

La estructura espacial urbana y la incidencia de accidentes de tránsito en Tijuana, Baja California (2003-2004)

Urban Spatial Structure and Frequency of Traffic Accidents in Tijuana, Baja California (2003-2004)

César M. Fuentes F.*

Vladimir Hernández H.**

RESUMEN

En este artículo se analiza la relación entre la estructura espacial urbana (flujo vehicular, uso del suelo y características socioeconómicas de la población) y la incidencia de accidentes de tránsito en Tijuana, especialmente los clasificados como choques. La metodología usada es análisis espacial, con base en un modelo de regresión tipo binomial negativo. La base de datos sobre accidentes se construyó a nivel de AGEB con información de la Dirección de Seguridad Pública de Tijuana y los censos de población (2000) y económico (2004), del INEGI. Los resultados muestran que las variables aproximadas de flujo vehicular, uso del suelo de comercio y servicios y proporción de población con ingreso mayor a cinco salarios mínimos son estadísticamente significativas para explicar mayor probabilidad de accidentes de tránsito; y que, por el contrario, variables como la densidad de población (uso del suelo residencial) y el uso del suelo industrial son estadísticamente significativas para explicar menor probabilidad de accidentes. Dichos resultados pueden ser de gran ayuda en el diseño de políticas públicas que busquen reducir el número de accidentes de tránsito.

Palabras clave: 1. Accidentes de tránsito, 2. estructura espacial urbana, 3. usos del suelo, 4. modelo tipo binomial negativo, 5. Tijuana.

ABSTRACT

His article analyzes the impact of urban spatial structure (traffic flows, land-use mix, and socioeconomic characteristics) on the frequency of traffic accidents in Tijuana, especially those classified as car crashes. We used a spatial-analysis methodology, and we estimated a negative binomial regression model. The accident database was taken at the census-tract level, based on information from Tijuana's Dirección de Seguridad Pública (Public Safety Office), the Population Census (INEGI, 2000) and the Economic Census (INEGI, 2004). Findings showed that the proxy variables for traffic flows, land use by businesses and services, and the proportion of population with incomes higher than five minimum wages are statistically significant in explaining a higher frequency of traffic accidents. In contrast, variables like population density and industrial land use are statistically significant for a lower frequency of car crashes. These findings could help to design public policies aimed at reducing the number of traffic accidents.

Keywords: 1. Traffic accidents, 2. urban spatial structure, 3. land use, 4. negative binomial model, 5. Tijuana.

*Investigador de El Colegio de la Frontera Norte. Dirección electrónica: cfuentes@colef.mx

**Estudiante de doctorado en El Colegio de la Frontera Norte. Dirección electrónica: vlahdez@gmail.com.

Fecha de recepción: 13 de junio de 2008.

Fecha de aceptación: 16 de octubre de 2008.

INTRODUCCIÓN

El objetivo aquí es analizar la relación espacial entre las características de la estructura espacial urbana (usos del suelo, flujo de tránsito y algunas de las características socioeconómicas de la población, como edad e ingreso) y la incidencia de accidentes de tránsito, específicamente los choques, en Tijuana.

Los estudios sobre accidentes de tránsito se han centrado en enfoques de ingeniería del transporte (Shefer y Rietveld, 1997), el económico a través de la teoría de los costos de los accidentes de tránsito que los considera como una externalidad (Newbery; 1988; Jones-Lee, 1990; Jansson, 1994), el psicológico mediante la teoría del comportamiento planificado (Fishbein y Ajzen, 1975; Vogel y Rothengatter, 1984; Åberg, 1997), y el de salud pública (factores de riesgo, costos en heridos y muertes) (Hijar *et al.*, 2000; Hijar *et al.*, 2001; Hijar *et al.*, 2003). Un limitado número de estudios han mostrado la relación espacial entre accidentes a peatones y la estructura urbana (Lenze, 2003; Graham y Glaister, 2003; Graham, Glaister y Anderson, 2005). Sin embargo, hay pocos estudios que se centren en analizar los accidentes de tránsito, específicamente los choques y la estructura urbana espacial.

Tijuana concentra 50 por ciento de los accidentes de tránsito del estado de Baja California (Hernández, 2006). En dicha entidad los accidentes de tránsito se ubicaron entre las 10 principales causas de muerte en el año 2000 (Rangel y González, 2006). El flujo de tránsito, los usos del suelo y las características socioeconómicas tienen importantes implicaciones en términos de planeación urbana. El conocimiento de cómo las características del ambiente local afectan la incidencia de accidentes de tránsito puede ser de ayuda para tomar decisiones informadas sobre dónde establecer programas que tengan como meta reducir el número de accidentes. Además del diseño de medidas que busquen incidir en el congestionamiento vehicular o en la descentralización de la estructura urbana (Graham y Glaister; 2003).

La metodología empleada es el análisis espacial, para lo cual se estimó un modelo de regresión tipo binomial negativo. La información básica para desarrollar el trabajo consiste en una base de datos sobre accidentes de tránsito ocurridos en la ciudad de Tijuana durante el período 2003-2004. La información fue proporcionada por la Dirección de Seguridad Pública a través de la Unidad de Análisis de Crímenes del Municipio de Tijuana. La base de datos fue georeferenciada y agrupada a nivel de áreas geoestadísticas básicas (AGEB) mediante el uso de sistemas de información geográfica. Las variables como densidad de población y características socioeconómicas se construyeron a partir de información contenida en el XII

Censo General de Población y Vivienda (INEGI, 2000). Las variables sobre empleo, valor del suelo se obtuvieron del XIV Censo Económico (INEGI, 2004).

El presente artículo está dividido en cinco secciones. La primera discute los distintos enfoques teóricos que se han usado para el estudio de los accidentes de tránsito. La segunda describe la distribución espacial de los accidentes de tránsito en Tijuana, Baja California, asociada con la estructura urbana (uso del suelo, flujos de tránsito y características socioeconómicas). La tercera muestra la metodología y la construcción de variables usadas en el modelo de regresión. La cuarta presenta la especificación del modelo de regresión tipo binomial negativo. La quinta analiza los resultados del modelo de regresión tipo binomial negativo incluyendo los coeficientes, errores estándar y t-estadísticos. Así mismo, se calcularon las elasticidades para facilitar la interpretación de los resultados.

PRINCIPALES ENFOQUES TEÓRICOS QUE ESTUDIAN LOS ACCIDENTES DE TRÁNSITO

Los accidentes viales se han estudiado desde variados enfoques teóricos, entre los que destacan el económico, el de la ingeniería del transporte, el psicológico y el urbano. El enfoque económico se ha centrado en la teoría de los costos de los accidentes de tránsito a partir de los aportes hechos por Vickrey (1968). Dicho enfoque se centra en el análisis de las externalidades generadas por el incremento del riesgo de accidentes debido a un mayor volumen de tránsito (externalidades por el volumen de tránsito). A partir de este trabajo pionero, se han desarrollado distintos modelos que buscan evaluar los costos de los accidentes viales. Newbery (1988) amplió el modelo desarrollado por Vickrey e incorporó los costos externos generados por los accidentes viales en Gran Bretaña. Pero, además, agregó los costos en la forma del incremento del riesgo de accidentes por otros vehículos, por usuarios no protegidos en las carreteras (peatones, ciclistas, etcétera), las ambulancias y los tratamientos médicos, etcétera. Jones-Lee (1990) desarrolló un modelo en el que introdujo otras dos externalidades; la primera, se refiere al costo de los familiares y del resto de la sociedad, y la segunda aborda el incremento del riesgo a los automovilistas impuestos por los peatones y los ciclistas. Jansson (1994) consolidó estos avances de la teoría al construir un modelo que incluye el costo infringido en el productor de los servicios viales, por los usuarios de las vialidades y el costo generado por terceras personas. Lindberg (2001) aplicó la teoría de las externalidades generadas por los costos de los accidentes para el caso de Suecia.

El enfoque psicológico del estudio de los accidentes de tránsito se sustenta en la teoría del comportamiento planificado, que es una extensión de la teoría de la acción razonada. Dicha teoría explora las actitudes al conducir y los intentos por predecir el comportamiento infractor en peatones (Ajzen y Fishbein, 1980; Fishbein y Ajzen, 1975). De igual manera, ha sido utilizada con éxito en los estudios sobre seguridad vial para predecir comportamientos tales como beber y manejar (Åberg, 1997; Beck, 1981; Parker *et al.*, 1992). Además, también es empleada como marco conceptual para predecir el comportamiento relacionado con el incremento de la velocidad (Åberg, 1997; Forward, 1997; Parker *et al.*, 1992; Stradling y Parker, 1995; Vogel y Rotthengatter, 1984).

