

ATROPELLOS DE ESCOLARES: UN ANÁLISIS ESPACIAL EN EL GRAN SANTIAGO

MARCELA SOLANGE CELIS CISTERNA

Universidad Andrés Bello
Sazié 2315, Piso 2, Santiago, Chile
mcelis@unab.cl

CAROLA BLÁZQUEZ LAVÍN., PhD

Universidad Andrés Bello
Sazié 2315, Piso 2, Santiago, Chile
cblazquez@unab.cl

ABSTRACT

En la última década, los sistemas de información geográfica por su gran utilidad en el análisis geográfico espacial se han utilizado en múltiples investigaciones, entorno a accidentes vehiculares por zonas de trabajo, tráfico, crecimiento de la población, nivel socioeconómico, etc. En Chile, existe escasa bibliografía con respecto a un análisis espacial y estadístico de atropellos de niños, pese al gran aumento de muertes por esta causa en todo el país, en donde el 9% de estos atropellos ocurrieron en el Gran Santiago. En este estudio se realizó un análisis exploratorio espacial con datos históricos de nueve años entregados por la Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito (CONASET), planteando una metodología para visualizar e identificar áreas críticas en el Gran Santiago con mayor índice de atropellos de niños y sus factores asociados en la ocurrencia de éstos mediante el uso de SIG. Para ello, se utilizó la densidad de Kernel, la clusterización por medio del vecino más cercano, y luego la autocorrelación espacial de Moran I para determinar las variables asociados a estas áreas y su relación o aleatoriedad con los atropellos de escolares. Los resultados identificaron siete áreas críticas con alta frecuencia de atropellos de niños y ocho variables significativas. El análisis de autocorrelación espacial indica que la responsabilidad del peatón es una de las principales razones de la generación de los atropellos de escolares y que las variables evaluadas se mantienen en el transcurso de los años.

Palabras Claves: Sistemas de Información Geográfica, Atropello, Escolares, Análisis Espacial, Kernel

Número de palabras: 6024

I. INTRODUCCIÓN

En el año 2008, la OMS y la UNICEF publicaron un informe Mundial sobre la prevención de lesiones en niños, el cual indica estadísticamente que las muertes de niños a nivel mundial por accidentes de tránsito representan el 2% anual de las muertes totales. En el año 2004, alrededor de 262.000 niños de todo el mundo murieron atropellados, correspondiendo aproximadamente al 30% del total de muertes por accidentes en carreteras. Los datos muestran que a nivel mundial, la tasa de mortalidad por atropellos es de 10,7 por cada 100.000 habitantes, aunque existen variaciones según datos provenientes de países con ingresos medios o altos. Por ejemplo, la tasa de mortalidad por atropellos en el sudeste de Asia es de 7,4 por cada 100.000 habitantes, mientras que en la Región de África es 19,9 por 100.000 habitantes (UNICEF, 2004). Mientras que en Latinoamérica, Argentina lidera con 910 niños atropellados anuales (Asociación Civil Luchemos por la Vida, 2010). Además, en el informe de UNICEF se predice que para el 2030 la muerte por accidentes de tránsito será el principal motivo de muerte de niños menores de 18 años. Los atropellos son la principal causa de discapacidad para los niños, según las encuestas de OMS (2004). La tasa de discapacidad permanente entre los niños de 3 a 18 años de edad que resultaron lesionados producto de un accidente de tránsito es de 20 por cada 100.000 niños. Como resultado de sus lesiones, un número significativo de niños requiere hospitalización y pérdida de clases.

Según un estudio realizado con nueve años de datos sobre accidentes de tránsito en Chile (Montt, 2006), se detectó que el 49% del total de los accidentes corresponde a la colisión entre vehículos y el 39% de los accidentes de tránsito con resultados de muerte son del tipo atropello. En Chile, aproximadamente el 9% del total de atropellos que ocurrieron en la Región Metropolitana durante el período 2000 al 2008 afectaron a niños entre 5 y 18 años de edad, de los cuales el 39,49% de los atropellados involucrados resultaron con lesiones de tipo grave, menos grave y muerto. En cambio, el 60,51% de los atropellados presentaron resultados leves o menos graves, de lo que se deduce que las personas atropelladas resultaron con alguna lesión física en un 99,7%. Según la clasificación dada por la Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito (CONASET), la causa más frecuente de estos atropellos está dada porque el peatón cruza la calzada en forma sorpresiva o descuidada.

En la última década, diversos estudios han utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG), como herramienta para el manejo y análisis espacial de datos, y modelos estadísticos para la predicción de accidentes de tránsito. Por ejemplo, Noland y Quddus (2005) efectuaron un estudio sobre la implicancia de las zonas congestionadas y descongestionadas en los accidentes de tránsito ocurridos

en Londres. A través de un análisis espacial con SIG, los autores estudiaron los principales accidentes vehiculares confirmando que los volúmenes de tráfico son el principal factor de accidentes, mientras que el uso de suelo y los peatones no fueron incorporados al análisis. Salem et al (2006) utilizaron SIG para el análisis espacial, demográfico y estadístico de las zonas de trabajos en carreteras donde se produce un mayor número de accidentes vehiculares sin considerar otros factores de tránsito relacionados. Ladrón de Guevara et al (2004) estudiaron accidentes de tránsito ocurridos en el Estado de Arizona en Estados Unidos para capturar, almacenar, analizar, y visualizar información georreferenciada, para luego implementar el Modelo Binomial Negativo en el pronóstico de éstos. Este modelo permitió confirmar su hipótesis de relación positiva entre la densidad demográfica y los volúmenes de tráfico vehicular. Ng et al (2002) presentaron un algoritmo para estimar el número de accidentes de tránsito y evaluar el riesgo de estos accidentes en un área de estudio mediante el uso de SIG y métodos estadísticos tales como el análisis de cluster y de regresión. En su análisis los autores detectaron que los factores relacionados con el uso de suelo son los que influyen en la generación de un accidente en las zonas analizadas. Loo (2006) mencionó que es necesario evaluar y validar la ubicación de los accidentes antes de realizar un análisis espacial. Por lo tanto, el autor propuso un sistema de validación de datos espaciales basado en SIG que automáticamente verifica si la base de datos policial contiene los nombres correctos de las calles. Sin embargo, este análisis es factible de desarrollar sólo en los casos en que las instituciones cuenten con sistemas de bases de datos compatibles entre sí para validar la información y trabajar con una fuente con bajo margen de error. Salminen et al (2008) realizaron un estudio estadístico espacial en SIG para analizar las diferencias de género en las lesiones por accidentes ocurridos en las escuelas finlandesas, obteniendo como resultado que los varones son implicados en las lesiones de escuela con mayor frecuencia que las niñas. Kim y Levine (1996) utilizaron el método del vecino más cercano para detectar la distribución espacial de los accidentes en la red de carreteras, identificando las principales razones de la generación de accidentes en Inland Empire que son el exceso de velocidad bajo la influencia del alcohol.

Existe escasa bibliografía sobre la utilización de herramientas SIG en el análisis espacial de accidentes que involucren específicamente a niños. Affum y Taylor (1995) mencionaron en su estudio que los accidentes vehiculares con mayor cantidad de niños involucrados ocurren a menos de un kilómetro de distancia de establecimientos escolares, siendo su hipótesis corroborada por Banos y Florence (2000) en su análisis de accidentes de tráfico en las proximidades de escuelas en Lille, Francia. Por otro lado, Austin et al (1997) identificaron el número de accidentes en zonas escolares y

analizaron las rutas de los niños entre sus casas y colegios a través del uso de tecnología SIG. El análisis de atropellos por el uso de suelo indicó que las áreas cercanas a establecimientos educacionales presentaron una de las tasas más altas de atropellos de niños en la ciudad de Hull, Gran Bretaña. Un trabajo similar fue realizado por Miller (2000) donde evaluó el riesgo asociado a diversas rutas que usan los niños para asistir al colegio dependiendo de la ubicación de sus hogares. El autor utilizó la herramienta SIG para identificar estas rutas y compararlas con las altas tasas de atropellos en ciertos segmentos de calles, para así, identificar la posible ubicación de cruces peatonales. Además, Miller examinó zonas cercanas a escuelas con gran volumen de vehículos transitando a altas velocidades en horarios de entrada y salida de la jornada escolar. De esta manera, se utilizó SIG para determinar la ubicación de señaléticas indicando la velocidad máxima de tránsito a menos de 250 metros de cada escuela. Los estudios anteriormente mencionados están focalizados en accidentes en carreteras y zonas urbanas de Europa y América del Norte analizando el comportamiento de una sola variable que puede influir en la generación de un accidente tales como: tráfico, cercanía a escuela, existencia de señalética, género, situación socioeconómica, población, etc. sin considerar para el análisis un conjunto de posibles variables que pueden influir en la generación de atropellos. Además, la motivación de este estudio se enmarca con el objetivo actual del gobierno chileno que consiste en disminuir en un 20% los fallecidos en accidentes de tránsito para el año 2014.

