a lo largo de los años del estudio, como se observa en la figura 3.



1. Av. España/Av. Colon
2. Av. España/ Enrique Abello
3. Av. España/ Av. Independencia
4. Enrique Abello/ Av. Bulnes
5. Enrique Abello/ Av. Eduardo Frei Montalva
6. Av. Martínez de Aldunate/Av. Pedro Aguirre Cerda
7. Av. Martínez de Aldunate/ Ramón Carnicer
8. Av. Eduardo Frei Montalva/ Los Flamencos
9. Av. Eduardo Frei Montalva/ General del Canto

Figura 3: Puntos negros recurrentes en el periodo 2010 – 2015

Para el análisis de concentración de accidentes por medio del método de EDK, se identificaron cinco focos de concentración de accidentes según su recurrencia durante el periodo 2010-2015. La figura 4 presenta estos focos de concentración con círculos de color verde, de los cuales tres de ellos coinciden con el análisis anterior de puntos negros. Nótese que estos puntos corresponden a intersecciones en vías principales con alto flujo vehicular y en zonas comerciales ubicadas en el centro de la ciudad. Por lo tanto, se requiere de estudios adicionales para identificar las características comunes de estas tres zonas y así implementar medidas correctivas.

### 3.3 Análisis según gravedad (indicador ENA) y EDK

Del total de accidentes registrados en Punta Arenas entre los años 2010 y 2015, el 97% (5.416) de los accidentes ocurren en zonas urbanizadas. En estas zonas, la mayoría de las personas involucradas en accidentes viales resultaron con lesiones leves con un total de 3.073, seguido por personas que resultaron con lesiones graves (328), menos graves (188) y muertas (37). La figura 5 indica que el número de personas lesionadas disminuyeron en un 55% del 2011 al 2012 y posteriormente una leve reducción en el año 2014. Por lo tanto, de esta figura se puede intuir que las leyes promulgadas para aumentar la seguridad vial en Chile causaron un impacto positivo, pero de corto plazo ya que el número de personas lesionadas aumentó al siguiente año.

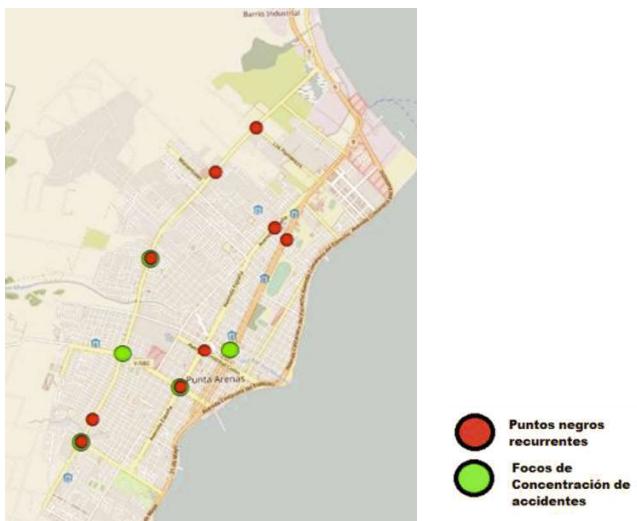


Figura 4: Focos recurrentes de concentración de accidentes usando EDK y su comparación con los puntos negros

Mediante el indicador ENA, se identificaron 20 intersecciones que equivalen a accidentes con más de dos muertos. La intersección Mejicana-Avenida Carlos Bories coincide con el foco en el que existe una concentración de accidentes con la ponderación más alta igual a 13 (equivalente a 4 muertos). Esta intersección (punto 1 en la figura 6) está ubicada en una zona comercial con alto flujo vehicular y peatones. Además, en la intersección de las avenidas Martínez de Aldunate y Pedro Aguirre Cerda (punto 2 en la figura 6), existe otro punto con alta ponderación ENA que coincide con la concentración de accidentes calculado con el método EDK y además con la recurrencia de puntos negros. Esta intersección es altamente conflictiva ya que se unen dos avenidas principales con bandejas centrales y alto flujo vehicular que usualmente transitan vehículos con altas velocidades.



