

# Analysis of traffic accidents in the conurbation of Viña del Mar and Valparaíso using the spatial tool KDE+

Gabriela Carvajal, BSc<sup>1</sup>, Carola Blazquez, PhD<sup>1</sup> y Karen Sauer-Brand, PhD<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Andres Bello, Chile, g.carvajalbruna@uandresbello.edu, cblazquez@unab.cl, k.sauerbrand@uandresbello.edu

*Abstract- This study investigates the traffic accidents between the years 2015 and 2019 due to the imprudence of the driver in the conurbation Viña del Mar y Valparaíso. Thus, critical segments of the road network were identified with the spatial analysis with the KDE+ tool. As opposed to the Kernel density estimation that generates a surface in two dimensions, KDE+ determines the statistically significant critical segments in one dimension along the road network. Results identified the road segments with high collective risk in each city. When comparing the results for both cities, Viña del Mar presents a higher collective risk than Valparaiso in the number of critical segments and the value of this risk. In addition, the majority of the critical segments are located in the downtown area of both cities. Through the results of this study, authorities may assign resources to implement new measures in the most critical segments for imprudent drivers, and thus, reduce the traffic accident rate in the conurbation.*

*Keywords- Traffic safety, Kernel density, spatial clusters, Chile*

•

# Análisis de accidentes de tránsito en la conurbación de Viña del Mar y Valparaíso utilizando la herramienta espacial KDE+

Gabriela Carvajal, BSc<sup>1</sup>, Carola Blazquez, PhD<sup>1</sup> y Karen Sauer-Brand, PhD<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Andres Bello, Chile, g.carvajalbruna@uandresbello.edu, cblazquez@unab.cl, k.sauerbrand@uandresbello.edu

**Resumen**— Este estudio investiga los accidentes de tránsito ocurridos entre los años 2015 y 2019 debido a la imprudencia del conductor en la conurbación Viña del Mar y Valparaíso, Chile. Para ello, se identificaron los tramos críticos en la red vial a través del análisis espacial con la herramienta KDE+. A diferencia de la estimación de densidad de Kernel que genera una superficie en dos dimensiones, KDE+ determina los tramos críticos estadísticamente significativos en una dimensión a lo largo de la red vial. Los resultados identificaron los tramos de vía con mayor riesgo colectivo en cada ciudad. Al comparar los resultados entre ambas ciudades, se aprecia que Viña del Mar presenta un mayor riesgo colectivo que en Valparaíso tanto en el número de segmentos críticos como el valor de este riesgo. Además, se observa que la mayoría de estos segmentos críticos se encuentran en la zona céntrica de ambas ciudades. Mediante los resultados de este estudio, las autoridades podrán asignar recursos para implementar nuevas medidas en los tramos más críticos para los conductores imprudentes y así disminuir la tasa de accidentes viales en la conurbación.

**Palabras claves**—Seguridad vial, densidad de Kernel, clústeres espaciales, Chile.

## I. INTRODUCCIÓN

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), los accidentes de tránsito causan aproximadamente 1,35 millones de muertes anuales a nivel mundial [1]. Por lo tanto, reducir los accidentes de tráfico y sus consecuencias socioeconómicas es prioritario [2]. En Chile, en el año 2019, según datos distribuidos por la Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito (CONASET), se registraron 1.617 fallecidos de un total de 89.983 accidentes viales. Esta cifra en mortalidad por accidentes vehiculares tiene una tendencia a seguir aumentando a pesar de la promulgación de diferentes leyes en Chile que sancionan drásticamente a los conductores [3]. Además, en el mismo año, se constataron 45.731 (50.8%) accidentes de tránsito a causa de la imprudencia del conductor dejando 415 fallecidos y 24.257 lesionados. Estas cifras muestran una tendencia al alza en el tiempo, como se aprecia en la Fig. 1. Cabe destacar que esta causa incluye efectuar adelantamientos inapropiados, conducir sin estar atento a las condiciones del tráfico o sin mantener distancia razonable, no respetar derecho preferente del peatón o vehículo y realizar virajes indebidos.

Además de las pérdidas de vida, los accidentes de tránsito producen un gran impacto económico que directa o indirectamente que impacta a todos los ciudadanos. En Chile, se estima que los costos de los accidentes de tránsito alcanzan

el 2,1% del Producto Interno Bruto (PIB) [4]. Por lo tanto, existe una preocupante necesidad de identificar zonas peligrosas para implementar medidas preventivas que mitiguen los accidentes viales más peligrosos y así aumentar la seguridad vial en Chile.

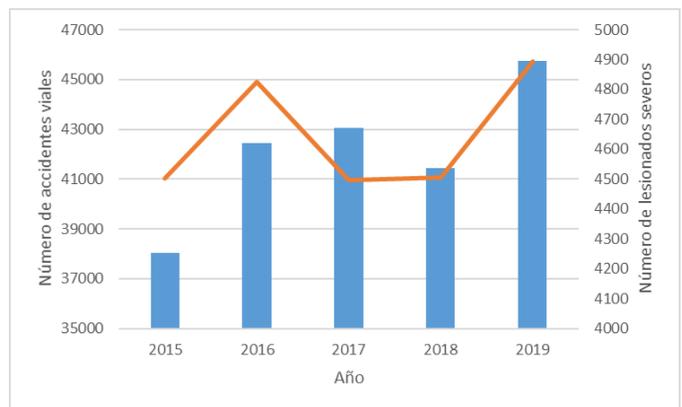


Fig. 1 Número de accidentes y lesionados severos por imprudencia del conductor en Chile entre 2015 y 2019.