El presente estudio tiene como objetivo utilizar SIG por medio del análisis espacial de datos para proponer una metodología que identifique las áreas críticas de atropellos de escolares en el Gran Santiago y así detectar las variables que inciden en la ocurrencia de atropellos de niños. La determinación de estas variables y áreas críticas puede ser utilizada como una herramienta de apoyo para la toma de decisiones en mejoras en la infraestructura vial de cada municipio y en la educación vial que deba impartirse a los niños en los establecimientos educacionales ubicados en aquellas comunas más críticas.

II. METODOLOGÍA

La Figura 1 detallada la metodología implementada en este estudio para analizar las variables relacionadas con los atropellos de niños por medio de estadística descriptiva y estadística espacial, y así determinar las áreas críticas en el Gran Santiago utilizando la Densidad de Kernel y el Vecino más Cercano para la interpolación y clusterización de los datos, respectivamente. Además, se definen la relación o la aleatoriedad de los factores analizados en la generación de los atropellos a través de la autocorrelación espacial usando el Índice de Moran I.

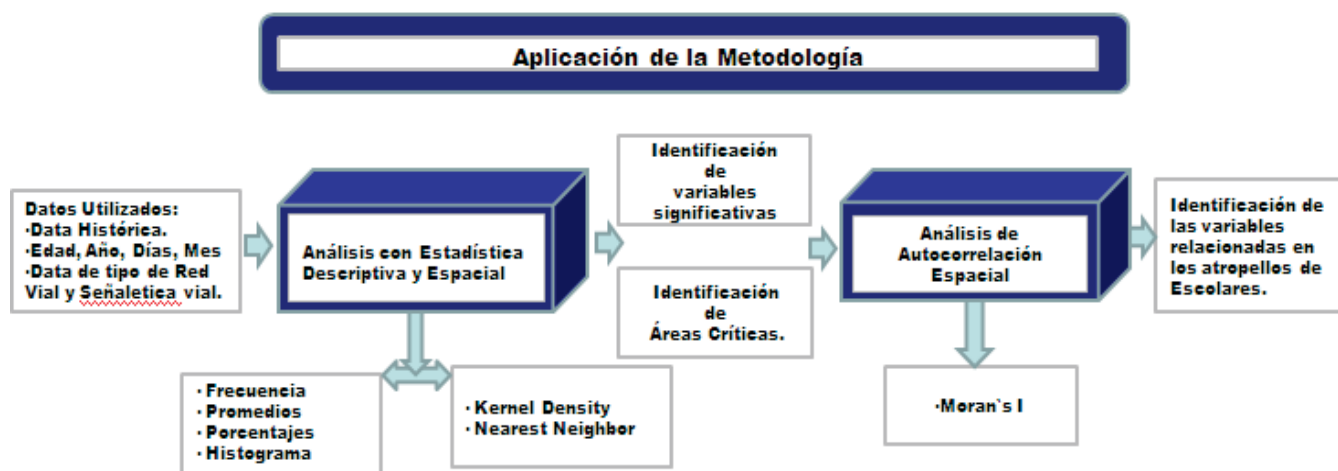


Figura 1: Metodología Propuesta

Existen varias herramientas de análisis espacial y estadístico disponibles en SIG para analizar las características de accidentes de tránsito dada su ubicación espacial y sus atributos. Entre las herramientas espaciales más comunes se encuentra la densidad de Kernel y la clusterización con el Vecino Más Cercano que son empleados para detectar puntos críticos o patrones espaciales. La densidad de Kernel agrupa o clusteriza de acuerdo a las similitudes o disimilitudes de eventos representados por puntos en SIG utilizando la función mostrada en las Ecuaciones (1) y (2).

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

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

Donde,

x : es la variable aleatoria

n : es el total de variables

h : es el ancho de banda

$K(x)$: es la función núcleo para un punto x

Luego, se utilizó la herramienta de clusterización del Vecino Más Cercano junto a la Densidad de Kernel para definir y agrupar las áreas críticas en el Gran Santiago. El método del vecino más cercano estima el valor de un dato desconocido a partir de las características del dato más próximo, según una medida de similitud o distancia, y se adapta fácilmente a la regresión de funciones con valores continuos. El algoritmo utilizado por este método asume que todos los datos pertenecen al radio

de la variable p (R_p), y mediante una medida de distancia en ese espacio se determinan los k datos más cercanos al nuevo dato (X_q) para aproximar una función $f: R_p$ a partir de los k valores ya seleccionados. Esta función corresponde al promedio de los k valores más cercanos y la función aproximación tiene la forma que se presenta la Ecuación (3).

$$f(x) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k f(x_i) \quad (3)$$

Finalmente, se implementó la herramienta de autocorrelación espacial llamada Índice de Moran I, frecuentemente utilizada en el análisis exploratorio de variables espaciales significativas. De esta manera, se determinó la distribución espacial de los atropellos de escolares en relación a su concentración o dispersión. La autocorrelación evalúa la medida en que el valor de una variable x en un lugar determinado i está relacionado con el o los valores de esta variable en localidades vecinas, y analiza el grado en que el valor de una variable para cada nueva ubicación varía con los valores de esta variable en lugares cercanos. Este coeficiente “I” se sujeta a una prueba de significancia estadística de valores “Z” bajo el supuesto de una distribución normal. Este índice se expresa formalmente mediante la Ecuación (4).

$$I = \frac{n}{s} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} Z_i Z_j}{\sum_{j=1}^n Z_j^2} \quad (4)$$

Donde,

n : es el número de unidades geográficas de observación

W_{ij} : son los elementos de una matriz binaria de contigüidad

s : es la suma de todos los elementos de la matriz W

Z_i y Z_j : son los valores estandarizados de la variable a analizar de la unidad geográfica de observación i y j , respectivamente

Los valores del Índice de Moran I oscilan entre +1 y -1, donde el primer valor significa una autocorrelación positiva (perfecta concentración o clusterización), y el segundo indica una autocorrelación negativa (perfecta dispersión). Un valor del índice de Moran I igual a cero significa un patrón espacial completamente aleatorio. En este índice, la asociación de valores en el conjunto de datos tales como edad, horario, red vial, causas y la ubicación del atropello está determinada por una

matriz de distancias o contigüidad, la cual predefine los valores vecinos para el cálculo del coeficiente de autocorrelación.

III. IMPLEMENTACIÓN

En primer lugar, se describen los datos utilizados en este estudio que fueron recopilados durante el periodo 2000 - 2008 y facilitados por la CONASET. A continuación, se aplican técnicas de estadística descriptiva y espacial en SIG para detectar la relación de las variables en la generación de los atropellos y la concentración de éstos por comuna anualmente. Finalmente, se determina la autocorrelación de las variables significativas por medio del índice de Moran I.



Figura 2: Atropellos de escolares en el Gran Santiago para el periodo 2000 – 2008

3.1 Descripción de los Datos

Los datos recopilados para este estudio son fundamentales para determinar e identificar las variables que están relacionadas con los atropellos de escolares. Estos datos provienen de la CONASET, la cual mantiene una base de datos con todos los accidentes vehiculares ocurridos en Chile

por medio del registro de siniestros que realiza Carabineros de Chile. En el proceso de depuración de los datos de atropellos de escolares se descartaron aquellas direcciones inexistentes en la base de datos espacial o en el registro de siniestros y direcciones incompletas. Por lo tanto, se emplearon aproximadamente el 80% (5.152) de los atropellos de escolares para el periodo 2000 – 2008 en el Gran Santiago, los cuales se muestran georreferenciados en la Figura 2. Cada atropello cuenta con las siguientes variables asociadas: hora, fecha, comuna, nombres de las calles, señalización vial, tipo de red vial, causas y tipo de lesión. La señalización vial y curvatura de la red vial son usadas para determinar si están relacionadas con la generación de los atropellos de escolares en las áreas críticas identificadas.