El enfoque de salud pública considera a los accidentes de tránsito como un problema de salud pública que genera una gran cantidad de heridos y muertos. Además, trata de cuantificar los costos en años de vida productiva por cada individuo que muere, y en términos de los gastos generados por una persona que resulta herida. En esta perspectiva se han producido varios estudios sobre heridas causadas a peatones por vehículos en México. Hajar *et al.* (2003) identificaron la magnitud de los accidentes de tránsito centrándose en los peatones; sus hallazgos muestran que factores como la falta de infraestructura para el cruce de calles o la mala disposición de la existente aumenta el riesgo de sufrir un accidente vial.

Desde una perspectiva urbana, un reducido número de investigaciones se han concentrado en aislar los efectos de la forma urbana y su relación con los accidentes a peatones. McMahan *et al.* (1999) examinaron desde un enfoque urbano una muestra de accidentes en el condado de Wake, Carolina del Norte. Los hallazgos muestran que algunas características socioeconómicas de los vecindarios, tales como el tiempo de construcción de una vivienda, la tasa de desempleo, la proporción de familias en el hogar y la proporción de padres solteros incrementan de manera significativa la probabilidad de un accidente entre vehículos y peatones.

Lenze (2003) desarrolló un modelo de inversión en infraestructura pública en microlocalizaciones con el fin de incrementar la seguridad de los peatones. El estudio contribuye a las investigaciones sobre seguridad en vehículos automotores de dos maneras. Primero, examina el papel de algunas variables ignoradas en investigaciones previas, tales como la contribución de accesos controlados a las vías rápidas para la seguridad de los peatones. Segundo, establece empíricamente que las muertes de peatones en las vías rápidas difieren de las muertes de peatones en otras calles o caminos, y requieren de un análisis de regresión con una especificación diferente. Del mismo modo, Garyling *et al.* (2002) encontraron que los atropellamientos varían negativamente con el ingreso en Inglaterra.

Graham y Glaister (2003), Graham, Glaister y Anderson (2005) probaron algunas hipótesis generales relacionadas con los principales factores que influyen en los atropellamientos a peatones, a través de seis factores locales. El primero se refiere al número absoluto de personas, ya que se parte del hecho de que el número absoluto de personas residentes en una determinada área puede afectar la incidencia de accidentes viales, debido a que se espera que haya mayores accidentes en las áreas en donde hay más población. El segundo considera al volumen del flujo de tránsito como un elemento determinante en la ocurrencia de accidentes. El flujo vial entra al modelo de la misma manera que la variable población, es decir, en las zonas donde hay una mayor oferta de tránsito generada por la localización de población o empleos, se tiene una alta probabilidad de que ocurra un mayor número de accidentes viales. El tercero está relacionado con la naturaleza física del ambiente local, es decir, el tipo de uso del suelo y su densidad, que puede tener un efecto sobre la probabilidad de experimentar accidentes a nivel intraurbano. En las zonas con uso de suelo mixto (residencial, comercio y servicios) se tiene un mayor riesgo de sufrir un accidente vial que en áreas con uso de suelo residencial de baja densidad. El cuarto se refiere a las características de la infraestructura del sistema vial local, es decir, que el volumen de infraestructura en cada área y la velocidad promedio del tránsito afecta la incidencia de accidentes viales. El quinto sugiere que las condiciones socioeconómicas tienen una influencia en que ocurran accidentes de tránsito, es decir, que las zonas más pobres están positivamente asociadas a mayores tasas de atropellados. Por último, se consideran algunos otros factores específicos locales, como las condiciones climatológicas que podrían afectar la presencia de accidentes; por ejemplo, se puede tener menor control de un vehículo en carreteras húmedas, etcétera.

Los resultados del estudio muestran que en la medida en que la densidad de población aumenta los atropellamientos disminuyen, lo cual podría deberse a varios factores, entre los que destacan el uso y la velocidad de los vehículos bajo un gran control (señalamientos) en áreas densamente pobladas; el incremento de peatones en esas zonas da lugar a la imposición de restricciones a la velocidad y a medidas de manejo del tráfico. Los hallazgos relacionados con la densidad de empleos señalan que un incremento en el número de empleos genera mayor movilidad de vehículos y personas, lo cual aumenta la probabilidad de accidentes. También se encontró que las zonas cercanas a grandes centros de empleo, sobre todo industriales, presentan una menor incidencia de accidentes.

*ESTRUCTURA ESPACIAL URBANA Y ACCIDENTES DE TRÁNSITO
EN TIJUANA (2003-2004)*

En Tijuana, la estructura espacial¹ urbana ha mostrado grandes cambios como resultado del rápido crecimiento poblacional y expansión de la mancha urbana. La población casi se duplicó en los últimos 15 años, pues pasó de 700 000 habitantes en 1990, a 1 170 237 en 2005. En el cuadro 1 se observa que en 1990 la tasa de crecimiento poblacional fue de 4.4 por ciento, y la tasa de crecimiento de la superficie urbana de 6.14 por ciento. La diferencia en las tasas de crecimiento de la población y de la mancha urbana es una muestra del rápido crecimiento de la superficie urbana.

CUADRO 1. *Crecimiento poblacional y urbano en Tijuana (1950-2005)*

| Año | Población | Tasa de crecimiento Media anual (%) | Área urbana (ha) | Tasa de crecimiento Media anual (%) | Densidad bruta de población (pob./ha) |
|------|-----------|--|---------------------|--|--|
| 1950 | 59 952 | | 1 744 | | 34.3 |
| 1960 | 145 990 | 8.6 | N.D | N.D | N.D |
| 1970 | 277 306 | 6.9 | 7 789 | 16.14 | 35.6 |
| 1980 | 478 956 | 3 | N.D | N.D | N.D |
| 1990 | 700 000 | 4.4 | 25 653 | 6.14 | 27.28 |
| 2000 | 1 148 681 | 5.1 | 32 046 | N.D | 44.10 |
| 2005 | 1 170 237 | 0.3 | N.D | N.D | N.D |

Fuente: Elaboración propia con base en los Censos de Población y Vivienda (DGE, 1953, 1962, 1972, 1982; INEGI, 1992, 2001) y el Censo de Población (INEGI, 2006).

El patrón extensivo de la superficie urbana incrementó las distancias a recorrer entre áreas habitacionales y centros de trabajo, lo que indujo al aumento en el uso de vehículos particulares. En el cuadro 2 se observa el comportamiento que muestra el número de vehículos particulares, que pasaron de 313 254 en 1997, a 449

¹Los principales componentes de la estructura urbana espacial son la distribución espacial de personas (viviendas), actividades económicas (empleos) y el sistema de transporte que comunica a las personas con las oportunidades (Shen, 2000).

181 para 2004.² Por modo de transporte,³ los automóviles particulares⁴ tuvieron el mayor incremento al pasar de 222 449 en 1999, a 383 113 en 2005. En contraste, el número de unidades de transporte público disminuyó de 3 317 a 2 499 en 2005 (INEGI, 2005a). Lo anterior es una muestra del incremento en el uso del transporte privado y la disminución en el uso de transporte público en la ciudad.

El crecimiento de la población y el aumento del número de vehículos⁵ influyeron en el incremento en el grado de motorización.⁶ Este último pasó de 297 vehículos por cada 1 000 habitantes en 1997, a 404 por cada 1 000 habitantes en 2004 (cuadro 2). El aumento de automóviles se explica también por el hecho de que la ciudad es parte de la Zona libre, que permite a sus residentes la importación de vehículos usados,⁷ logrando que amplios sectores de la población tengan más acceso a un vehículo particular que en otras ciudades del país.

El tamaño de la ciudad y el número de vehículos muestran una relación positiva con el número de accidentes de tránsito, es decir, a mayor tamaño urbano y número de vehículos se incrementa la incidencia de accidentes viales. En Tijuana los choques pasaron de 5 785 en 1997, a 11 404 en 2004, lo que significa que casi se duplicaron en tan sólo seis años. El municipio de Tijuana representa 50 por ciento de los accidentes de tránsito en Baja California (Hernández, 2006). La importancia de esta tendencia se refleja en el número de muertes y lesionados que los accidentes de tránsito ocasionan, que en costos se traducen en años de vida productiva por cada individuo que muere, y gastos generados para las personas que resultan heridas. En Baja California los accidentes de tránsito se ubicaron entre las 10 principales causas de muerte en el año 2000 (Rangel y González, 2006).

²Aunque en el cuadro 2 se aprecia una aparente disminución del número de vehículos para 2004 respecto del año anterior. Sin embargo, ello se debe a que hasta 2003 el INEGI (2005a) agregó en el rubro de total de vehículos, tanto los particulares como públicos, y a partir de 2004 sólo se contabilizaron los vehículos particulares.