Figura 5: Gravedad de los lesionados por año

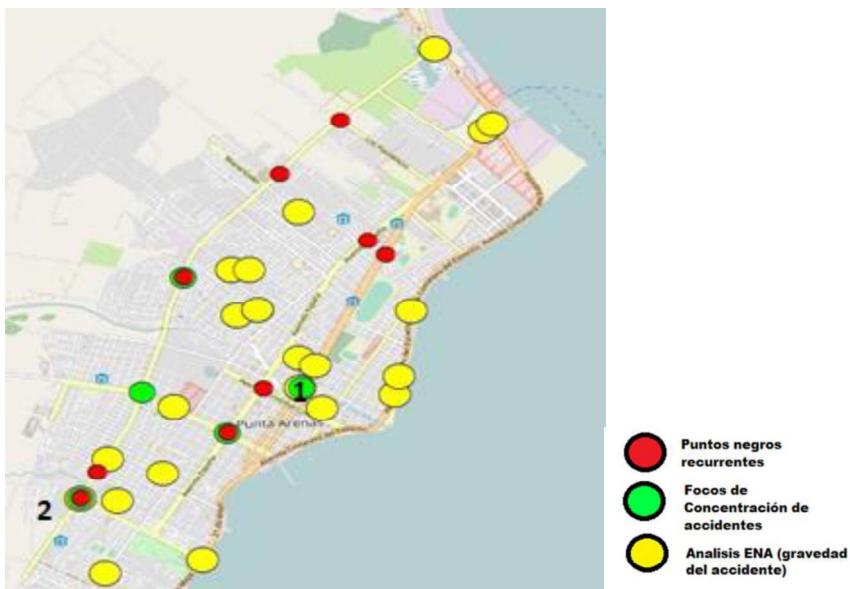


Figura 6: Resultados del método ENA y su comparación con puntos negros y EDK

### 3.4 Análisis de hora de ocurrencia de accidentes

De la figura 7, se puede concluir que el horario en que más ocurren accidentes es en la mañana entre las 7 y 8 hrs, a la hora de almuerzo entre 12 y 13 hrs y en la tarde entre las 18 y 19 hrs. Posteriormente, el número de accidentes disminuye después de las 22 hrs. Aplicando EDK a los accidentes que ocurrieron en el rango de las horas de mayor ocurrencia (18-19 hrs.), se identificaron cinco focos de concentración de accidentes (Ver figura 8). Los focos 1 y 3 provenientes del análisis EDK coinciden con los puntos negros recurrentes utilizando todos los accidentes que ocurren durante del día. Por lo tanto, se sugiere que las autoridades deberían priorizar la toma de medidas en estas dos intersecciones.



Figura 7: Ocurrencia de accidentes por hora del día



Figura 8: Concentración de accidentes EDK para el rango horario entre 18 y 19 hrs

### 3.5 Análisis de tipo de accidente

Los accidentes en Punta Arenas se caracterizan principalmente por colisiones entre vehículos en movimiento y choques entre vehículos en movimiento y objetos detenidos con un 47.2% y 35.7%, respectivamente, seguido por atropellos con un 9.7% y volcaduras con un 3%, como lo muestra la figura 9. Estas estadísticas muestran que esta ciudad posee las mismas tendencias en los porcentajes en el tipo de accidentes a nivel nacional. Dado que casi la mitad de los accidentes son colisiones, se puede aludir en gran parte a la responsabilidad de los conductores.

La figura 10 muestra los resultados del método EDK con los focos que presentan los siniestros según el tipo de accidente. Las colisiones, choques y atropellos tienden a coincidir en el centro de Punta Arenas con la mayor concentración de estos accidentes. La mayor concentración de los accidentes que resultaron en volcaduras se aprecia en las avenidas y en los accesos de la misma donde usualmente los vehículos transitan a exceso de velocidad, como lo indica la figura 10D.