En este estudio, se investigaron los accidentes vehiculares ocurridos en la conurbación de Viña del Mar y Valparaíso en el período 2015-2019. Para ello, se utilizó la herramienta espacial KDE+ para identificar los segmentos críticos con mayor intensidad y riesgo de accidentes de tráfico [2]. El método KDE+ se basa en los principios de la estimación de la densidad de Kernel (Kernel Density Estimation. KDE), el cual es un método no paramétrico que estima la función de densidad de probabilidad de una variable aleatoria dando como resultado una superficie de estimaciones de densidad [5]. El símbolo '+' indica que el método permite la selección objetiva de clústeres significativos y la clasificación de los segmentos críticos [6]. A diferencia de KDE que es un método plano en dos dimensiones, el método KDE+ tiene la ventaja de identificar clústeres en el espacio de una dimensión a lo largo de la red vial [6]. Además, KDE se utiliza prioritariamente para propósitos de visualización ya que no presenta la significancia estadística de los clústeres. En contraste, el método KDE+ tiene la cualidad de identificar las ubicaciones más peligrosas en las vías usando una prueba de significancia de los clústeres [7, 8].

## II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El método KDE+ fue presentada por primera vez en el año 2013 en el trabajo de [7] para identificar puntos peligrosos y la evaluación de clústeres significativos de accidentes viales en la red vial. [8] utilizaron este método para estudiar los patrones de accidentes viales que ocurren en la República Checa y además identificar y clasificar los clústeres según su intensidad. Los resultados del estudio mostraron las zonas más peligrosas y que el largo total de los clústeres cubre aproximadamente el 2,8% del total de la red vial. Similarmente, [9] estudiaron las colisiones entre vehículos y animales salvajes en la República Checa entre el 2009 y el 2013 usando el método KDE+. Este método realiza un ranking de los clústeres según sus intensidades. Como resultado, se seleccionaron 100 clústeres significativos que cubren aproximadamente 0,05% de la red vial del país.

Luego, en el 2018, [10] identificaron puntos críticos con más frecuencia que lo esperado de las colisiones entre vehículos y animales salvajes en el norte de Italia entre los años 2012 y 2014. Los resultados del estudio permitieron identificar los tramos de carretera con mayor riesgo para los conductores y así delinear mejor la implementación posterior de medidas de mitigación. Continuando con las colisiones entre vehículos y animales salvajes, [11] examinaron los factores que explican los clústeres de estas colisiones con el método KDE+. Los resultados sugieren que la cercanía a bosques y vegetación son importantes factores para estimar la presencia de clústeres de colisiones entre vehículos y animales. En el 2020, en el estudio por [12], se investigaron las colisiones entre vehículos y animales salvajes utilizando la herramienta KDE+ para identificar la intensidad y alto riesgo de estos accidentes. Como resultado, se obtuvieron 147 clústeres con intensidad alta superior a 0.6 y una cobertura de alto riesgo de 3,22% del total de la red vial.

Recientemente, [13] usaron KDE+ para identificar la concentración de accidentes viales que involucraron motocicletas en la República Checa entre el 2016 y 2020. De esta manera, se identificaron las zonas más peligrosas, donde existe una acumulación significativa de este tipo de accidentes. Dados los buenos resultados obtenidos en estas investigaciones, se implementó la herramienta KDE+ en la conurbación de Viña del Mar y Valparaíso, Chile para identificar los segmentos de vías que presentan mayor riesgo por accidentes viales debido a la imprudencia del conductor.

## III. DATOS

Como se mencionó en la introducción, la imprudencia del conductor es una principal causa de accidentes viales en Chile, alcanzando la mitad de todos los accidentes viales reportados. La base de datos sobre los accidentes viales en la conurbación de Viña del Mar y Valparaíso fue descargada de la página web de la CONASET<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> <https://mapas-conaset.opendata.arcgis.com/>

Como se puede apreciar en la Fig. 2, existe un mayor número de accidentes en la ciudad de Viña del Mar que en Valparaíso. Además, esta figura indica que los accidentes viales en ambas ciudades generados por la imprudencia del conductor tienden a disminuir a través del tiempo, particularmente en Valparaíso.

La Fig. 3 muestra mapas con los accidentes viales georreferenciados en la conurbación de Viña del Mar y Valparaíso para cada año del estudio. En estas figuras, se puede apreciar que los accidentes de tránsito tienden a concentrarse en las zonas céntricas de cada ciudad.