3.2 Análisis Descriptivo

En esta sección se realizó un análisis descriptivo de los datos de acuerdo a las siguientes variables: las 14 principales causas agrupadas por responsabilidad del conductor y responsabilidad del peatón, género y edad, horario, semanas, meses, años, curvatura de la red vial y señalización vial.

Tabla 1: Tipo de Lesión según Causa del Atropello

	Causas de Atropellos	% Hesos	% Leve	% Menos Grave	% Grave	% Fallecido	% Total General
Responsabilidad del Peatón	Peatón Cruza calzada forma sorpresiva o descuidada	0,54%	57,16%	15,00%	26,66%	0,64%	41,01%
	Imprudencia del Peatón	1,40%	57,87%	11,66%	28,09%	0,98%	14,36%
	Peatón Cruza calzada fuera paso peatones	0,96%	53,99%	13,74%	27,80%	3,51%	6,31%
	Peatón Permanece sobre la calzada	0,00%	58,27%	14,39%	25,18%	2,16%	2,80%
	Desobedecer Señalización luz roja de semáforo	0,00%	53,93%	13,48%	26,97%	5,62%	1,80%
	Ebriedad del Peatón	0,00%	60,47%	16,28%	16,28%	6,98%	0,87%
	Total						67,16%
Responsabilidad del Conductor	No respetar derecho de paso a peatón	0,72%	66,50%	12,23%	18,40%	2,16%	15,63%
	Conducir Vehic. en retroceso	1,35%	62,16%	13,51%	20,27%	2,70%	1,49%
	Conducción Por izquierda eje calzada	0,00%	75,41%	4,92%	18,03%	1,64%	1,23%
	Pérdida control vehículo	1,69%	66,10%	15,25%	15,25%	1,69%	1,19%
	Velocidad No razonable ni prudente	0,00%	64,58%	16,67%	18,75%	0,00%	0,97%
	Desobedecer Señalización de ceda el paso	0,00%	73,91%	6,52%	19,57%	0,00%	0,93%
	Conducción en estado de ebriedad	2,44%	48,78%	17,07%	26,83%	4,88%	0,83%
	Total						26,27%
Otros	Causas no determinadas	0,61%	60,12%	18,10%	19,33%	1,84%	6,58%
	Total general	0,73%	59,65%	13,88%	24,23%	1,51%	100,00%

3.2.1 Causas de Atropellos

En este estudio, se identificaron 14 causas principales de atropellos que abarca el 96% de los atropellos de un total de 42 causas entregadas por CONASET. La Tabla 1 muestra el porcentaje según tipo de lesión para cada una de las 14 causas de atropellos de los escolares. Las principales causas observadas que agrupan aproximadamente el 95% del total de atropellados son: “Peatón cruza calzada de forma sorpresiva o descuidada”, “No respeta derecho de paso a peatón” y “Imprudencia del peatón”,

siendo el 67,2% responsabilidad del peatón, 26,3% responsabilidad del conductor y el 6,6% causas no determinadas. Además, se observa que aproximadamente el 60% de los niños atropellados resultan con lesión tipo leve y en menor porcentajes con 24,2%, 13,9% y 1,5% se obtienen lesiones tipo grave, menos grave y muerte, respectivamente.

3.2.2 Datos demográficos (Género y Edad).

Los resultados del análisis según género indican que los niños varones concentran el índice de atropellos más elevado con un porcentaje igual a 55,8% del total de escolares atropellados en el Gran Santiago. En cambio, las mujeres contemplan el 44,2% del total de escolares atropellados. Por otro lado, hubo mayor porcentaje de varones lesionados graves, menos graves y muertos que mujeres, mientras las mujeres presentaron mayores porcentajes de ilesos y leves que los varones, como indica la Tabla 2.

Tabla 2: Tipo de Lesión ocasionado por Atropellos de Escolares según Género

Genero	% Ileso	% Leve	% Grave	% Menos Grave	% Muerto	% Total general
FEMENINO	0,83%	63,62%	21,28%	12,81%	1,45%	44,24%
MASCULINO	0,70%	56,11%	26,42%	15,00%	1,78%	55,76%
Total general	0,76%	59,43%	24,15%	14,03%	1,63%	100,00%

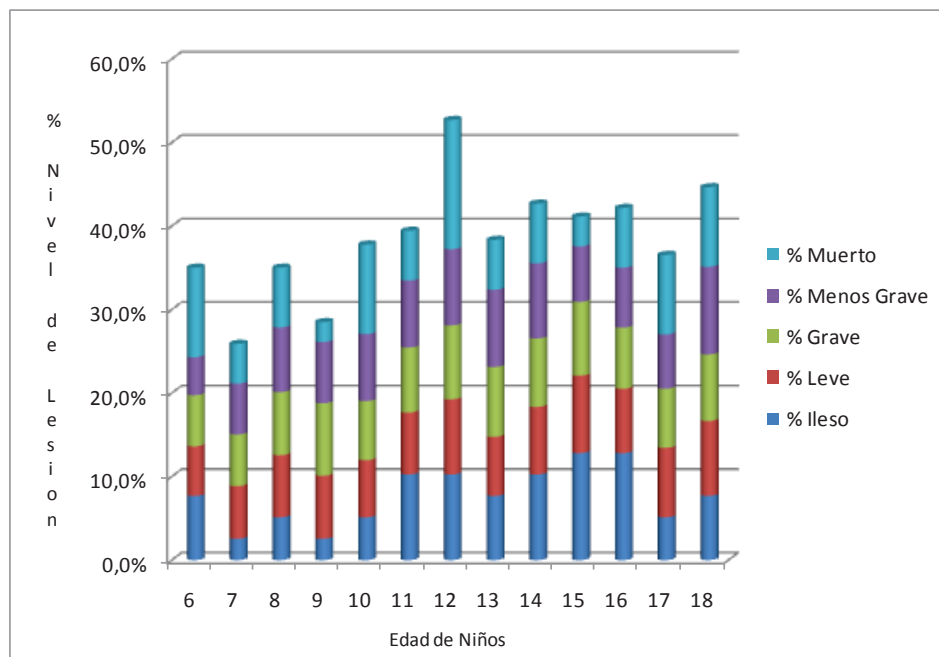


Figura 3: Tipo de Lesión por Atropellos de Escolares

En relación a la edad, el análisis de los datos indica que al agruparlos se puede observar que escolares entre 12 a 18 años de edad concentran el 58,1% del total de los atropellos y el 58,3% de los atropellos con lesión del tipo muerto con un peak en la edad promedio de 12 años (ver Figura 3). Se asume que los niños menores a 12 años de edad generalmente van acompañados por un adulto, por este motivo se observa un menor porcentaje promedio de atropellados.

3.2.3 Distribución Horaria

Las primeras siete horas del día no se representó mayor importancia en materia de ocurrencia de atropellos de escolares. Sin embargo, la Figura 4 muestra que a partir de las siete de la mañana la cantidad de atropellos de niños aumenta drásticamente, coincidiendo con el comienzo de la jornada escolar. Además, este gráfico muestra que hubo un total de 2.957 atropellos entre las 14:00 hrs. y las 19:00 hrs. correspondiendo al 57,4% en promedio del total de atropellos ocurridos en un día. Este horario coincide con el término de la jornada escolar tanto para niños de la jornada de mañana y como de la tarde. Como indica el grafico de la figura, las lesiones tipo leve, menos grave y grave asociados a los atropellos de escolares entre las 7:00 hrs. y 9:00 hrs. representan el 11,8%, 8,8% y 8% de los atropellos, respectivamente, y entre las 13:00 hrs. y las 20:00 hrs. representan el 47,1%, 48,6% y 48,6% de los atropellos, respectivamente. En relación al tipo de lesión muerto, el 48,6% de los atropellos de escolares se focaliza en este último rango de horas.