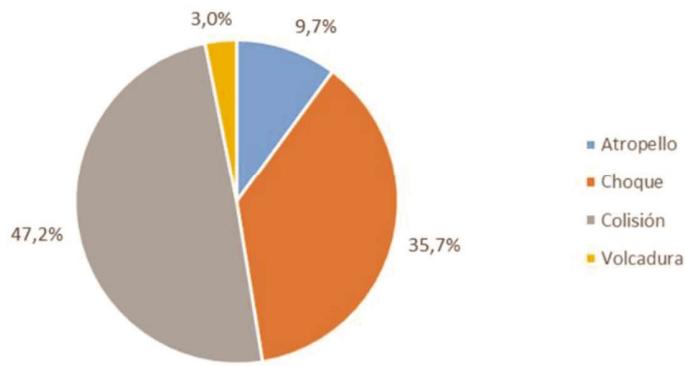


Figura 9: Estadísticas por tipo de accidente

### 3.6 Análisis de causas

Las causas más comunes de los accidentes son i) la conducción en estado de ebriedad (16%), ii) la conducción no atenta a las condiciones del tránsito en el momento (12.9%) y iii) otras causas (12.6%), como se observa en la figura 11. La figura 12 muestra las estadísticas de las causas estandarizadas donde aproximadamente el 46% de los accidentes ocurren por responsabilidad de los conductores, el 31% son causas no determinadas, 14% son otras causas y 9% es responsabilidad del peatón. El alto porcentaje de accidentes con la responsabilidad de los conductores coincide con el alto porcentaje de colisiones mencionado anteriormente.

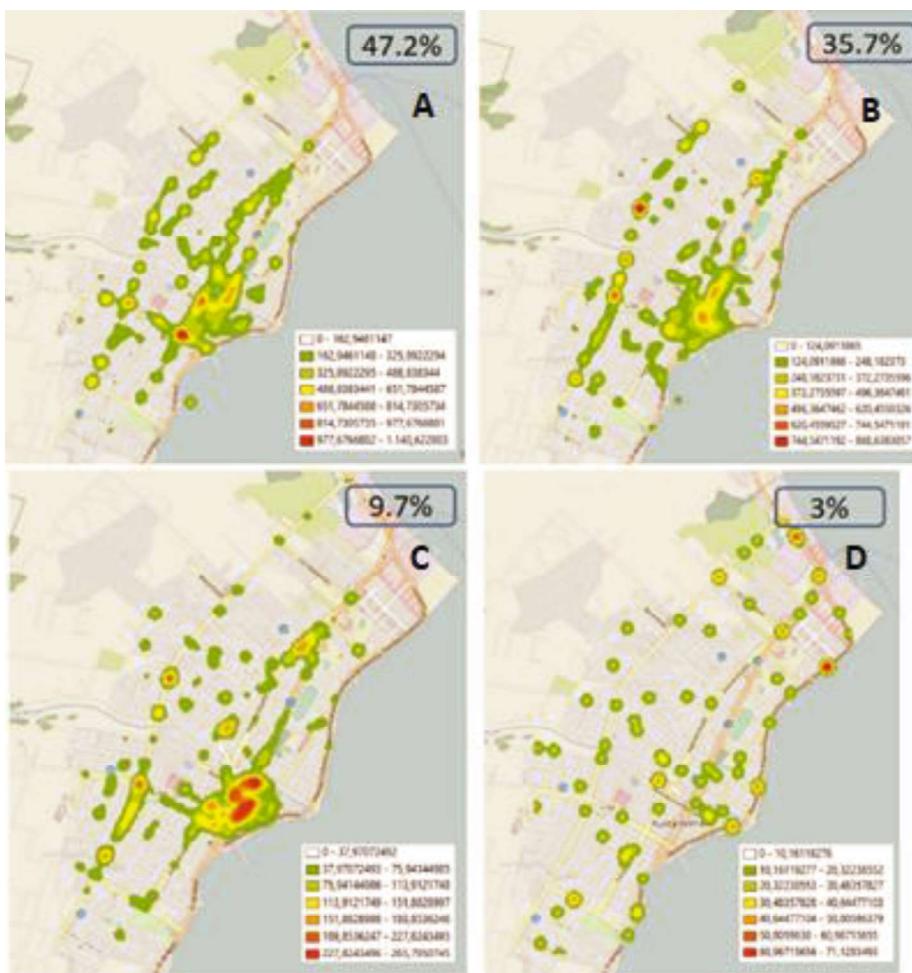


Figura 10: Concentración de accidentes por tipo de accidente: A) colisiones, B) choques, C) atropellos y D) volcaduras