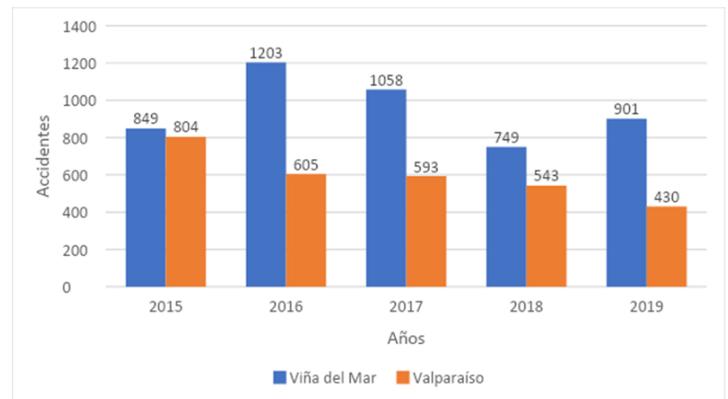
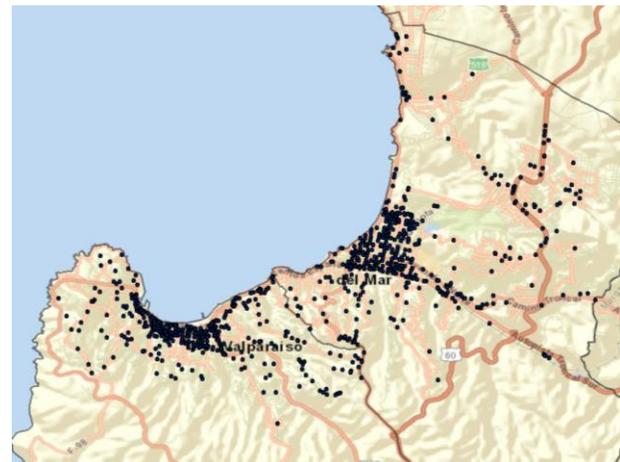


Fig. 2 Número de accidentes viales por imprudencia del conductor en Viña del Mar y Valparaíso en el periodo 2015-2019.



a) 2015

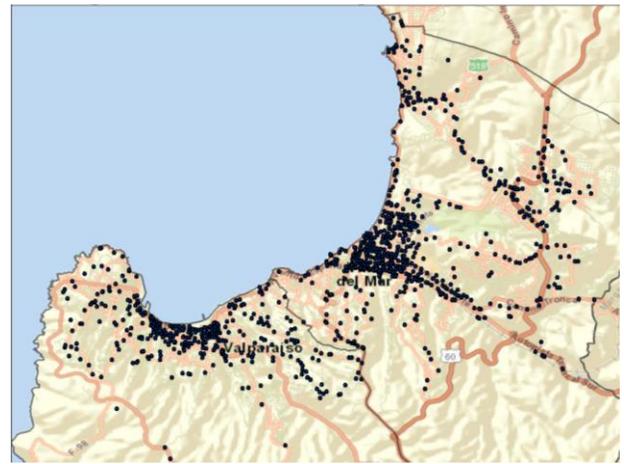
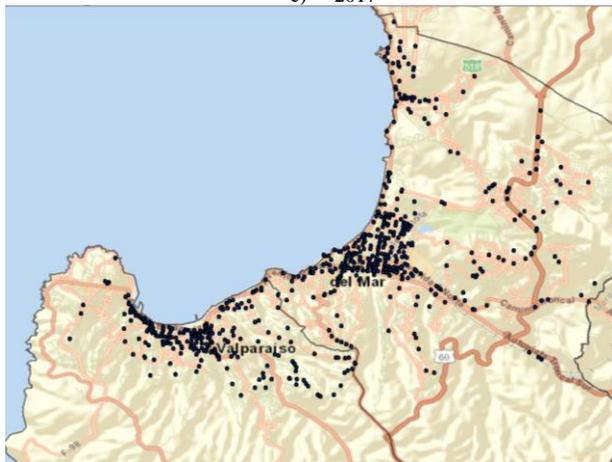
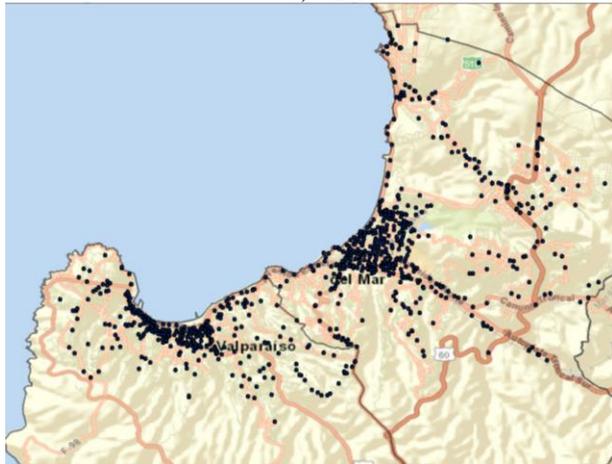
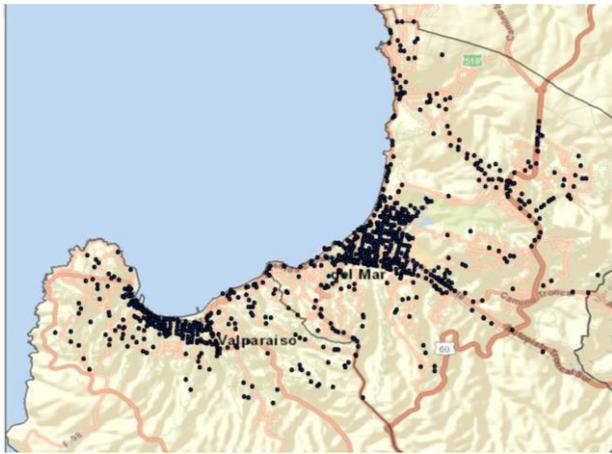


Fig. 3 Accidentes viales por imprudencia del conductor en Viña del Mar y Valparaíso en el periodo 2015-2019.