³Automóviles, camiones de pasajeros, camiones y camionetas de carga y motocicletas.

⁴De acuerdo con Maldonado (2006), se estima que en Tijuana hay más de 30 por ciento de vehículos en circulación que no están registrados, lo que significa que las estadísticas oficiales tienen un subregistro de la cantidad total de vehículos.

⁵Una de las variables que también explica el incremento de uso de vehículos particulares, además del incremento de distancias, es la mala calidad del transporte público.

⁶El grado de motorización se calcula de la siguiente manera: Número de vehículos/Población x 1000.

⁷En la Zona libre es posible adquirir un vehículo usado procedente de Estados Unidos por medio de un remate a un precio muy bajo (con suerte, desde 300 dólares, o más o menos 4 000 pesos) y posteriormente tramitar su importación (a partir de 500 dólares o más o menos 6 500 pesos), por medio de las agencias importadoras, así como su respectiva tarjeta de circulación con placas fronterizas ante recaudación de rentas del gobierno del estado.

CUADRO 2. *Grado de motorización y número de accidentes en Tijuana (1997-2004)*

| Año | Población ^a | Número de vehículos ^b | Grado de motorización | Número de accidentes |
|------|------------------------|----------------------------------|-----------------------|----------------------|
| 1997 | 1 051 679 | 313 254 | 297.86 | 5 785 |
| 1998 | 1 083 055 | 278 207 | 256.87 | 3 743 |
| 1999 | 1 115 381 | 299 361 | 268.39 | 7 505 |
| 2000 | 1 148 681 | 321 758 | 280.11 | 4 667 |
| 2001 | 1 174 942 | 380 919 | 318.26 | 5 603 |
| 2002 | 1 201 814 | 435 434 | 324.20 | 9 229 |
| 2003 | 1 299 301 | 525 157 | 404.18 | 9 875 |
| 2004 | 1 286 174 | 449 181 | 349.23 | 11 404 |

Fuente: Elaboración propia con base en datos del Simbad-INEGI (2005a).

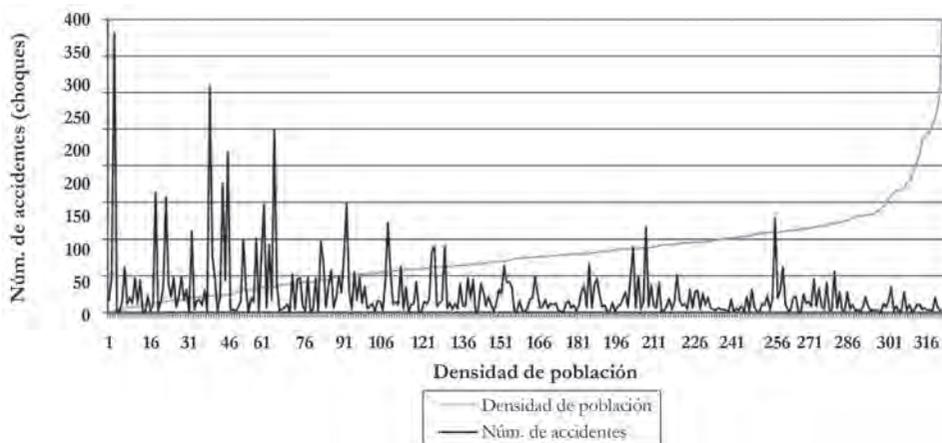
^aPoblación anual estimada por Conapo (2002). ^bIncluye automóviles, camiones de pasajeros, camiones y camionetas de carga y motocicletas.

Los accidentes de tránsito en Tijuana presentan algunas características específicas. De acuerdo con información proporcionada por la Secretaría de Seguridad Pública de Tijuana, los choques representan 71 por ciento de los accidentes, los choques contra objeto fijo 11 por ciento, los choques múltiples siete por ciento, atropellados siete por ciento y salida del camino tres por ciento (Hernández, 2006). Es de llamar la atención el bajo porcentaje de atropellamientos, ya que en urbes como la ciudad de México se ha documentado que los atropellamientos ocasionan 54 por ciento de las lesiones (Hijar *et al.*, 2003); una posible explicación sería, por un lado, en Tijuana el peatón tiene la preferencia en el cruce, lo cual es parte de la interacción transfronteriza, pues la educación vial que existe en Estados Unidos, en este sentido, se reproduce en el caso de Tijuana. Así mismo, un alto porcentaje de los accidentes suceden en las glorietas y los cruceros, lo que permite que en su mayoría sean clasificados como choques relacionados con el volumen de tráfico. Esto parece coincidir con estudios hechos en Estados Unidos⁸ (Retting *et al.*, 2005).

La distribución espacial de los accidentes permite dimensionar su relación con la estructura urbana. Las áreas con usos del suelo residencial, comercial, servicios e industrial muestran comportamientos distintos en cuanto a la presencia de accidentes de tránsito. Lo anterior como resultado de que cada uno de los tipos de

⁸En Estados Unidos casi la mitad de los choques ocurren en cruceros.

usos del suelo genera distintas demandas de viajes origen-destino. Las áreas habitacionales con mayor densidad de población tienen en promedio una menor cantidad de accidentes viales y viceversa, las zonas habitacionales⁹ con menor densidad de población presentan en promedio una mayor cantidad de accidentes. La gráfica 1 muestra el efecto de la densidad de población, y revela una relación interesante: en la medida en que la densidad de población se incrementa, la incidencia de accidentes de tránsito se reduce. En ello podría haber muchos factores diferentes que generan una relación negativa, que incluye la influencia del congestionamiento vehicular. Pero quizá un efecto no observado podría ser considerado como el hecho de que donde la “densidad de población es mayor, el uso y la velocidad del automóvil son controlados por la densidad de luces de tráfico, el cruce de peatones, el diseño de la carretera y las restricciones de velocidad. Por lo tanto, donde la densidad de población es baja y el tráfico se mueve mucho más libre, se podría esperar una mayor incidencia de accidentes” (Graham y Glaister, 2003).



Fuente: Elaboración propia con base en datos del INEGI (2001) y la Secretaría de Seguridad Pública Municipal (SSPM) (2004).

GRÁFICA 1. *Relación entre incidencia de accidentes de tránsito y densidad de población en Tijuana (2003-2004)*

⁹La densidad de población también puede ser utilizada como un indicador de uso del suelo habitacional.

En el mapa 1 se observa la distribución espacial de los accidentes y la densidad de población de las zonas residenciales. Las áreas habitacionales con muy baja densidad de población (0 a 46 habitantes por km²) tienen en promedio la mayor cantidad de accidentes (43.1) y representan 46.49 por ciento. Por su parte, las zonas residenciales con densidad de población baja (47-90 habitantes por km²) tienen un promedio de 24.33 accidentes, y representan 36.45 por ciento de los accidentes. En contraste, las secciones con densidad media (91 a 162 habitantes por km²) presentan promedio de 14.6 accidentes, y así sucesivamente hasta llegar a las secciones de mayor densidad (308 a 562), que muestran en promedio 2.4 accidentes, y llegan a representar 0.13 por ciento de los accidentes.

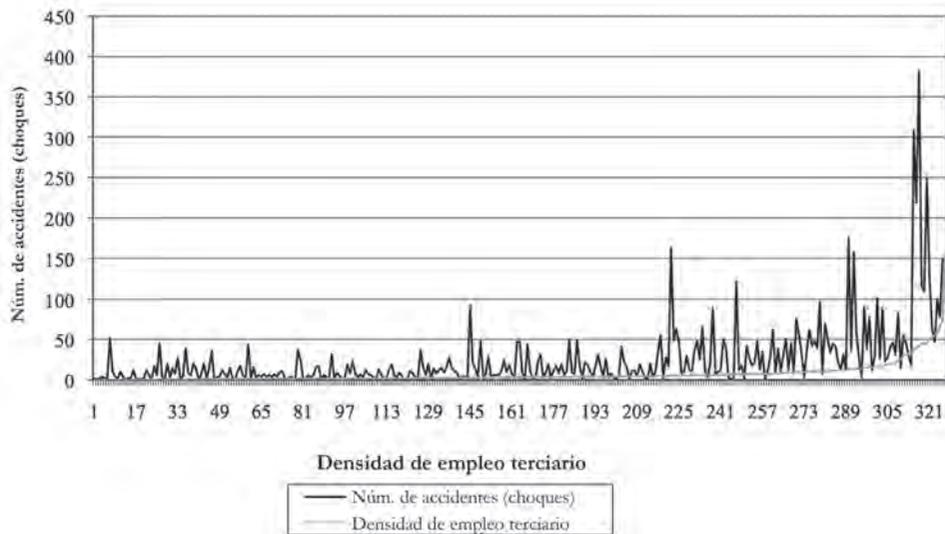
Las zonas con uso del suelo de comercio y servicios concentran más de 50 por ciento de los accidentes de tránsito y ocurren en sólo 25 por ciento de la superfi-



Fuente: Elaboración propia con base en datos del INEGI (2001) y la SSPM (2004).