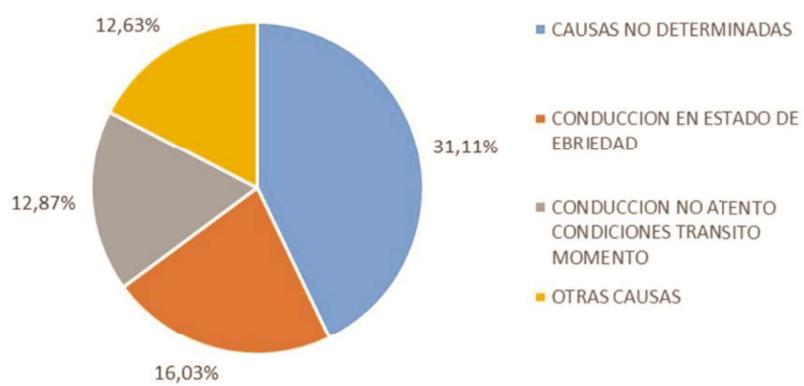


Figura 11: Estadísticas por causas de accidentes

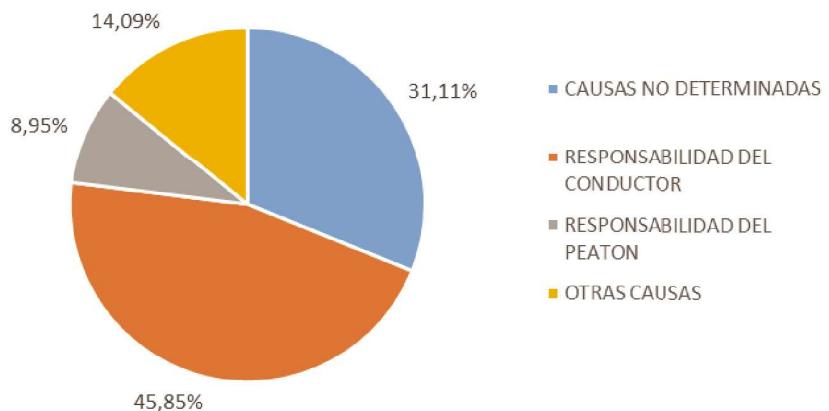


Figura 12: Causas de accidentes estandarizadas

### 3.7 Causa: Accidentes viales por consumo de alcohol

De los 1.151 accidentes de tránsito que ocurrieron en el periodo del estudio por el consumo de alcohol en la Región de Magallanes, 948 de éstos pertenecen a la ciudad de Punta Arenas, que a su vez corresponden al 13,5% del total de los accidentes ocurridos en la comuna. De los principales resultados, se puede corroborar que el rango etario de personas adultas jóvenes es la que más conduce bajo estado de ebriedad o bajo influencia de alcohol (39,8%), y a medida que las personas tienen más edad, la tasa de accidentes baja, por lo que hay una relación directa con edad y responsabilidad al volante, como lo muestra la figura 13. Otro resultado importante está relacionado con la gravedad de estos accidentes causados por el consumo de alcohol. Aunque la mayoría de las personas involucradas resultan ilesos o leves, los lesionados menos graves, graves y fallecidos suman un total de 112 personas en el periodo de estudio, que corresponde a aproximadamente un 10% de los accidentes totales. Finalmente, el horario de los accidentes muestra que la mayor frecuencia de los accidentes bajo la influencia del alcohol se encuentra entre las 4 y 6 hrs. de la mañana, por lo que se puede deducir que ocurren después del cierre de los locales nocturnos tales como pubs, discotecas, etc.

Mediante el análisis de estos accidentes con el método EDK, los resultados arrojaron que nuevamente la zona céntrica de la ciudad es la más afectada por estos accidentes (4:00 - 6:00 hrs) mostrando una densidad muy elevada tal como lo ilustra la figura 14. Finalmente, las avenidas principales de la ciudad también muestran una alta densidad de accidentes por consumo de alcohol durante los años del estudio, en donde se detectaron trece intersecciones con un alto número de estos accidentes (Ver figura 15).