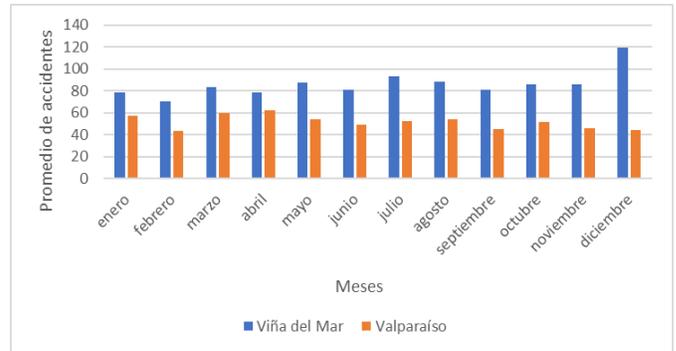


Fig. 4 Promedio de accidentes viales por imprudencia del conductor en Viña del Mar y Valparaíso por mes.

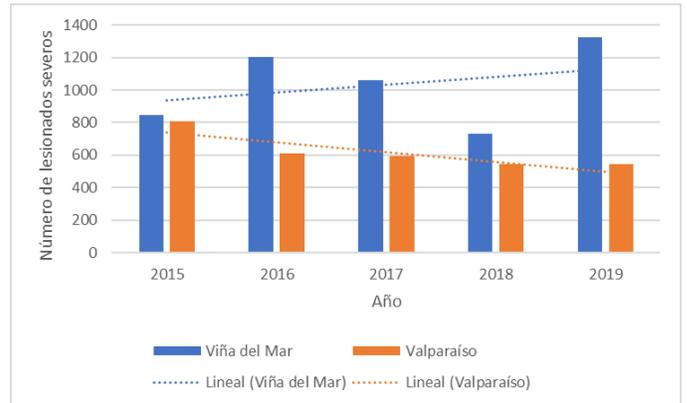


Fig. 5 Número de lesionados severos por accidentes viales debido a la imprudencia del conductor en Viña del Mar y Valparaíso.

La Fig. 4 presenta la variación mensual de los accidentes viales en la conurbación debido a la imprudencia del conductor. Se puede observar de la figura que en promedio ocurrieron más accidentes viales en Viña del Mar que en Valparaíso en todos los meses. Mientras existe una leve fluctuación de accidentes viales en Valparaíso a lo largo del

año, en Viña del Mar tienden a incrementarse hasta obtener un valor promedio más alto en el mes de diciembre con 119,2 accidentes. Esto puede ocurrir porque el aumento de tráfico en la época estival en la conurbación por ser una zona altamente turística.

Con respecto a los lesionados severos, en la Fig. 5, se puede observar que en Valparaíso existe una clara tendencia a la disminución de este tipo de lesiones, lo cual concuerda con la disminución en el número de accidentes viales en el tiempo en dicha ciudad. En cambio, en Viña del Mar, la Fig. 5 muestra que existe una tendencia al alza en el periodo del estudio.

#### IV. METODOLOGÍA

KDE+ asigna una intensidad a cada clúster, el cual se define como el grado de significancia de cada clúster con la intención de compararlos entre ellos [13]. Esta intensidad se expresa como la razón entre el máximo local de la función de Kernel sobre el nivel de significancia y el valor del máximo local en ese punto. Esta intensidad depende del número de accidentes en el clúster, la longitud del clúster, el número restante en la sección y el largo de la sección de la vía [7, 10].

Además, el método KDE+ calcula el riesgo colectivo basado en la intensidad de accidentes de tránsito y su combinación con la densidad en donde ocurren estos accidentes y así se refleja la peligrosidad y la frecuencia con la que ocurren los accidentes en cierta sección de vía. El riesgo colectivo destaca los lugares donde es más probable que ocurra un accidente de tránsito indicando el número de accidentes por largo de tramo de vía. Por lo tanto, el riesgo colectivo de un conjunto depende de la fuerza del conjunto y el número de accidentes de tránsito en un tramo dado [10]. Aunque la herramienta KDE+ entrega los valores para ambos intensidad y riesgo colectivo en tramos con una densidad estadísticamente significativa de accidentes viales, en el presente estudio, solamente se muestran los resultados para el riesgo colectivo ya que ambos están directamente relacionados.

El método KDE+ utiliza simulaciones repetidas de Monte Carlo para detectar los segmentos críticos o clústeres de accidentes de tránsito que son estadísticamente significativos [7]. Por lo tanto, KDE+ tiene la principal ventaja de identificar estas pruebas de significación estadística y además clasificar en grupos significativos resultantes, lo cual resulta en un enfoque objetivo. Otra ventaja es que a diferencia del KDE en dos dimensiones, KDE+ ubica la densidad de los accidentes viales en las vías destacando segmentos de vías en forma lineal [6, 7, 8].