MAPA 1. Densidad de población por AGEB en Tijuana y choques (2003-2004)

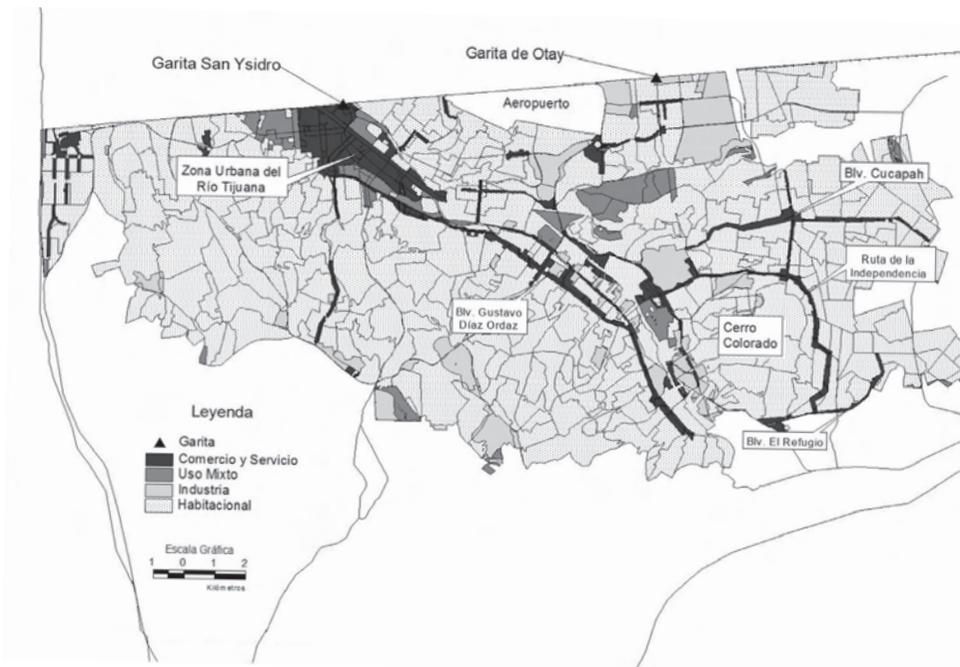
cie urbana. Este tipo de actividades económicas constituye casi 60 por ciento del empleo local (Alegría, 2004). Una característica importante de las áreas con uso del suelo terciario y su relación con la incidencia de accidentes es que la demanda de los servicios que ofrecen requiere la presencia física de los consumidores. El efecto del incremento de la densidad de empleo terciario tiene una influencia marcadamente diferente en la incidencia de accidentes de tránsito en la ciudad. Las AGEB con una alta densidad de empleo terciario presentan una mayor cantidad de accidentes de tránsito, es decir, una asociación negativa. La explicación más probable a la relación que se observa en la gráfica 2 puede deberse al incremento de la actividad económica en esas zonas de la ciudad, ya que en la medida que la población se dirija a realizar compras o usar servicios incrementa su exposición a ambientes con gran flujo de tráfico vehicular (Graham y Glaister, 2003).



Fuente: Elaboración propia con base en datos del XIV Censo Económico (INEGI, 2005) y la SSPM (2004).

GRÁFICA 2. *Relación entre incidencia de accidentes de tránsito y densidad de empleo terciario en Tijuana (2003-2004)*

Las áreas con muy alta concentración¹⁰ de empleo tienen en promedio 176 choques durante el período y sólo representan 3.3 por ciento de la mancha urbana. Éstas se localizan a partir de la Garita Internacional de San Ysidro y a lo largo de la zona del Río, la zona Centro, parte de la zona Norte hasta el final del bulevar Agua Caliente. Otro corredor se extiende a lo largo de los bulevares Gustavo Díaz Ordaz y Federico Benítez (Hernández, 2006). En contraste, las áreas con bajo nivel de concentración de empleo de comercio y servicios tienen un menor promedio de accidentes (48). Éstas se ubican en dos corredores que se localizan al este y sureste de la ciudad; el primero siguiendo el trazo del bulevar Cucapah y finalizando en el bulevar 2000, y el segundo, transversal al anterior, sigue la ruta de la independencia, circunda el cerro Colorado y concluye en el bulevar El Refugio (mapa 2).



Fuente: Elaboración propia con base en datos del Implan (2004).

MAPA 2. Usos del suelo en Tijuana (2004)

¹⁰Para la identificación de las AGEB especializadas en actividades de comercio y servicios se utilizó un indicador de concentración al dividir el número de empleos del sector por AGEB sobre el número de empleos del sector de la localidad.

Las áreas con uso del suelo industrial muestran una relación inversa con el número de accidentes, es decir, las áreas con alta concentración de empleos industriales presentan menor cantidad de accidentes de tránsito. Tomando en cuenta a toda la ciudad, las zonas con una alta proporción del empleo manufacturero representan 21 por ciento de los accidentes, y ocupan 15.4 por ciento de la mancha urbana. Las áreas con más alta concentración de empleos industriales tienen el menor número de accidentes promedio (44) (cuadro 3). Es de llamar la atención que a pesar de que los centros de empleo industriales (parques industriales) son los que presentan la mayor densidad de ocupación, la relación muestra una menor cantidad de accidentes de tránsito. Una posible explicación es que al coincidir gran cantidad de vehículos en horas pico (entradas y salidas de turnos) se genere congestión vehicular y se tenga que disminuir la velocidad de los vehículos. De acuerdo con Shefer y Rietveld (1997), hipotéticamente la relación entre congestión vehicular y accidentes fatales tiene la forma de una “U” invertida, semejante a una curva normal. En un primer momento se produce un aumento de accidentes cuando la curva asciende; en una segunda etapa se alcanza el nivel máximo de accidentes, y la curva logra su máxima extensión (mayor congestión y menor velocidad); por último, disminuyen los accidentes pero con valores semejantes al inicio del proceso porque se trata de una curva simétrica.

CUADRO 3. *Nivel de concentración en empleo manufacturero y número de accidentes por AGEB en Tijuana (2003-2004)*

| Nivel de concentración de empleo manufacturero | Accidentes promedio (choques) | Superficie (km ²) | Porcentaje respecto al total de la mancha urbana |
|--|-------------------------------|-------------------------------|--|
| Muy alta concentración | 44 | 204.6 | 1 |
| Alta concentración | 58 | 640.3 | 3 |
| Mediana concentración | 68 | 1 117.2 | 5.3 |
| Baja concentración | 76 | 1 281.6 | 6.1 |

Fuente: Elaboración propia con base en datos del XIV Censo Económico (INEGI, 2004) por AGEB y la Secretaría de Seguridad Pública Municipal (2004).

El volumen del flujo de tráfico vehicular¹¹ que potencialmente es generado en una zona de la ciudad es otro factor de riesgo para la ocurrencia de accidentes de tránsito. Algunos estudios (Graham y Glaiser, 2003; Graham, Glaister y Anderson, 2005) asumen que el tránsito de origen y destino está en proporción con el nivel de empleo y la población residente en el área. Sin embargo, debido a que no hay información de flujos viales por AGEB, se construyeron dos variables aproximadas: 1) empleo próximo, y 2) población próxima. Con esto se busca lograr el efecto que se espera genere el volumen de tránsito vehicular en cada AGEB, que se incrementa a partir de los viajes al empleo y por la población residente en las AGEB próximas. En el mapa 3 se presenta la distribución espacial de la variable aproximada de flujo de tránsito (empleo próximo) en el que muestra que las AGEB con valores altos son aquellos en donde hay más empleos a corta distancia y presentan la mayor cantidad de accidentes de tránsito. Es importante señalar la distribución espacial que muestra el indicador para el caso de las actividades de comercios y servicios; los valores más altos se presentan a partir del cruce internacional y se prolongan sobre las principales vialidades, las que, a su vez, concentran la mayor cantidad de choques.

El aumento de viajes a los centros de trabajo provoca que en las horas pico se presenten problemas de congestión vehicular, sobre todo en las principales vialidades primarias de la ciudad. Sin embargo, los efectos son distintos dependiendo del tipo de actividad económica que concentran. En los centros de trabajo, de comercio y servicios se incrementa el número de accidentes de tránsito, y en el caso de los centros de empleo industriales disminuyen.