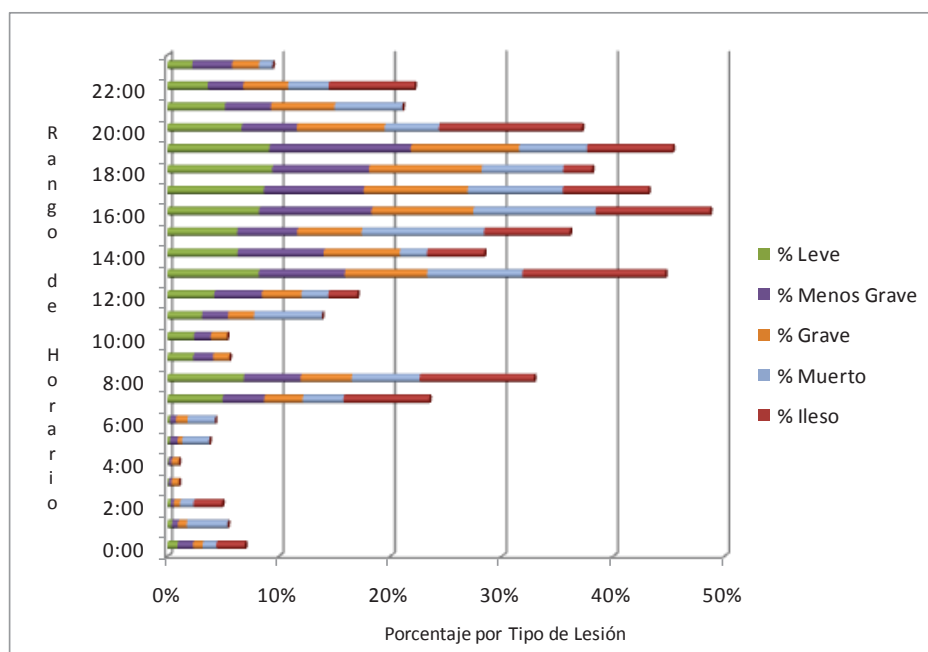


Figura 4: Tipo de lesión por Atropellos de Escolares según Horario

3.2.4 Distribución Semanal.

Figura 5 muestra que la mayor cantidad de atropellos en el Gran Santiago se produjeron los días miércoles y viernes, registrándose representando el 32,8% (1.692 sucesos) del total de atropellos semanales. La menor tasa de atropellados se concentró los fines de semana, principalmente los días domingos. El porcentaje de atropellos de escolares para el día sábado es igual a 14,3% del total de atropellos semanales, ya que existen actividades extracurriculares en algunos establecimientos educacionales. La mayor tasa de víctimas con lesiones menos grave con un 14% se concentró en los días lunes, mientras que en los días martes y jueves ocurrieron atropellos que arrojaron tasas más altas con lesiones de tipo ileso. En los días miércoles se identificó la mayor tasa de víctimas fatales con 20,2% y los días viernes se concentró la mayor tasa de atropellos con lesión del tipo leve en un 17,8% del total de atropellos de escolares.

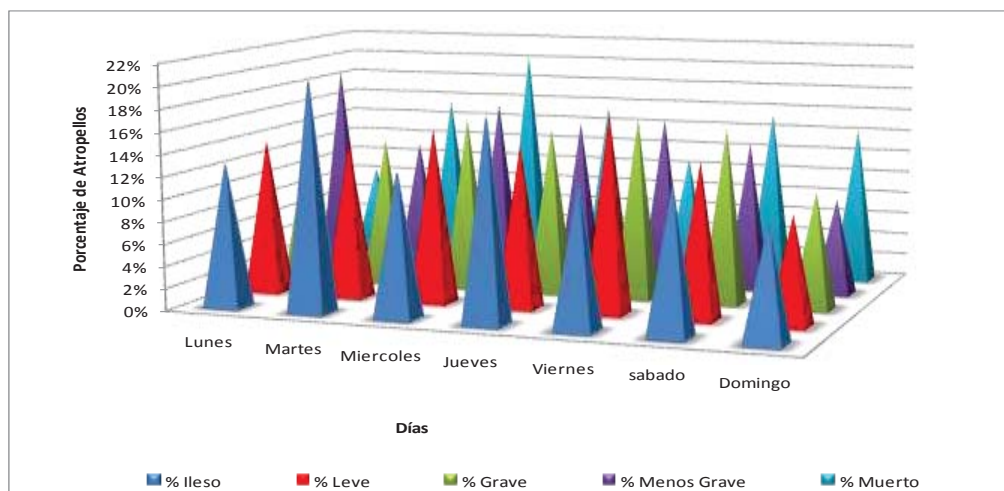


Figura 5: Tipo de Lesión por Atropellos de Escolares según Día de la Semana

3.2.5 Meses

La mayor cantidad de atropellos de niños se produjeron entre septiembre y diciembre correspondiendo al 38,84% del total de atropellos en el período 2000 - 2008. En cambio, durante de enero, febrero y julio se registró la menor cantidad de atropellos con 17,88% del total de atropellos anuales en el mismo período. Esta baja de atropellos se debe principalmente a que coincide con las vacaciones de verano y de invierno de escolares. Como muestra la Figura 6, las lesiones del tipo leve mantienen una tasa proporcional durante los 12 meses del año con un peak de 6,23% en noviembre. Las lesiones de tipo grave y menos grave aumentan entre septiembre y diciembre con una tasa de 2,35% y las lesiones de tipo muerto tienen un máximo en octubre y diciembre de un 2%.

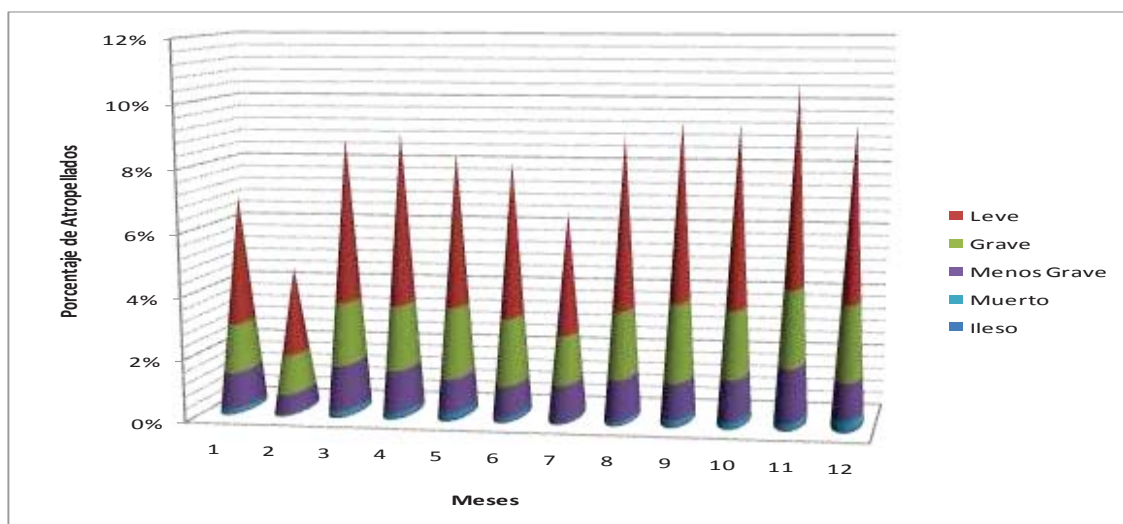


Figura 6: Tipo de Lesión por Atropellos de Escolares para Mes del Año

3.2.6 Curvatura de la Red Vial y Señalización Vial

La señalización vial y el tipo de red vial identifica las condiciones de la calle o avenida en que sucedieron los atropellos de escolares en relación a las 14 principales causas identificadas anteriormente, como muestran las Tablas 3 y 4. Durante el periodo 2000 al 2008, la mayor cantidad de atropellos se produjeron en tramos de línea recta (i.e., tramo entre intersecciones) con un 52%, de los cuales el 24,7% de los atropellos se deben a que el peatón cruza calzada de forma sorpresiva o descuidada y el 7% corresponde a la causa no se respeta el derecho de paso a peatón. En intersecciones y tramos de curvas ocurren el 48% de los atropellos, principalmente por no respetar el derecho de paso a peatón (13%). En relación al nivel de lesión en los tramos de vía recta, el 48,1% del total de los atropellos corresponde a lesiones del tipo leve, el 53,8% a lesiones del tipo grave, el 50,9% lesiones del tipo menos grave, el 55,4% a lesiones del tipo muerto y el 47,2% a lesiones del tipo ileso.