#### V. RESULTADOS

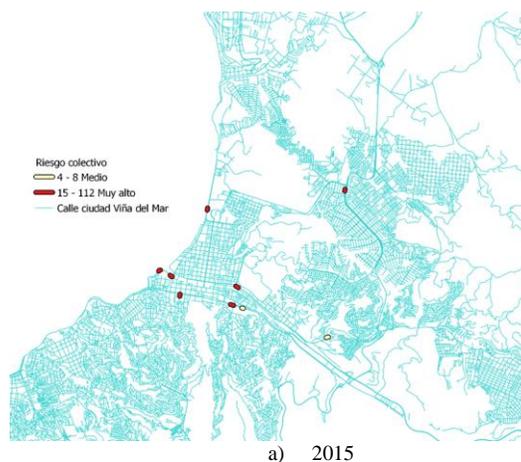
Previo a la implementación de la herramienta KDE+, se debió realizar una depuración y limpieza de los datos. De esta manera, se eliminaron aproximadamente 1,6% de los

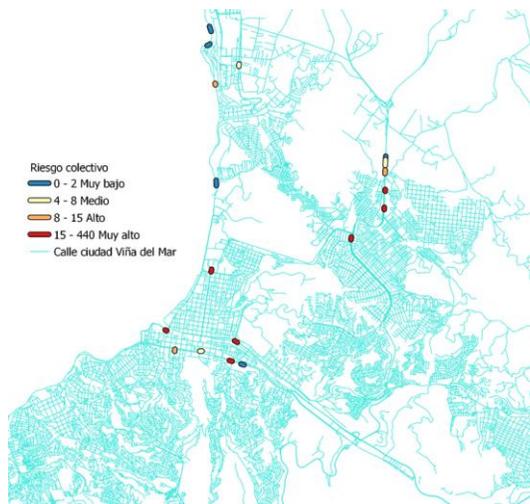
accidentes viales debido a presentar la dirección o comuna incorrecta del accidente o existía información faltante.

Posteriormente, se procedió a utilizar KDE+ con un ancho de banda de 100 metros ya que es comúnmente usada para zonas urbanas [7]. Al ejecutar la herramienta KDE+, se entrega la intensidad de accidentes de tránsito dentro de un grupo y su densidad, para luego, poder obtener el riesgo colectivo que se produce en los tramos críticos. Como resultado, se selecciona un segmento de vía y su subconjunto que es donde se encuentra el riesgo colectivo de esa vía. De esta manera, se identificaron diferentes niveles de riesgo colectivo (muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto) que sugieren que existe mayor peligrosidad de ocurrencia de accidentes de tránsito en ciertos tramos críticos de la red vial de la conurbación.

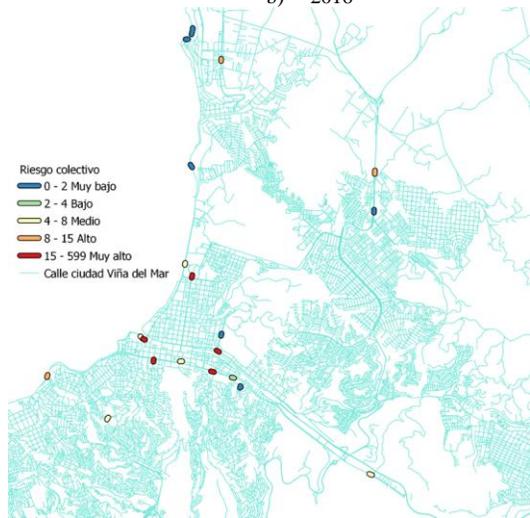
A continuación, las Fig. 6 y 7 muestran diferentes niveles de riesgo colectivo para cada año del estudio en Valparaíso y Viña del Mar, respectivamente. Al comparar estas figuras, se aprecia que existe una mayor cantidad de tramos con riesgo colectivo en Viña del Mar que en Valparaíso. En Viña del Mar, como resultado de la implementación de KDE+ surgen entre 9 y 23 segmentos de vía que presentan riesgo colectivo de accidentes viales entre los años 2015 y 2019, mientras en Valparaíso, el número de tramos varían entre 3 y 6 tramos durante el periodo del estudio. Además, existe riesgo colectivo con rangos altos y muy altos en Viña del Mar con colores naranjos y rojos en cada año del estudio. En contraste, en Valparaíso, los rangos de riesgo colectivos clasificados muy altos se presentan solamente para los años 2017, 2018 y 2019.

La Fig. 6 evidencia que existe una mayor cantidad de segmentos críticos en Viña del Mar, lo cual concuerda con el incremento con el número de accidentes viales en el tiempo. A diferencia de Viña del Mar, la Fig. 7 sugiere un incremento en el nivel de riesgo colectivo por accidentes viales en Valparaíso, indicando que a pesar de que estos accidentes disminuyeron con el tiempo, su riesgo colectivo aumentó. Estos resultados requieren de mayor investigación en el futuro.