Otra manera de aproximarse a la relación congestión-accidentes de tránsito es mediante el comportamiento del número de accidentes durante un día completo. En el caso de Tijuana los choques se incrementan entre las 7 y 9 a.m. (horas pico), alcanzando su máxima frecuencia a las 6 p.m. Este patrón de accidentes puede soportar el argumento de que son producto del incremento del congestionamiento.¹² Aunque, en este sentido, la Asociación Americana de Auto-

¹¹Debido a que en el caso de Tijuana no se tiene información de aforos vehiculares por AGEB que permitan contar con una medida del volumen de tránsito que identifique el congestionamiento vehicular, se construyeron dos indicadores de fuerzas de atracción. Las fuerzas de atracción afectan cada par de puntos en el espacio (dos diferentes zonas en la misma ciudad) y son generadas por la intensidad del flujo de personas o vehículos. Los flujos de personas y vehículos fueron estimados usando el modelo gravitacional.

¹²En teoría, la relación entre congestión y accidentes es una curva normal; los accidentes o lesiones incrementan conforme aumenta la congestión hasta que la velocidad se reduce a cero. La máxima congestión, pero un aumento en la velocidad, es decir, una disminución leve de la congestión, en teoría es una imagen espejo de la situación previa.



Fuente: Elaboración propia con base en datos de INEGI (2005b) e Implan (2004).

MAPA 2. *Empleos próximos por AGEB. Tijuana (2004)*

móviles (2008) muestra resultados mixtos. Por un lado, se argumenta que a menor grado de congestión hay una menor cantidad de accidentes, pero lo que aumenta es la severidad de los choques y, por el otro, a mayor congestionamiento puede aumentar el número de accidentes, pero de menor gravedad.

La variable población próxima, que también se utiliza como una variable aproximada de flujo de tránsito, muestra un comportamiento opuesto a la variable empleo próximo. El valor del indicador se incrementa en la medida que se aleja de las principales vialidades primarias que concentran actividades de comercio, servicios e industria. Es importante señalar que las áreas con alta densidad de población tienen los mayores valores del indicador, pero presentan la menor cantidad de accidentes de tránsito.

METODOLOGÍA Y CONSTRUCCIÓN DE VARIABLES

El estudio intenta mostrar la relación espacial entre algunas variables asociadas con la estructura urbana y la incidencia de accidentes viales, para lo cual se procedió a georeferenciar algunas variables e integrarlas a la división por AGEB. La variación espacial en el número absoluto de choques se propone en función de tres factores locales; flujo de tráfico (número de personas, empleo próximo y población próxima), uso del suelo (densidad de empleo secundario y terciario, densidad de población) y características socioeconómicas (edad, ingreso).

Accidentes de tránsito

Número de accidentes de tránsito

El número de accidentes de tránsito (choques) se georeferenciaron a través de un sistema de información geográfica (Mapinfo 7.0). El procedimiento consistió en distribuir en el espacio urbano parte de los 13 093 accidentes de tránsito que ocurrieron durante el período de septiembre de 2003 a octubre de 2004. Esta información fue proporcionada por la Secretaría de Seguridad Pública Municipal de Tijuana (SSPM) a través de la Unidad de Análisis de la Criminalidad (UAC).¹³ Del total de accidentes, sólo 6 922 (52.87 por ciento) estaban georeferenciados, por lo que se procedió a realizar el mismo procedimiento a los 6 171 accidentes restantes. De estos últimos accidentes, sólo se pudieron georeferenciar 5 512, que aunados a los 6 922 sumaron un total de 12 434 (Hernández, 2006). La información de accidentes viales, una vez georeferenciada, se integró a la división por AGEB usada en el XII Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2000). El análisis espacial de los datos se realizó en ArcView 3.3.

¹³La base de datos de accidentes de tránsito se construye con los reportes de incidentes atendidos por los oficiales de policía y tránsito municipal. Los oficiales recopilan 16 indicadores, entre ellos el tipo de accidente, la causa determinante, condiciones del vehículo, del camino y del conductor, las personas lesionadas y fallecidas. La Unidad de Análisis de Crímenes se encarga de procesar la información, cuando los informes reportan un nivel de desagregación alto del punto exacto del incidente se georeferencia; sin embargo, en la mayoría de los accidentes lo que se reporta son las calles más cercanas. En tales casos, la información se agrega al AGEB correspondiente. El principal reto que enfrentan las bases de datos de accidentes de tránsito, y la de Tijuana no es la excepción, es ubicar el punto exacto de los accidentes, pues al no tener estos datos no es posible hacer un análisis más detallado. Finalmente, las autoridades reconocen que hay un subregistro de los accidentes de tránsito.

*Flujo de tránsito*¹⁴*Número total de personas por AGEB*

El número total de personas (POBTOT) en cada AGEB puede afectar la incidencia de accidentes de tránsito, ya que la probabilidad de ocurrencia de éstos se espera sean mayores donde hay más población. Para probar dicha hipótesis se parte del hecho de que un incremento en la oferta de potenciales víctimas afecta la incidencia de accidentes. La información utilizada para la construcción la variable es la población total por AGEB que se obtuvo del Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2000).

Empleos próximos y población próxima

El volumen del flujo vehicular que potencialmente es generado en la AGEB *i* es otro factor de riesgo para la ocurrencia de accidentes. Se asume que el tráfico de origen y destino está en proporción con el nivel de empleo (E) y la población residente (P) en el AGEB. Sin embargo, debido a que no hay flujos vehiculares por AGEB, se construyeron dos variables aproximadas: 1) empleo próximo (PE); y 2) población próxima (PP). Para capturar el efecto que se espera genere el volumen de tránsito en cada AGEB que se incrementa a partir de los viajes al empleo y por la población residente en las AGEB próximas. Para los viajes generados en el AGEB *i* por empleos (PE) y población (PP) próximos, se construyó la siguiente medida.

$$PE_i = \sum_j \frac{E_j}{d_{ij}}, \quad PP_i = \sum_j \frac{P_j}{d_{ij}}$$

Donde: E_j es el empleo total del AGEB

P_j es la población total del AGEB

d_{ij} es la distancia del AGEB *i* al AGEB *j*

La localización de factores que incrementan la demanda de viajes (personas y empleos) pueden ser utilizados como variables aproximadas del flujo vehicular.

¹⁴Los datos disponibles impiden observar de forma directa los flujos vehiculares; la variable asume que el empleo y la población son una medida del nivel de actividad que genera el tráfico.

Este tipo de variables que buscan capturar los efectos de proximidad, son cruciales en el entendimiento de la influencia de la escala urbana sobre la incidencia de tasas de accidentes. Las variables de proximidad reflejan directamente la influencia de la aglomeración urbana. Las AGEBS con valores altos de PE y PP son aquellas en donde hay empleos o personas a corta distancia. La información usada para la construcción del índice fue la variable empleo total por AGEB que se obtuvo de los Censos Económicos (INEGI, 2004) y la población por AGEB en el Censo General de Población y Vivienda (INEGI, 2000). Las distancias entre AGEB fueron calculadas a través del módulo o extensión (*distance point feature script*) de ArcView 3.3.

Uso del suelo

Densidad bruta de empleo de comercio y servicios

El uso del suelo terciario tiene un impacto directo en el número de accidentes debido a la demanda de viajes que generan este tipo de actividades económicas. En los estudios realizados al respecto se menciona que en las zonas con uso del suelo comercial y de servicios es donde hay un mayor riesgo de accidentes (Lenza, 2003). Puesto que no se tiene información de usos de suelo a nivel de AGEB, se construyeron variables aproximadas con información sobre empleo por sector y población como indicadores de densidades relativas de usos del suelo comercial, servicios, industrial y residencial.

La variable densidad bruta de empleo terciario (DBET) se construyó al sumar el empleo de comercio y servicios y dividir por la superficie del AGEB. Esta variable tiene un doble efecto sobre los accidentes de tránsito. Por un lado, las áreas de mayor densidad de empleo terciario inducen la presencia de peatones y vehículos en los comercios, lo cual los expone a ser víctimas de un accidente vial. Por el otro, usos de suelo terciario incrementan la probabilidad de un accidente debido a la presencia de actividades económicas como los bares o restaurantes en los que se venden bebidas alcohólicas. La información usada para la construcción de la variable es la población ocupada en comercio y servicios por AGEB que se obtuvo de los Censos Económicos (INEGI, 2004) y la superficie se calculó a través del ArcView 3.3.