En relación a la señalización vial, el 67% de los atropellos ocurrieron en sectores con señalización vial, como lo indica la Tabla 4. Entre las causas de atropellos con señalización vial el 24,8% se debe a que el peatón cruza la calzada en forma sorpresiva o descuidada, el 23% no respeta derecho de paso a peatón, el 12,4% imprudencia del peatón y el 16,8% se distribuye en el resto de las causas estudiadas, mientras que las causas sin señalización se distribuyen en un 10,9%, 4,2% y 3,3%, respectivamente. Por lo tanto, la causa del atropello es responsabilidad del peatón en el 85% de los casos, ya que no respeta la señalización vial ni los tramos permitidos de paso peatonal en la red vial. En cambio, 9,5% es responsabilidad del conductor del vehículo y 5,5% de los atropellos se debe a causas no determinadas.

Tabla 3: Atropellos de Escolares Según el Tipo de Red Vial

Causas de Accidentes	Tipo de red vial		
	Tramo de Vía Curva e Intersecciones	Tramo de Vía Recta	Total de Atropellos
Peatón Cruza calzada forma sorpresiva o descuidada	17,2%	24,7%	41,9%
No respetar derecho de paso a peatón	13,0%	7,0%	20,0%
Imprudencia del peatón	7,5%	7,1%	14,7%
Peatón Cruza calzada fuera paso peatones	1,7%	4,8%	6,4%
Causas no determinadas	2,7%	1,9%	4,6%
Peatón Permanece sobre la calzada	1,0%	1,9%	2,9%
Desobedecer señalización luz roja de semáforo	1,8%	0,1%	1,8%
Conducir vehículo en retroceso	0,5%	1,1%	1,5%
Conducción por izquierda eje calzada	0,6%	0,7%	1,3%
Pérdida control vehículo	0,3%	0,9%	1,2%
Velocidad no razonable ni prudente	0,4%	0,6%	1,0%
Desobedecer señalización de ceda el paso	0,8%	0,1%	0,9%
Ebriedad del peatón	0,4%	0,5%	0,9%
Conducción en estado de ebriedad	0,3%	0,5%	0,8%
Total de Atropellos	48,0%	52,0%	100%

Tabla 4: Atropellos de Escolares en Tramos Con y Sin Señalización Vial

Causas de Accidentes	Con Señalización	Sin Señalización	Total Atropellos
Peatón Cruza calzada forma sorpresiva o descuidada	18,8%	16,9%	35,7%
No respetar derecho de paso a peatón	23,0%	4,2%	27,2%
Imprudencia del peatón	10,4%	6,3%	16,7%
Causas no determinadas	1,9%	2,6%	4,5%
Desobedecer señalización luz roja de semáforo	3,7%	0,0%	3,7%
Peatón cruza calzada fuera paso peatones	2,8%	0,7%	3,5%
Peatón permanece sobre la calzada	1,5%	0,6%	2,0%
Desobedecer señalización de ceda el paso	1,7%	0,0%	1,7%
Conducción por izquierda eje calzada	0,9%	0,3%	1,2%
Conducir vehículo en retroceso	0,5%	0,5%	0,9%
Ebriedad del peatón	0,8%	0,1%	0,9%
Velocidad no razonable ni prudente	0,4%	0,3%	0,7%
Conducción en estado de ebriedad	0,3%	0,3%	0,6%
Pérdida control vehículo	0,5%	0,2%	0,6%
Total de Atropellos	67%	33%	100,0%

3.3 Análisis Espacial de los Atropellos de Escolares e Identificación de Áreas Críticas

En la Figura 7 se muestra la evolución de las concentraciones de atropellos de escolares durante los nueve años de estudio utilizando la densidad de Kernel con un rango mínimo de ocho atropellos por área y una distancia de un kilómetro. En esta figura, se puede identificar las concentraciones de atropellos que se han mantenido en el tiempo y espacio, y otras que han disminuido en el transcurso de los años. Entre los 2000 y 2004 se produjeron los niveles más altos de atropellos de escolares con un promedio de 680 atropellos anuales, mientras que en el periodo del 2005 al 2008 existe una disminución en el promedio anual a un valor igual a 470 atropellos. Según Romero (2009), esta disminución de atropellos se debe a que en los últimos años existe una mayor cantidad de niños que ha dejado la calle como su lugar de juego gracias a que existen espacios tales como canchas y plazas más normados para ese fin. Existe evidencia de que los niños tienen menores tasas de participación en el transporte activo, tales como caminar y montar en bicicleta, y son cada vez más movilizadas con chofer desde y hacia la escuela (Carver et al, 2008). Además, durante este período existió un aumento en la inversión para la prevención de accidentes por parte de la CONASET de US\$ 410.000 en el 2005 a US\$ 1.016.000 y US\$ 893.000 en los años 2006 y 2007, respectivamente (CONASET, 2007).

Dentro de estas concentraciones de atropellos de niños obtenidos por medio de Kernel, se identificaron las áreas críticas en cada año estudiado utilizando el vecino más cercano (Ver Figura 8). De esta manera, se establecieron las áreas críticas con un rango de 8 a 26 atropellos de escolares a una distancia radial de un kilómetro. Las áreas críticas 1, 2, 4, 5, 6, 7 y 9 se mantuvieron con una alta concentración y frecuencia de atropellos de escolares por más de cinco años en el período analizado. La Tabla 5 resume las avenidas y calles contenidas en cada área crítica. Cabe mencionar que se descartaron las áreas críticas 3 y 8 del análisis porque sólo permanecieron como área crítica menos de cuatro años y su concentración de atropellos disminuyó considerablemente.