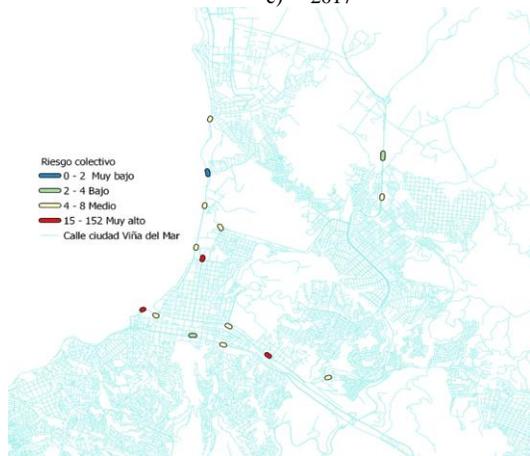




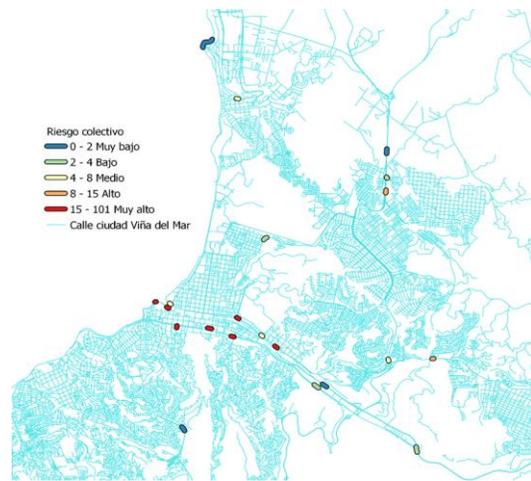
b) 2016



c) 2017

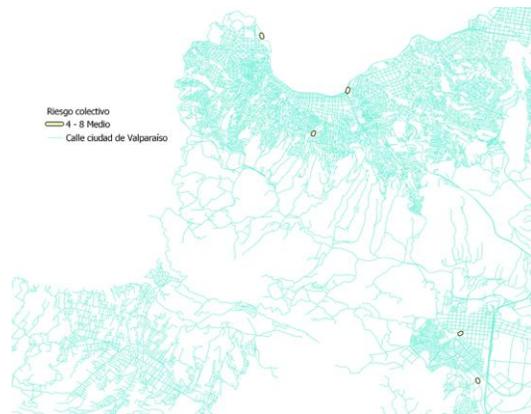


d) 2018

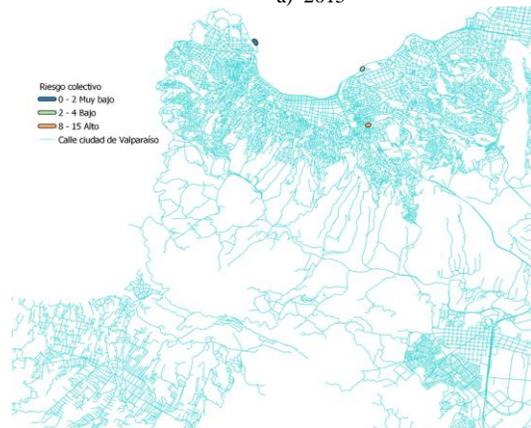


e) 2019

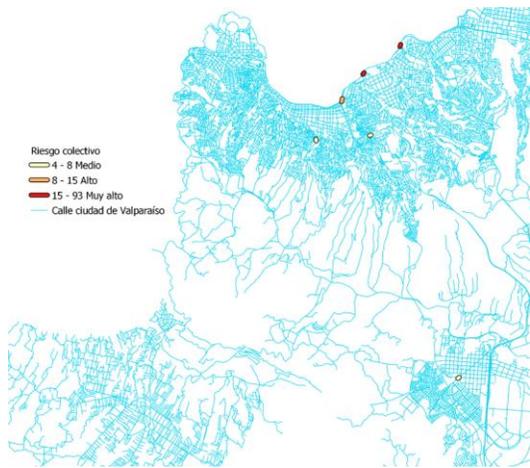
Fig. 6 Riesgo colectivo por accidentes viales debido a la imprudencia del conductor en Viña del Mar en el periodo 2015-2019.



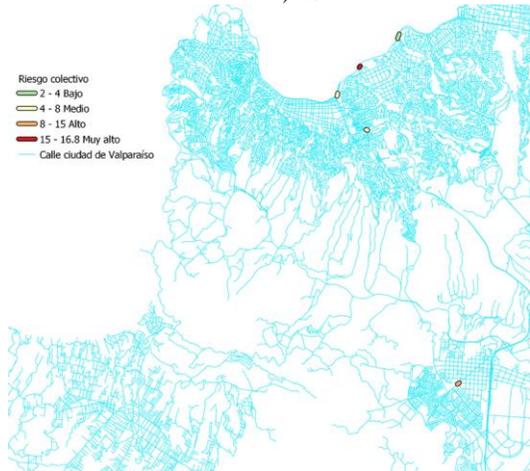
a) 2015



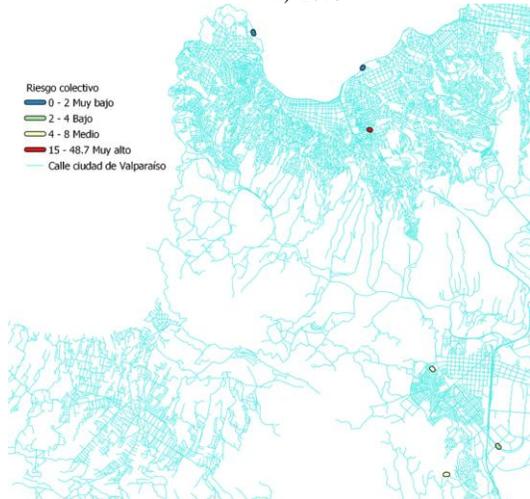
b) 2016



c) 2017



d) 2018

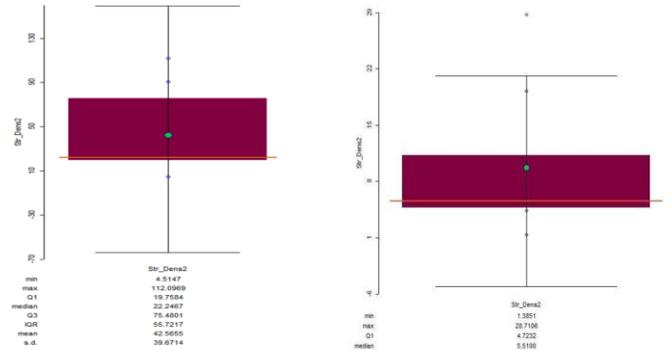


e) 2019

Fig. 7 Riesgo colectivo por accidentes viales debido a la imprudencia del conductor en Valparaíso en el periodo 2015-2019.