Densidad bruta de empleo secundario

La variable densidad bruta de empleo secundario (DBES) se construyó al dividir el empleo manufacturero por la superficie del AGEB. La concentración de peatones y vehículos durante las entradas y salidas de turnos de trabajo (horas pico) puede generar la presencia de accidentes de tránsito. La información empleada para la construcción de la variable es población ocupada en el sector manufacturero por AGEB que se obtuvo de los Censos Económicos (INEGI, 2004) y la superficie se calculó a través del ArcView 3.3.

Densidad bruta de población

La variable densidad bruta de población (DBP) se construyó al dividir la población total por la superficie del AGEB. La densidad de población tiene dos posibles efectos sobre los accidentes de tránsito. Por un lado, la intensidad con la que se usa el suelo incrementa las interacciones potenciales entre personas y vehículos, lo cual podría aumentar los accidentes. Por otro lado, la densidad de población refleja el uso de suelo residencial. La información usada para la construcción del índice fue la variable población total por AGEB que se obtuvo del Censo General de Población y Vivienda (INEGI, 2000), la superficie del AGEB se calculó a través del ArcView 3.3.

Características socioeconómicas

Las características socioeconómicas (edad y ingreso) de la población que reside en las AGEB pueden tener un impacto en la probabilidad de experimentar un accidente de tránsito. Estudios han encontrado que los patrones de viajes y el uso de las calles está asociado con las características socioeconómicas, y que las personas que viven en zonas deprimidas tienen una mayor probabilidad de ser víctimas de un atropellamiento (Christie, 1995; White *et al.*, 2000). Las variables usadas son la proporción de la población ocupada con ingresos menores a dos salarios mínimos (bajos ingresos), la proporción de la población ocupada con ingresos mayores a cinco salarios mínimos (altos ingresos), la proporción de población de 15 a 24 años (jóvenes), la proporción de población de 60 años y más (adultos mayores).

Proporción de la población ocupada con ingresos menores a dos salarios mínimos

La variable proporción de la población ocupada con ingresos menores a dos salarios mínimos (PPOIM2SM) se refiere al porcentaje de la población ocupada del AGEB que no recibe salario, que recibe menos de un salario, uno y hasta dos salarios mínimos mensuales. Los estudios han reportado que la población de bajos ingresos tiene una menor capacidad de comprar un vehículo, y por lo tanto tiene una menor probabilidad de sufrir accidentes de tránsito. La información utilizada para construir de la variable se obtuvo del Censo General de Población y Vivienda (INEGI, 2000).

Proporción de la población ocupada con ingresos mayores a cinco salarios mínimos

La variable proporción de la población ocupada con ingresos mayores a cinco salarios mínimos (PPOIM5SM); incluye el porcentaje de la población ocupada de la AGEB que recibe más de cinco salarios mínimos mensuales. El ingreso podría estar correlacionado positivamente con otros comportamientos riesgosos de la población de mayor ingreso como la propensión a manejar a altas velocidades, mayor número de vehículos, etcétera. La información usada para la construcción de la variable se extrajo del Censo General de Población y Vivienda (INEGI, 2000).

Proporción de la población de entre 15 y 24 años

La variable proporción de población de entre 15 y 24 años (PP15A24) se construyó mediante la suma de la población de esos grupos de edad. Los estudios mencionan que los más jóvenes (grupo de edad de 15-30) tienen una mayor probabilidad de verse envueltos en accidentes de tránsito que otros grupos de edad (Cañas y Correa, 2001). La información usada para la construcción de la variable provino del Censo General de Población y Vivienda (INEGI, 2000).

Proporción de la población de 60 años y más

La variable proporción de población de 60 años y más (PPM60) se construyó mediante la suma de la población de más de 60 años. Esta variable entra como una aproximación de debilidad visual, agilidad, etcétera, que puede desencadenar un accidente. La información usada para la construcción de la variable provino del Censo General de Población y Vivienda (INEGI, 2000).

ESPECIFICACIÓN DEL MODELO

El modelo de regresión espacial que analiza los accidentes de tránsito tiene como variable dependiente el número de accidentes, específicamente los choques. La naturaleza discreta de la información y la preponderancia de ceros y valores pequeños conduce a que el uso de un modelo de regresión múltiple lineal puede producir estimaciones ineficientes, inconsistentes y sesgadas (Graham y Glaister, 2003). La especificación ampliamente usada en los modelos de análisis en el que la variable dependiente toma valores integrales no negativos que corresponden al número de eventos ocurridos en un intervalo determinado se basa en un modelo de regresión tipo Poisson, y sus generalizaciones como el modelo binomial negativo (Cameron y Trivedi, 1986; 1998). El modelo Poisson lleva implícito asumir que la media condicional y la varianza son idénticas; por su parte, el modelo binomial negativo introduce un efecto individual que no se observa en la media condicional que tiene como objetivo relajar el supuesto de equidispersión (Graham, Glaister y Anderson, 2005).

Para una variable discreta aleatoria, Y , y la frecuencia observada en el AGEB i , $y_i = 1, \dots, n$ el modelo binomial negativo es:

$$\ln \lambda = \beta_j' x_i + \varepsilon$$

En donde λ es el número esperado de eventos por AGEB, x_i es un vector de variables y ε representa ya sea el error de especificación o la heterogeneidad entre secciones. Así β_j' el coeficiente estimado, es el cambio proporcional en el número esperado de eventos por período de una unidad de cambio en una variable independiente, x_j .

Algunos estudios similares (Graham y Glaister, 2003; Graham, Glaister y Anderson, 2005) han mencionado que no hay evidencia de que se considere una sola relación funcional para las variables dentro del modelo, y se ha sugerido que la forma funcional cuadrática es la apropiada.

La variable dependiente del modelo incluye el número de accidentes, y las variables independientes son: el número absoluto de personas, densidad de población, densidad de empleo, empleo próximo, población próxima, proporción de la población de bajos ingresos, proporción de la población de altos ingresos, proporción de la población de 15 a 24 años y proporción de la población de más de 60 años.

RESULTADOS

El modelo de regresión binomial negativo se corrió usando 337 observaciones, el estadístico alpha asociado con la estimación permite rechazar la hipótesis de equidispersión y apoyar la formulación tipo binomial negativo. El modelo binomial negativo describe los cambios proporcionales en el número esperado de accidentes de tránsito por una unidad de cambio en las variables independientes. En la primera parte se presentan los resultados completos del modelo binomial negativo, incluyendo los coeficientes estimados, los errores estándar asociados y los t-estadísticos. En la segunda parte se utilizan los coeficientes estimados y los valores de la media aritmética de las variables para calcular las elasticidades.

En el cuadro 4 se observa que las variables aproximadas de uso de suelo residencial, densidad de población (DBP), densidad de empleo de comercio y servicios (DBET), densidad de empleo industrial (DBES) y las dos variables aproximadas del flujo de tránsito: empleo próximo (PE) y población próxima (PP), son estadísticamente significativas para explicar la probabilidad de que ocurran accidentes de tránsito. Del grupo de variables socioeconómicas, sólo la proporción de población con ingresos mayores a cinco salarios mínimos fue estadísticamente significativa.

CUADRO 4. *Estimación del modelo de regresión binomial negativo para los accidentes de tránsito (choques) en Tijuana (2003-2004)*

| Variable | Coefficiente | Error estándar | Estadístico-z | Nivel de significancia |
|--------------------------------------|--------------|----------------|-----------------------------------|------------------------|
| C | 0.2773 | 1.0581 | 0.262 | *** |
| POBTOT | -0.0051 | 0.0004 | -1.0286 | n.s |
| DBP | -0.0153 | 0.0022 | -6.8235 | *** |
| PE | 0.0037 | 0.0013 | 2.8492 | *** |
| PP | 0.0124 | 0.0050 | 2.4734 | *** |
| DBES | -0.0145 | 0.0007 | -1.8312 | * |
| DBET | 0.0682 | 0.0102 | 6.6409 | *** |
| PP15A24 | 3.9061 | 3.4514 | 1.1317 | N.S |
| PPMAS60 | -0.4518 | 1.0276 | -0.4396 | N.S |
| PP1H2SM | 10.5447 | 14.4849 | 0.7279 | N.S |
| PPM2H5SM | 2.0719 | 11.7814 | 0.1758 | N.S |
| PPM5SM | 16.6537 | 5.0837 | 3.2758 | *** |
| N = 337 | | | Log likelihood función = -1218.83 | |
| Restricted log likelihood = -7028.59 | | | | |
| X ² = 20.74 | | | a = 1.2883 | |

Nivel de significancia estadística * p < 0.05 ** p < 0.01 *** p < 0.001 n.s= no significativa

Fuente: Elaboración propia con datos del XIV Censo Económico (INEGI, 2005b) y la Secretaría de Seguridad Pública Municipal (2004).