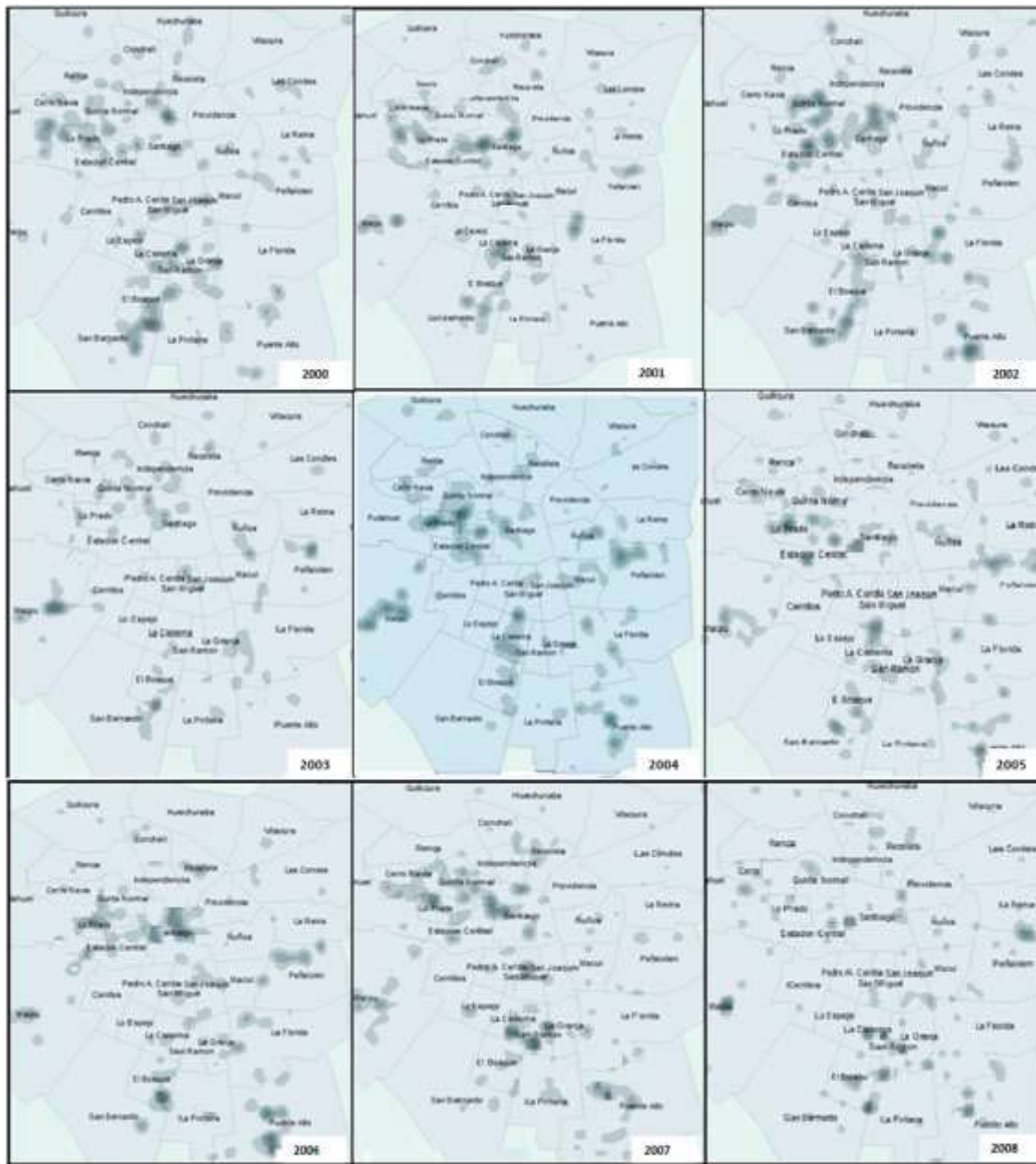


Figura 7: Concentración de Atropellos de Escolares en el período 2000 – 2008 Usando la Densidad de Kernel

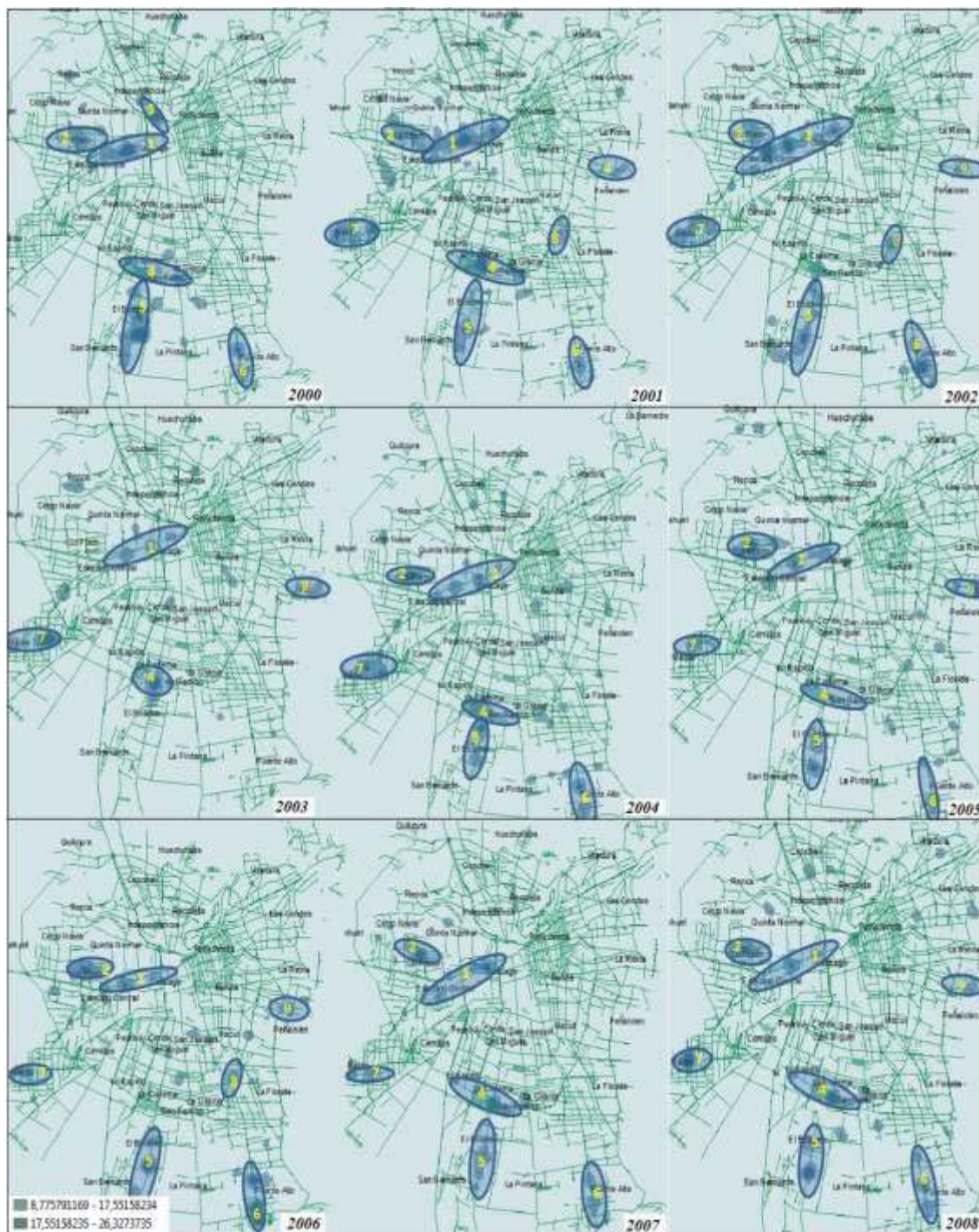


Figura 8: Áreas Críticas Usando la Densidad de Kernel y el Vecino Más Cercano

Tabla 5: Identificación de Áreas Críticas por Calles y Avenidas en el Gran Santiago

Áreas Críticas		
Número de Área Crítica	Comunas	Avenidas/Calles
1	Santiago	Av. Libertador Bernardo O'higgins
	Estación Central	
2	Lo Prado	Av. San Pablo
3	Santiago	Av. Independencia
		Av. Santa María
4	La Cisterna	Av. Americo Vespucio Sur/ Gran Avenida
	San Ramón	Av. Americo Vespucio Sur
5	La Cisterna	Av. Gran Avenida
	El Bosque	Av. Los Morros (cont. Gran Avenida)
	San Bernardo	Av. Padre Hurtado (cont. Gran Avenida)
6	Puente Alto	Av. Concha y Toro (Cont. Vicuña Mackenna)
		Calle Balmaceda
		Calle Eyzaguirre
7	Maipú	Av. Pajarito
		Av. Americo Vespucio Norte / Av. Pajarito
		Av. Pajarito/5 de abril
8	La Florida	Av. Vicuña Mackenna
		Av. Americo Vespucio Sur / Vicuña Mackenna
9	Peñalolén	Av. Grecia
		Calle Las Parcelas

3.4 Análisis de Autocorrelación Espacial

Para determinar la existencia de autocorrelación espacial en las áreas críticas detectadas en la sección anterior con las variables significativas analizadas (causas principales de atropellos, edad, horarios 7:00hrs a 9:00hrs y 13:00hrs a 20:00hrs, tipo de red vial con tramo recto o en curvatura y existencia de señalización vial), se utilizó el índice de Moran I proporcionado por SIG. De esta manera, se pudo determinar si las variables analizadas tienen una distribución aleatoria o una asociación significativa de valores. El Índice se calculó utilizando distancias euclidianas y un coeficiente de confianza de 95% bajo el supuesto de una distribución normal en las áreas críticas 1, 2, 4, 5, 6, 7 y 9.

Cabe destacar que las variables género, día de la semana y meses no mostraron ninguna implicancia significativa con el índice de Moran I en los atropellos de escolares ocurridos en las áreas críticas.

El análisis de autocorrelación en las áreas críticas seleccionadas entregó una autocorrelación positiva en las siguientes causas: “peatón cruza calzada de forma sorpresiva o descuidada” con un índice promedio de $I=0.262$ y $\sigma=0,080$ ($Z= 2.662$ y $P=0,004$), “imprudencia del peatón” con un índice promedio de $I=0.253$ y $\sigma=0,022$ ($Z= 2.651$ y $P=0,004$), “peatón cruza calzada fuera paso peatones” con un índice promedio de $I=0.233$ y $\sigma=0,027$ ($Z= 2.608$ y $P=0,005$) y “no respeta derecho de paso a peatón” con un índice promedio de $I=0.248$ y $\sigma=0,047$ ($Z= 2.600$ y $P=0,005$). En las otras causas, se obtuvo un índice promedio de $I= 0.034$ y $\sigma=0,031$ ($Z= 1,210$) indicando aleatoriedad en la generación de atropellos de escolares.