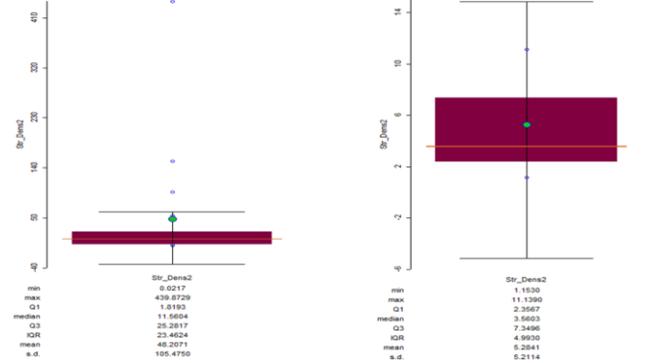
Para poder comparar el riesgo colectivo entre Viña del Mar y Valparaíso, en la Fig. 8, se presentan gráficos con caja y bigotes con estadísticas básicas tales como los cuartiles, mínimos y máximos, medianas, medias, y rangos

intercuartiles. Estos gráficos muestran que los valores de las medias y medianas del riesgo colectivo para Viña del Mar superan los valores para Valparaíso. Además, estos gráficos indican el rango intercuartil (Q3-Q1) para Viña del Mar es inferior al rango intercuartil para Valparaíso, es decir, el 50% del riesgo colectivo por accidentes de tránsito se encuentran en un rango más estrecho con menor dispersión de este riesgo en Viña del Mar. Finalmente, en Viña del Mar, se observan algunos tramos con alto riesgo colectivo que son atípicos alcanzando valores cercanos a 600 accidentes viales por metro lineal en el año 2018. Mientras, en Valparaíso, existen valores atípicos de riesgo colectivo más bajos alrededor de 100 accidentes viales por metro lineal en el año 2017.



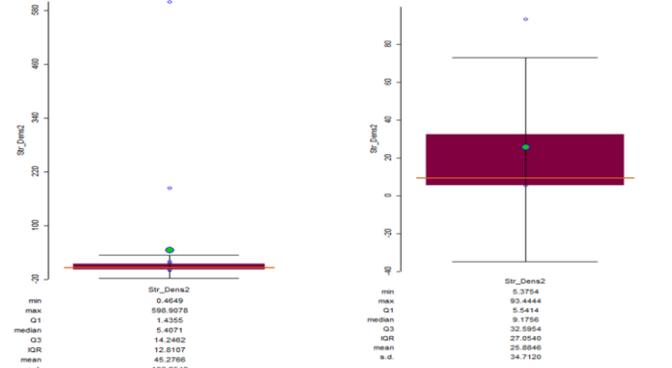
a) Viña del Mar, 2015

b) Valparaíso, 2015



c) Viña del Mar, 2016

d) Valparaíso, 2016



e) Viña del Mar, 2017

f) Valparaíso, 2017

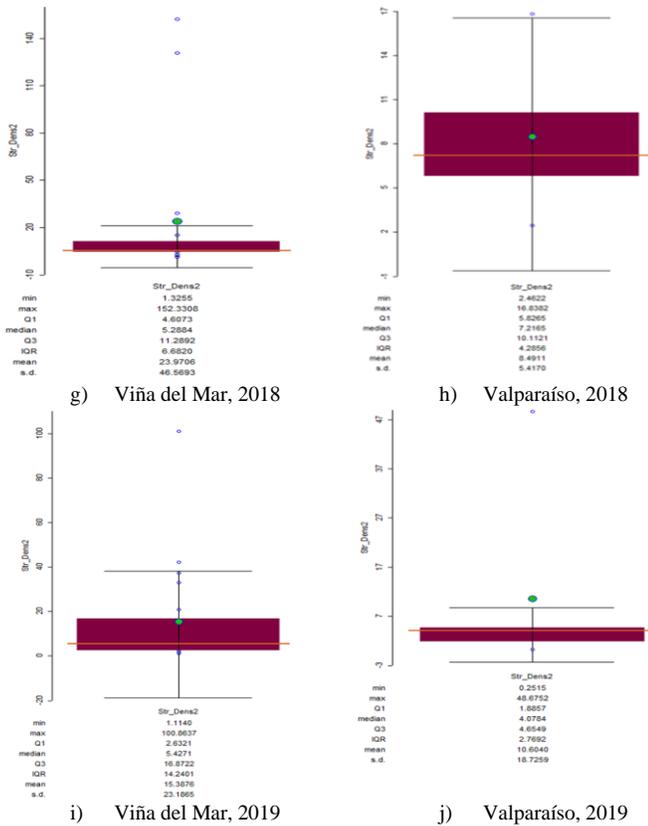


Fig. 8 Gráficos de caja y bigotes para el riesgo colectivo por accidentes viales debido a la imprudencia del conductor en Viña del Mar y Valparaíso en el periodo 2015-2019.