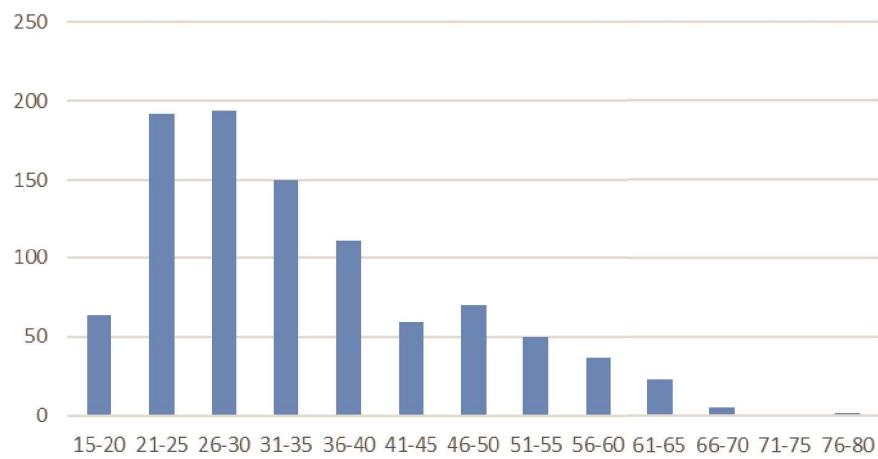


Figura 13: Número de accidentes por rango etario relacionado al alcohol.

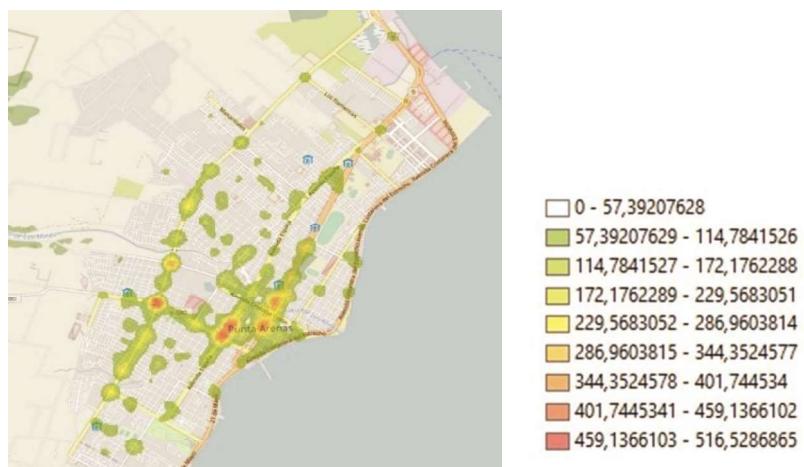


Figura 14: Análisis EDK de los accidentes relacionados con el consumo de alcohol



Figura 15: Agrupación de accidentes con relación al alcohol

#### 4. CONCLUSIÓN

Para enmarcar el objetivo de este estudio, las zonas que deben ser tratadas de forma prioritaria están definidas a través de puntos negros (cinco o más accidentes en el periodo de un año), y que además son recurrentes a lo largo del periodo de estudio. Como resultado, se identificaron cinco focos de mayor concentración de accidentes viales entre el año 2010 y 2015. Dando la importancia relacionada con la gravedad de los accidentes, se identificaron además 20 intersecciones con accidentes equivalentes a más de dos muertos como personas involucradas.

Este estudio coincide con la información entregada por los medios locales sobre la principal causa de los accidentes ocurridos en Magallanes dada por la conducción en estado de ebriedad. Cabe destacar que del total de personas involucradas en los accidentes viales, el 32.2% resultaron lesionados leves, graves, menos graves o fatales. Además, el mayor número de accidentes ocurrieron entre las 19:00 y 21:00 horas, donde se identificaron cinco focos. Además, se desprende que aproximadamente el 50% de los accidentes ocurridos en Punta Arenas entre los años 2010 y 2015 son colisiones entre vehículos en movimiento. Dado que más de la mitad de los accidentes son colisiones, se puede aludir en gran parte a la responsabilidad de los conductores.