La Tabla 6 muestra los resultados del análisis de autocorrelación con el índice de Moran I en relación a la edad de los niños y las áreas críticas durante los nueve años. En este caso, se obtuvo un índice promedio de $I=0.009$ y $\sigma=0,047$ y $Z= 1.131$, sugiriendo que no existe autocorrelación entre esta variable y la generación de atropellos de escolares, por lo cual el patrón de resultado es aleatorio.

Tabla 6: Autocorrelación por Año en Áreas Críticas por Edad

		Edad						
		Áreas Críticas						
		1	2	4	5	6	7	9
Años	2000	0,012	0,018	0,024	0,030	0,011		
	2001	0,017	0,012	0,017	0,010	0,057	-0,012	0,004
	2002	0,014	0,212		0,008	0,002	0,006	0,011
	2003	0,011		0,017			0,011	0,015
	2004	0,008	0,011	0,012	-0,128	0,013	0,014	
	2005	0,080	0,010	0,010	0,009	-0,059	0,219	0,009
	2006	0,010	0,011		-0,032	0,017	0,009	0,023
	2007	0,033	0,010	-0,010	0,014	0,012	0,012	
	2008	0,011	0,010	0,009	0,008	0,012	0,013	0,014

La Tabla 7 muestra los resultados obtenidos con la variable horario la cual indica que existe una autocorrelación positiva y estadísticamente significativa promedio de $I= 0.284$ y $\sigma=0,0246$ ($Z=2.600$ y $P=0,004$) en las siete áreas críticas analizadas. Por lo tanto, existe una dependencia entre la variable horario y la generación de los atropellos de escolares en estas áreas.

Tabla 7: Autocorrelación por año en áreas Críticas por horario.

Horario								
Años	Áreas Críticas							
		1	2	4	5	6	7	9
2000		0,278	0,290	0,268	0,315	0,278		
2001		0,287	0,365	0,306	0,267	0,321	0,310	0,287
2002		0,278	0,254		0,284	0,290	0,274	0,278
2003		0,274		0,266			0,338	0,274
2004		0,270	0,248	0,307	0,287	0,254	0,277	
2005		0,266	0,274	0,287	0,262	0,266	0,266	0,287
2006		0,307	0,321		0,310	0,248	0,330	0,241
2007		0,258	0,287	0,295	0,287	0,278	0,255	
2008		0,254	0,254	0,286	0,278	0,304	0,306	0,278

Tabla 8: Autocorrelación por Año en Áreas Críticas por Tipo de Red Vial

Red Vial Tramo Recto								
Años	Áreas Críticas							
		1	2	4	5	6	7	9
2000		0,028	0,020	0,306	0,278	0,254		
2001		0,040	-0,028	0,295	0,255	0,356	-0,025	0,219
2002		0,010	-0,238		0,307	0,278	0,006	0,010
2003		0,051	0,013	0,394			-0,007	-0,038
2004		0,070		0,329	0,287	0,248	0,035	
2005		0,026	0,004	0,287	0,284	0,266	-0,219	0,026
2006		0,004	0,060		0,037	0,304	0,088	0,040
2007		0,017	-0,278	0,280	0,287	0,290	0,011	
2008		0,015	0,019	0,268	0,315	0,278	0,008	0,007

Red Vial Tramo curvo e intersecciones								
Años	Áreas Críticas							
		1	2	4	5	6	7	9
2000		0,254	0,287	0,008	0,015	-0,278		
2001		0,258	0,321	0,011	0,017	0,266	0,306	0,278
2002		0,262	0,274		0,040	0,060	0,310	0,241
2003		0,266	0,248	0,004			0,330	0,287
2004		0,270		0,060	0,070	0,004	0,266	
2005		0,374	0,254	0,088	0,051	0,013	0,277	0,274
2006		0,278	0,365		0,010	-0,238	0,338	0,378
2007		0,277	0,290	-0,219	0,026	-0,028	0,274	
2008		0,278	0,321	0,035	0,028	0,020	0,310	0,287

Tabla 9: Autocorrelación por Año en Áreas Críticas según Señalización Vial

Con Señalización								
Años	Áreas Críticas							
		1	2	4	5	6	7	9
2000		0,012	0,016	0,011	0,012	0,018		
2001		0,028	0,015	0,002	0,011	0,013	0,012	0,011
2002		0,001	0,010		0,011	0,012	0,011	0,011
2003		0,019		0,011			0,014	0,011
2004		0,010	0,010	0,202	0,011	0,012	0,011	
2005		0,016	0,011	0,017	0,012	0,011	0,011	0,011
2006		0,014	0,013		0,010	0,010	-0,013	0,010
2007		0,013	0,011	0,012	0,011	0,011	0,012	
2008		0,012	0,227	0,012	0,011	0,010	0,012	0,011

Sin Señalización								
Años	Áreas Críticas							
		1	2	4	5	6	7	9
2000		0,011	0,287	0,338	0,304	0,315		
2001		0,274	0,278	0,277	0,027	0,248	0,287	0,029
2002		0,268	0,274		0,248	0,267	0,028	0,365
2003		0,280		0,381			0,284	0,254
2004		0,027	0,321	0,301	0,254	0,295	0,027	
2005		0,330	0,287	0,029	0,278	0,306	0,266	0,274
2006		0,310	0,291		0,287	0,307	0,026	0,321
2007		0,306	0,278	0,294	0,028	0,287	0,258	
2008		0,278	0,306	0,287	0,290	0,305	0,254	0,287

Los resultados de la autocorrelación espacial para el tipo de red vial (Tabla 8) muestra que existe autocorrelación positiva promedio de $I=0,282$ y $\sigma=0,062$ ($Z= 2,762$ y $P=0,003$) en tramos rectos para las áreas críticas 4, 5 y 6, obteniendo valores aleatorios en las áreas críticas 1, 2, 7 y 9. En relación a los tramos curvos e intersecciones, se determinó que existen una aleatoriedad y dispersión para las áreas 4, 5 y 6. En cambio, se obtuvo autocorrelación positiva promedio de $I=0,291$ y $\sigma=0,036$ ($Z= 2,910$ y $P=0,002$) en tramos curvos e intersecciones para las área críticas 1, 2, 7 y 9.

Por otra parte, la Tabla 9 indica que los tramos sin señalización vial en las áreas críticas seleccionadas se obtuvo autocorrelación positiva con un índice promedio de $I=0,247$ y $\sigma=0,102$ ($Z=2,610$ y $P=0,004$). Este valor señala que existe un patrón en común en la generación de atropellos y la falta de señalización vial. En cambio, en los tramos con señalización vial se obtuvo un índice

promedio de $I=0,019$ y $\sigma=0,039$ ($Z=1,183$). Este resultado implica que no existe autocorrelación espacial entre la variable y los atropellos de escolares, es decir, la generación de los atropellos en tramos con señalización vial se distribuyen de forma aleatoria.

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos indican que las áreas críticas 1, 2, 4, 5, 6, 7 y 9 correspondientes a las comunas de Santiago, Estación Central, Lo Prado, La Cisterna, San Ramón, El Bosque, San Bernardo, Puente Alto, Maipú y Peñalolén son las más vulnerables con una mayor concentración y frecuencia de atropellos durante los nueve años analizados. Aunque el análisis muestra que la cantidad de atropellos disminuyó en un 40% entre los años 2005 y 2008 las variables que inciden en la generación de éstos han sido perdurables en el tiempo. Los resultados del análisis de atropellos de escolares identificaron que entre todas las causas el 61,69% corresponde a la responsabilidad del peatón. Por otra parte, entre las causas que involucran la responsabilidad del conductor en un 19,63% corresponde a “No respeta derecho de paso a peatón”. Estas cuatro causas agrupan el 81,32% del total de escolares atropellados con una importante concentración en las áreas críticas. En el resto de las causas analizadas no se encontró concentración espacial.