## VI. CONCLUSIONES

En este estudio, se utilizó la herramienta KDE+ para identificar los segmentos de vía estadísticamente significativos con diferentes niveles de riesgo colectivo producto de accidentes viales por la imprudencia del conductor en la conurbación de Viña del Mar y Valparaíso, Chile. Los resultados sugieren que Viña del Mar presenta un número mayor de segmentos críticos y además con mayor riesgo colectivo que en Valparaíso.

Cabe destacar que los tramos de vía identificados con la herramienta KDE+ se ubican en general en las zonas céntricas de la conurbación, particularmente en avenidas con mayor flujo vehicular. Lo anterior sugiere que debe enfocarse una mayor fiscalización en estas zonas que en otras zonas de las ciudades.

Aunque los accidentes viales y el número de lesionados severos producto de la imprudencia del conductor tienden a disminuir en Valparaíso a través de los años del estudio, se observa un riesgo colectivo muy alto entre los años 2017 y 2019, lo que sugiere investigar en el futuro los factores que pueden estar influyendo en esta tendencia.

Como futura investigación, se utilizará el método KDE+ en accidentes viales que hayan sido causados por consumo de alcohol ya que se requiere estudiar el impacto en la seguridad

vial por la promulgación de leyes que sancionan a los conductores en estado de ebriedad. KDE+ puede implementarse en otras ciudades chilenas de diferentes tamaños para así identificar los tramos de vías que presenten alto riesgo colectivo de accidentes viales. Finalmente, otro tema futuro a investigar, que puede ser interesante para la comunidad de seguridad vial, es implementar KDE+ antes y después de la pandemia por COVID-19.

## REFERENCES

- [1] Organización Mundial de la Salud, OMS, "Traumatismos causados por el tránsito," 2021 [Online]. <https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/road-traffic-injuries>
- [2] E. Zahran, S. Tan, E. Tan, N. Mohamad'Asri Putra, Y. Yap, and E. Abdul Rahman, "Spatial analysis of road traffic accident hotspots: evaluation and validation of recent approaches using road safety audit," *J Transp Saf Secur*, vol. 13, no. 6, pp. 575-604, 2021.
- [3] A. Rampinelli, J.F. Calderón, C. Blazquez, K. Sauer-Brand K, N. Hamann, and J.I., Nazif-Munoz, "Investigating the risk factors associated with injury severity in pedestrian crashes in Santiago, Chile," *Int J Env Res Pub He*, vol. 19, no. 17, 11126, 2022.
- [4] Comisión Nacional de Seguridad del Tránsito, CONASET, "Costo social de los siniestros de tránsito en Chile," 2021 [Online] <https://www.conaset.cl/wp-content/uploads/2021/05/Costos-accidentes-2020.pdf>
- [5] E. Parzen. On estimation of a probability density function and mode. *Ann Math Stat*, vol. 33, no. 3, pp. 1065-1076, 1962.
- [6] R. Andrášik, "Spatial analysis of traffic crashes by the use of kernel density estimation", Thesis, 2017 [Online] <https://library.upol.cz/arl-upol/cs/csg/?repo=upolrepo&key=95918507531>
- [7] M. Bíl, R. Andrášik, and Z. Janoska, "Identification of hazardous road locations of traffic accidents by means of kernel density estimation and cluster significance evaluation," *Accid Anal Prev*, vol. 55, pp. 265-273, 2013.
- [8] M. Bíl, and R. Andrášik, "Traffic accidents: Random or pattern occurrence?," 2015 [Online] [https://www.researchgate.net/profile/Michal-Bil/publication/281555471\\_Traffic\\_accidents\\_Random\\_or\\_pattern\\_occurrence/links/562f288208ae04c2aeb61acc/Traffic-accidents-Random-or-pattern-occurrence.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Michal-Bil/publication/281555471_Traffic_accidents_Random_or_pattern_occurrence/links/562f288208ae04c2aeb61acc/Traffic-accidents-Random-or-pattern-occurrence.pdf).
- [9] M. Bíl, R. Andrášik, R., T. Svoboda, and J. Sedoník, "The KDE+ software: a tool for effective identification and ranking of animal-vehicle collision hotspots along networks," *Landscape Ecol*, vol. 31, pp. 231-237, 2016.
- [10] F. Favilli, M. Bíl, J. Sedoník, R. Andrášik, P. Kasal, A. Agreiter, and T. Streifeneder, "Application of KDE+ software to identify collective risk hotspots of ungulate-vehicle collisions in South Tyrol, Northern Italy," *Eur J Wildl Res*, vol. 64, no. 59, pp. 1-12, 2018.
- [11] T. Bartonička, R. Andrášik, M. Duřa, J. Sedoník J, and M. Bíl, "Identification of local factors causing clustering of animal-vehicle collisions," *J Wildlife Manage*, vol. 82, no. 5, pp. 940-947, 2018.
- [12] M. Bíl, and R. Andrášik, "The effect of wildlife carcass underreporting on KDE+ hotspots identification and importance," *J Environ Manage*, vol. 275, 111254, 2020.
- [13] S. Kraft, M. Marada, J. Petříček, V. Blažek, and T. Mrkvička, "Identification of motorcycle accidents hotspots in the Czech Republic and their conditional factors: The use of KDE+ and two-step cluster analysis," *Geogr J*, vol. 188, no. 3, pp. 444-458, 2022.