Con respecto a los accidentes debido al consumo de alcohol, la ubicación de los locales con patentes de alcohol en el centro de la ciudad puede ser un factor importante en la ocurrencia de los accidentes. Este tema relevante requiere de una investigación futura. Además, se debe estudiar con más detalle la vinculación entre estos accidentes y la participación de los jóvenes desde una perspectiva espacial y temporal.

#### BIBLIOGRAFÍA

Affum, J. K. and M. A. P. Taylor (1995) Integrated GIS Database for Road Safety Management. Technology Tools for Transportation Professionals: Moving into the 21st Century, International Conference, Institute of Transportation Engineers, Washington, D.C., pp. 189–193

Anderson, T. Kernel density estimation and K-means clustering to profile road accident hotspots. **Accident Analysis & Prevention**, 41(3), 359-364.

Bil, M., R. Andrasik, y Z. Janoska (2013) Identification of hazardous road locations of traffic accidents by means of kernel density estimation and cluster significance evaluation. **Accident Analysis & Prevention**, 55, 265-273.

Blazquez, C., y M. Celis (2013) A spatial and temporal analysis of child pedestrian crashes in Santiago, Chile. **Accident Analysis & Prevention**, 50, 304-311.

Cantillo, V., P. Garcés y L. Márquez (2016) Factors influencing the occurrence of traffic accidents in urban roads: A combined GIS-Empirical Bayesian approach. **DYNA**, 83(195), 21-28.

Comisión Nacional de Seguridad del Tránsito, CONASET (2008) “Tratamiento de puntos negros con Medidas Correctivas de bajo costo”, [https://www.conaset.cl/wp-content/uploads/2016/01/Manual\\_PuntosNegros-Actualizacion.pdf](https://www.conaset.cl/wp-content/uploads/2016/01/Manual_PuntosNegros-Actualizacion.pdf) (Visitado 27 diciembre, 2016)

Comisión Nacional de Seguridad del Tránsito, CONASET (2015) “Alcohol y conducción”, <http://www.conaset.cl/alcohol-y-conduccion/> (Visitado 14 febrero, 2017)

Comisión Nacional de Seguridad del Tránsito, CONASET (2016) **Ficha nº16 Medidas de bajo costo.** Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. [https://www.conaset.cl/wp-content/uploads/2016/01/fichas\\_accion\\_16.pdf](https://www.conaset.cl/wp-content/uploads/2016/01/fichas_accion_16.pdf) (Visitado 30 abril, 2017)

Flahaut, B., M. Mouchart, E. San Martin y I. Thomas (2003) The Local Spatial Autocorrelation and the Kernel Method for Identifying Black Zones. **Accident Analysis & Prevention**, 35(6), 991-1004.

IRTAD (2015) **Road safety annual report.** [http://www.oecd-ilibrary.org/transport/road-safety-annual-report-2015\\_irtad-2015-en](http://www.oecd-ilibrary.org/transport/road-safety-annual-report-2015_irtad-2015-en) (Visitado 14 febrero, 2017)

La Prensa Austral. (2015) **Magallanes encabeza la tasa de accidentes de tránsito por consumo de alcohol,** 12 Diciembre 2015. <http://laprensaustral.cl/titular1/magallanes-encabeza-tasa-de-accidentes-de-transito-por-consumo-de-alcohol/> (Visitado 14 febrero, 2017)

Mitra, S. (2008) **Enhancing Road Traffic Safety: A GIS Based Methodology to Identify Potential Areas of Improvement**, California Polytechnic State University, San Luis Obispo.

Moreno, A. (1991) Modelización cartográfica de densidades mediante estimadores Kernel. **Treballs de la Societat Catalana de Geografia**, 155-170.

Organización Mundial de la Salud, OMS (2015) **Resumen informe sobre la situación mundial de la seguridad vial.** Ginebra, Suiza, 7-8.

Ulloa, N. (2015) **Magallanes es la segunda región con más accidentes de tránsito a nivel nacional**, La Prensa Austral, 12 de septiembre 2015. <http://laprensaustral.cl/titular1/magallanes-es-la-segunda-region-con-mas-accidentes-de-transito-a-nivel-nacional/> (Visitado 14 febrero, 2017)