El análisis de los atropellos de escolares con respecto a la edad entrega como resultado ausencia de autocorrelación, es decir, existe aleatoriedad en la distribución espacial de los datos. En relación al análisis existe una tendencia a un mayor número de atropellos de escolares entre 12 a 18 años de edad, principalmente este resultado se debe a que los niños menores de 12 años van acompañados por sus padres y cuentan con algún tipo de transporte escolar, en cambio los niños mayores de 12 años transitan sin supervisión adulta.

Por otra parte, el análisis de la variable horario señala que la mayor cantidad de atropellos de escolares ocurre en los rangos de horarios de 7:00hrs a 9:00hrs y 13:00hrs y 20:00hrs, los cuales coinciden con la entrada y salida de la jornada escolar. La mayor concentración de atropellos ocurre en el rango de horario tarde porque los niños generalmente van acompañados por un adulto en las mañanas y retornan solos a sus hogares durante la tarde.

En cuanto a la señalización vial, se obtuvo como resultado que el 67% de los atropellos ocurren en tramos con señalización vial y el 33% en tramos sin señalización vial. Estos resultados se pueden explicar al considerar que los atropellos ocurridos en tramos señalizados se deben a la responsabilidad del peatón y/o al conductor cuando circula de forma distraída o desprevenida, mientras que en tramos

no señalizados puede darse con menor frecuencia porque el peatón al no contar con una señalización apropiada intenta cruzar con mayor cuidado. Sin embargo, el análisis con autocorrelación indica que los atropellos en lugares sin señalización vial están correlacionados con la generación de los atropellos, es decir, existe concentración de atropellos en tramos sin señalización. En cambio, los atropellos en tramos con señalización son aleatorios.

Por último, el análisis de autocorrelación con respecto al tipo de red vial se obtuvo como resultado que existe concentración de atropellos en las áreas 4, 5 y 6 en tramos de vía recta, pero se determinó aleatoriedad y dispersión para los tramos curvos e intersecciones. Cabe destacar que en estas áreas críticas existen tramos extensos entre las ubicaciones de pasos peatonales como ocurre en Av. Américo Vespucio, Av. Gran Avenida y Av. Concha y Toro, por lo cual los peatones tienden a cruzar en cualquier tramo de la vía recta estando mayormente expuestos a un atropello. En cambio, en las áreas críticas 1, 2, 7 y 9 se determinó mayor concentración de atropellos en tramos curvos e intersecciones, siendo los atropellos en tramos de vía recta aleatorios o dispersos. Actualmente, existe en estas áreas críticas un alto tráfico de vehículos siendo avenidas anchas con más de dos pistas de circulación siendo casi imposible cruzar en tramos rectos sin señalización apropiada para esto. En cambio, en las intersecciones de estas áreas se generan atropellos por la poca prudencia y visualización por parte del conductor y por el poco resguardo del peatón.

V. CONCLUSIONES

El alto índice de muerte y discapacidad física en niños producto de los atropellos en el mundo lleva a las autoridades gubernamentales a buscar métodos para disminuir los atropellos peatonales y mejorar la seguridad vial, lo que muchas veces es un proceso lento, costoso e inadecuado para la necesidad del entorno. Este estudio propone una metodología para identificar las áreas críticas utilizando las herramientas espaciales que pone a disposición SIG para determinar y analizar las distintas variables significativas relacionadas en la generación de atropellos en las áreas encontradas. Las siete áreas críticas identificadas incluyen las comunas de Santiago, Estación Central, Maipú, Puente Alto, La Cisterna, San Bernardo, San Ramón, Lo Prado, El Bosque y Peñalolén. Según Miranda (2010), estas comunas están clasificadas por segmentación de población media y media baja, las cuales cuentan con menores ingresos municipales, pudiendo traducirse en una menor capacidad de inversión en lo que respecta a la seguridad vial, tales como señalización vertical, lomos de toro, pasos peatonales, etc.

Los resultados de este estudio permitieron identificar ocho variables significativas en las áreas críticas antes señaladas las cuales corresponden a cuatro de las principales causas de atropellos, edad, horario, tipo de red vial y señalización vial. Mediante el análisis de autocorrelación de Moran I, se concluye que la responsabilidad del peatón durante los nueve años de estudio en las siete áreas críticas son una de las principales razones de la generación de los atropellos de niños, dado por el descuido y la imprudencia al circular por las calles analizadas, responsabilidad que se complementa con la conducción del conductor que no respeta los tramos con señalización vial. Esta situación ocurre cuando el conductor circula de forma distraída o desatenta no percatándose de la existencia de señalización vial. Por otra parte, los resultados obtenidos en la autocorrelación indican que las variables evaluadas mantienen en el transcurso de los años una relación con las áreas críticas en los atropellos de escolares, pese a que existe una disminución considerable de éstos entre los años 2005 y 2008.

Finalmente, la metodología aplicada es lo suficientemente flexible para incorporar otras variables, con las cuales se establezca un marco que facilite el análisis de atropellos de escolares en la red vial del Gran Santiago. Cabe destacar que SIG permite realizar análisis espacio-temporales y estadísticos de grandes volúmenes de datos provenientes de distintas fuentes y formatos y su visualización en mapas digitales. A través de esta herramienta, las instituciones gubernamentales pueden investigar e identificar las áreas críticas de su entorno y así invertir de manera óptima los recursos en las mejoras conductuales y de infraestructura vial y en educación de tránsito.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Affum, J. and M. Taylor (1995) *Integrated GIS Database for Road Safety Management. Technology Tools for Transportation Professionals: Moving into the 21st Century*, ITE, Washington, D.C., 189–193
- Austin K., Tight, M., and Kirby, H. (1997) *The use of geographical information systems to enhance road safety analysis*, Transportation Planning and Technology, 20, 249-266
- Asociación Argentina Luchemos por la Vida, Estadística de atropellos de niños, <http://www.luchemos.org.ar/es/index.php>
- Banos A. and Florence R.(2000) *Spatial distribution of road accidents in the vicinity of point sources: application to child pedestrian accidents*, Geography and Medicine, Elsevier, 54-64
- Carver A., Timperio A., and Crawford D. (2008) *Playing it safe: The influence of neighbourhood safety on children's physical activity*, Health & Place, 14 (2), 217–227
- CONASET, Disponible: www.conaset.cl, sitio visitado en noviembre, 2009
- Kim, K., and N. Levine (1996) *Using GIS to improve highway safety*, Computers, Environment and Urban Systems, 20, 289-302

- Ladrón de Guevara, F., Washington S. and Oh J. (2004) ,*Forecasting Crashes at the Planning Level Simultaneous Negative Binomial Crash Model Applied in Tucson, Arizona*, TRB 1897, 191-199
- Loo, B. (2006), *Validating crash locations for quantitative spatial analysis: A GIS-based approach*, Accident Analysis and Prevention, 38(5), 879–886
- Miller, J. (2000), *Geographic Information Systems, Unique Analytic Capabilities for the Traffic Safety Community*, TRB 1734, 21-28
- Miranda, M. (2010), *ABCD, Letras que nos dividen*, Qué Pasa. <http://www.novomerc.cl/opinion.html>
- Montt C. (2006), *Definición de variables que afectan al individuo en su comportamiento respecto a la seguridad vial*, Proyecto de Investigación Interno PUCV, DGPI N° 288.733
- Ng, K, Hung, W, and Wong, W (2002), *An algorithm for assessing the risk of traffic accident*, Journal of Safety Research, 22, 387-410
- Noland R. and Quddus, M. (2005) *Congestion and safety: A spatial analysis of London*, Science Direct, Transportation Research Part A 39, 737–754
- OMS (2004) *Accidents and injuries. Children's environmental health*. Organización Mundial de la Salud, <http://www.who.int>
- Romero P. (2009) *Pediatría de Meneghello*, 4ta edición, Chile.
- Salem, O., Genaidy, A., Wei, H., and Deshpande, N. (2006), *Spatial Distribution and Characteristics of Accident Crashes at Work Zones of Interstate Freeways in Ohio*, IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, 17-20, 1642-1647
- Salminen S. Lounamaa A. and Kurenniemi M. (2008), *Gender and injury in Finnish comprehensive schools*, Accident Analysis and Prevention, 40(4),1267-1272
- UNICEF (2004) *Informe Anual Actividades* <http://www.unicef.org>