Las variables que buscan probar la hipótesis sobre la relación entre los usos del suelo y la incidencia de accidentes muestran los signos esperados y son altamente significativas. El coeficiente de la variable densidad de empleo de comercio y servicios que es una variable aproximada del uso del suelo terciario, tiene signo positivo (0.06823) y es altamente significativo con 95 por ciento de confianza. Además, el alto valor del z-estadístico (6.6409) muestra que ésta es una de las variables más importantes para explicar un incremento esperado en el número de accidentes. Lo anterior explica que en las AGEB con alta densidad de empleo terciario tienen mayor probabilidad de experimentar accidentes de tránsito. Una explicación a lo anterior se basa en el hecho de que la densidad de viajes de tránsito depende de la composición sectorial del empleo, la cual es mayor en los centros de empleo de comercio y servicios, lo que incrementa el riesgo de accidentes de tránsito. Es relevante señalar que esta variable aporta la mayor explicación de los accidentes de tránsito en el modelo, lo cual es de gran utilidad al momento del diseño de políticas públicas. La elasticidad¹⁵ asociada con la densidad de empleo terciario es 0.4774. Así, un incremento de 10 por ciento en la densidad de empleo de comercio y servicios en las AGEB está asociada con un aumento de 4.7 por ciento en el número esperado de accidentes de tránsito (cuadro 5).

CUADRO 5. *Coefficientes y elasticidades del modelo de regresión binomial negativo para los accidentes de tránsito (choques) en Tijuana (2003-2004)*

| VARIABLES INDEPENDIENTES | COEFICIENTES ESTIMADOS | ELASTICIDADES |
|--------------------------|------------------------|---------------|
| DBET | 0.0682 | 0.4774 |
| DBES | -0.0145 | -0.0870 |
| DBP | -0.0153 | -1.2699 |
| PE | 0.0037 | 0.1850 |
| PP | 0.0124 | 2.7156 |
| PPM5SM | 16.6537 | 0.0001 |

Fuente: Elaboración propia con datos del XIV Censo Económico (INEGI, 2005b), XII Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2001) y la Secretaría de Seguridad Pública Municipal(2004).

Por su parte, la densidad de empleo manufacturero que es una variable aproximada del uso del suelo industrial tiene un coeficiente negativo (-0.0145), con un nivel de confianza de 90 por ciento. Lo que significa que en la medida que se in-

¹⁵Las elasticidades fueron calculadas al punto de la media aritmética.

crementa la densidad de empleo manufacturero en las AGEB, disminuye el número de accidentes esperados. Lo anterior muestra que las AGEB cercanas a los centros de empleos más densos, como es el caso de los manufactureros tienen una menor incidencia de accidentes de tránsito. El efecto de aglomeración tiene distintos orígenes, uno de los más importantes es el efecto de congestión en horas pico (entradas y salidas de turnos) en los que los vehículos automotores disminuyen su velocidad. Además de la presencia de una mayor señalización y vigilancia de tránsito, lo que reduce la posibilidad de accidentes. La densidad de empleo manufacturero en las AGEB tiene poca influencia en explicar las tasas de accidentes de tránsito, su elasticidad muestra que un incremento en la densidad de empleo manufacturero en 10 por ciento reduce el número esperado de accidentes en 0.8 por ciento. Una explicación alternativa a este resultado podría deberse a que las empresas maquiladoras ofrecen el servicio de transporte a los trabajadores, lo cual reduce el número de vehículos en las horas de entrada y salida.

La densidad de población es una variable que puede ser utilizada para medir la intensidad con la que se usa el suelo, lo que incrementa las interacciones potenciales entre personas y vehículos. La relación entre la variable es negativa (-0.0153), lo cual significa que en la medida que se incrementa la densidad de población en las AGEB disminuye el número de accidentes esperados. Lo anterior parece apoyar la hipótesis de que en las zonas altamente pobladas hay una mayor interacción entre personas y vehículos, para lo que se han diseñado mayores controles en términos de señalamientos, bordos, vigilancia etcétera, que actúan dando seguridad a las personas, lo que reduce la posibilidad de accidentes viales.

La densidad bruta de población, además de utilizarse como una variable aproximada de la intensidad en el cual el suelo es usado, también refleja la mezcla del suelo. Los resultados muestran que las zonas con baja densidad de población (mezcla del suelo) tienen mayor probabilidad de sufrir accidentes de tránsito, debido a que comparten el suelo con otras actividades económicas (comercio, servicios e industria) que generan una mayor demanda de viajes. La elasticidad se interpreta como que un incremento en la densidad de población de 10 por ciento es asociada con una disminución de los accidentes de tránsito en 12.69 por ciento. El resultado anterior refuerza la hipótesis de que los usos de suelo predominantemente residencial tienden a ser más seguros que los usos de suelo mixto, debido a que generan una menor demanda de viajes externos.

Las siguientes dos variables representan el volumen del flujo de tránsito en cada zona (AGEB) de la ciudad. Sin embargo, el énfasis fue puesto también en el

hecho de que esas variables reflejan el papel de la escala urbana y la aglomeración (Graham y Glaister, 2003). La variable empleo próximo se desempeña de manera distinta a la variable población próxima. En la medida que el número de empleos próximos en las zonas de la ciudad se incrementa, el de accidentes de tránsito esperados aumenta. La elasticidad muestra que un incremento de 10 por ciento en el empleo aproximado está en promedio asociado con 1.8 por ciento de aumento en los accidentes de tránsito. El efecto poblacional actúa en la misma dirección. La elasticidad de la variable población máxima (2.7156) es mucho más grande que la de empleo próximo (0.1850). Lo anterior significa que 10 por ciento de incremento de la población está asociado en promedio con 27.15 por ciento de incremento en los accidentes de tránsito. En ambos casos se puede mencionar que el número de accidentes será mayor en las AGEB rodeadas por grandes concentraciones de población y centros de empleos, sobre todo de comercio y servicios.

La única variable socioeconómica que estadísticamente fue significativa en el modelo es la proporción de población con ingresos mayores a cinco salarios mínimos. El coeficiente es positivo (16.6537), lo que explica que las AGEB que presentan un incremento en la proporción de población con ingresos mayores a cinco salarios mínimos tienen mayor probabilidad de aumentar el número esperado de accidentes de tránsito. Algunos autores mencionan que los niveles de motorización aumentan con el ingreso, que hay una relación positiva entre el ingreso de los individuos y la posibilidad de ser propietario de un vehículo (Kopits y Cropper, 2003).

CONCLUSIONES

Este estudio ha explorado la influencia de la estructura espacial urbana en la ocurrencia de accidentes de tránsito. En particular, los resultados se centran en explicar la relación entre usos del suelo, el flujo de tránsito y las características socioeconómicas y la probabilidad de que ocurra un accidente vehicular. El enfoque geográfico permitió identificar algunas importantes influencias espaciales en la incidencia de accidentes de tránsito. Los resultados del modelo de regresión binomial negativo muestran que hay una relación positiva y estadísticamente significativa entre densidad de empleo terciario, el flujo vehicular (empleo próximo y población próxima) e ingreso (proporción de población con cinco salarios mínimos) con la probabilidad de ocurrencia de accidentes de tránsito. En contraste,

variables como densidad de población y densidad de empleo manufacturero tienen una relación negativa y estadísticamente significativa con la probabilidad de sufrir un accidente de tránsito.

Los valores del t-estadístico de las variables densidad de población, densidad de empleo terciario y el flujo vehicular muestran que son las variables que más aportan a la explicación de la probabilidad de que ocurran accidentes de tránsito. Las actividades terciarias no son solamente generadoras de empleo urbano, sino que además la demanda de servicios que ofrecen requiere la presencia de consumidores, lo que no ocurre con las actividades industriales. En el caso de Tijuana, un incremento de 10 por ciento en la densidad de empleo de comercio y servicios está asociado con un aumento de 4.7 por ciento en el número esperado de accidentes viales.

La densidad bruta de población, además de utilizarse como una variable aproximada de la intensidad en la cual el suelo es usado, también refleja la mezcla del suelo. Los resultados muestran que las zonas con baja densidad de población (mezcla del suelo) tienen una mayor probabilidad de sufrir accidentes de tránsito, debido a que comparten el suelo con otras actividades económicas (comercio, servicios e industria) que generan una mayor demanda de viajes. Por el contrario, las áreas con alta densidad de población muestran una menor probabilidad de accidentes, debido a varias razones entre las que destacan una menor demanda de viajes externos, mayores controles en términos de señalamientos, bordos, vigilancia, que actúan dando seguridad a sus residentes.

El flujo de vehículos impacta las zonas donde hay una mayor oferta de tránsito generado por la localización de población o empleos, por lo que hay mayor probabilidad de que se generen accidentes viales.

Los resultados anteriores son de gran ayuda para el diseño de políticas públicas que tengan como elemento central la prevención de los accidentes de tránsito. Primero, las medidas coercitivas, como las multas, poco pueden hacer por frenar el impacto negativo de los accidentes de tránsito sino se toma en cuenta la estructura espacial urbana. Segundo, el modelo confirmó que la variable densidad de población está asociada de manera negativa con los accidentes de tránsito, por lo que una política que busque disminuirlos deberá incluir en su diseño elementos tan sencillos como las densidades de población y tendencias de crecimiento y expansión de la misma. Esto apoya el argumento de que las áreas de la ciudad con uso del suelo mixto tienen un mayor grado de accidentalidad. Tercero, las zonas que son generadoras de un flujo continuo de tránsito que se produce a partir de

la localización de actividades económicas, deben ser incorporadas en el diseño de una política que busque reducir los riesgos que produce la movilidad al interior de la ciudad. Cuarto, la alta incidencia de accidentes en áreas con uso del suelo terciario necesariamente implica el diseño de una política distinta que en otros usos del suelo, que ayude a reducir el grado de accidentalidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Åberg, Lars, "The Role of Perceived Risk of Detection", en Talib Rothengatter y Enrique Carbonell, coords., *Proceedings of the International Conference on Traffic and Transport Psychology*, Valencia-Amsterdam, Elsevier, 1997.
- Ajzen, Icek y Martin Fishbein, *Understanding Attitudes and Predicting Social Behaviour*, Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1980.
- Alegría, Tito, "Estructura intraurbana y segregación social: el caso de Tijuana", en Roberto García, comp., *Contradicciones entre planeación y realidades regionales, metropolitanas y socioambientales*, Tijuana, El Colef, 2004.
- American Automobile Association (AAA), *Crashes vs Congestion Report. What's the Costs to Society*, American Automobile Association, 2008.
- Beck, Kenneth H., "Driving while Under the Influence of Alcohol: Relationship to Attitudes and Beliefs in a College Population", *American Journal of Drug and Alcohol Abuse*, vol. 8, Nueva York, Taylor & Francis, 1981, pp. 377-388.
- Cameron, A. Colin y Pravin K. Trivedi, "Econometric Models Based on Count Data: Comparisons and Applications of Some Estimators and Tests", *Journal of Applied Economics*, vol. 1, Buenos Aires, Universidad del Cema, 1986, pp. 29-53.
- Cameron, A. Colin, "Regression Analysis of Count Data", *Econometric Society Monograph*, núm. 30, Cambridge, Cambridge University Press, 1998.
- Cañas, Óscar y Juan Carlos Correa, "Panorama de la accidentalidad vial en Medellín en 1999", *Revista de la Facultad Nacional de Salud Pública*, vol. 19, núm. 2, Medellín, Universidad de Antioquia, 2001, pp. 19-32.
- Christie, Nicola, *Social, Economic and Environmental Factors in Child Pedestrian Accidents: A Research Overview*, Report núm. 116, Berkshire, Transport Research Laboratory, 1995.
- Consejo Nacional de Población (Conapo), *Proyecciones de la población de México, 2000-2050*, México, Conapo, 2002.

- Dickerson, Andrew Peter; John Douglas Peirson y Roger Vickerman, "Road Accidents and Traffic Flows: An Econometric Investigation", *Economica*, vol. 67, núm. 265, Londres, London School of Economics, 2000, pp. 101-121.
- Dirección General de Estadística (DGE), *VII Censo general de población, 1950*, México, Dirección General de Estadística, 1953.
- DGE, *VIII Censo general de población, 1960*, México, Dirección General de Estadística, 1962.
- DGE, *IX Censo general de población, 1970*, México, Dirección General de Estadística, 1972.
- DGE, *X Censo general de población, 1980*, México, Dirección General de Estadística, 1982.
- Fishbein, Martin e Icek Ajzen, *Belief, Attitude, Intention and Behaviour: An Introduction to the Theory and Reasearching*, Reading, Addison-Wesley, 1975.
- Forward, Sonja, "Measuring Driver Attitudes Using the Theory of Planned Behaviour?", en Talib Rothengatter y Enrique Carbonell, coords., *Preceedings of the International Conference on Traffic and Transport Psychology*, Valencia-Amsterdam, Elsevier, 1997.
- Grayling, Tony *et al.*, *Streets Ahead: Safe and Liveable Streets for Children*, Londres, Institute for Public Policy Research, 2002.
- Graham, Daniel y Stephen Glaister, "Spatial Variation in Road Pedestrian Casualties: The Role of Urban Scale, Density and Land Use Mix", *Urban Studies*, vol. 40, núm. 8, Londres, Sage, 2003, pp. 1591-1607.
- Graham, Daniel y Richard Anderson, "The Effects of Area Deprivation on the Incidence of Child and Adult Pedestrian Casualties in England", *Accident Analysis & Prevention*, vol. 37, núm.1, Amsterdam, Elsevier, 2005, pp. 125-135.
- Hernández, Vladimir, *La influencia de la estructura urbana en la incidencia de accidentes de tránsito en Tijuana, B. C. (2003-2004)*, tesis de maestría en desarrollo regional, Tijuana, El Colef, 2006.
- Hijar, Martha; Lawrence D. Chu y Jess F. Kraus, "Cross-National Comparison of Injury Mortality: Los Angeles County, California and Mexico City, Mexico", *International Epidemiological Association*, núm. 29, Oxford, Oxford University Press, 2000, pp. 715-721.
- Hijar, Martha; Jess F. Kraus, Víctor Tovar y Carlos Carrillo, "Analysis of Fatal Pedestrian Injuries in Mexico City, 1994-1997", *Injury*, vol. 32, núm. 4, Amsterdam, Elsevier, 2001, pp. 279-284.
- Hijar, Martha; Eduardo Vázquez-Vela y Carlos Arreola-Risa, "Pedestrian Traffic

- Injuries in Mexico: A Country Update”, *Injury Control and Safety Promotion*, vol. 10, núm. 1-2, Londres, Taylor & Francis, 2003, pp. 37-43.
- Instituto Municipal de Planeación (Implan), *Usos de suelo y red vial. Municipio de Tijuana*, disco compacto, Tijuana, Implan, 2004.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), *XI Censo general de población y vivienda, 1990*, Aguascalientes, INEGI, 1992.
- INEGI, *Base geoestadística municipal, Tijuana*, disco compacto, Aguascalientes, INEGI, 2000.
- INEGI, *XII Censo general de población y vivienda, 2000*, Aguascalientes, INEGI, 2001.
- INEGI, “Vehículos registrados en circulación”, Sistema Municipal de Bases de Datos (Simbad), INEGI, 2005a, en < <http://sc.inegi.gob.mx/simbad/index.jsp?c=125>>, consultado el 18 enero de 2006.
- INEGI, *Censos económicos 2004*, Aguascalientes, INEGI, 2005b.
- INEGI, *II Censo de población y vivienda, 2005*, Aguascalientes, INEGI, 2006.
- Jansson Jan, Owen, “Accidental Externality Charges”, *Journal on Transport Economics and Policy*, enero, Bath, University of Bath, 1994, pp. 31-43.
- Jones-Lee, Michael, “The Value of Transport Safety”, *Oxford Review of Economic Policy*, núm. 6, Oxford, Oxford University Press, 1990, pp. 39-60.
- Kivell, Philip, *Land and the City: Patterns and Processes of Urban Change, Geography and Environment Series*, Londres y Nueva York, Routledge, 1993.
- Kopits, Elizabeth y Maureen Cropper, “Traffic Fatalities and Economic Growth”, *Policy Research*, Working Paper, núm. 3035, abril, Washington, The World Bank, 2003, p. 42.
- Lenze, David, *A Micro-Location Model of Public Investment in Pedestrian Safety Capital*, Miami, Bureau of Economic and Business/University of Florida, 2003.
- Lindberg, Gunnar, “Traffic Insurance and Accident Externality Charges”, *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 35, Part 3, Bath, University of Bath, 2001, pp. 399-416.
- Maldonado, María del Socorro, *Calidad del espacio público urbano y su relación con la movilidad en la ciudad de Tijuana*, tesis de maestría en desarrollo regional, Tijuana, El Colef, 2006.
- McMahon, Patrick J. *et al.*, “Analysis of Factors Contributing to ‘Walking Along Roadway’ Crashes”, *Transportation Research Record* 1674, Washington/TRB/National Research Council, 1999, pp. 41-48.
- Newbery, David M., “Road User Charges in Britain”, *Economic Journal*, 98, Oxford, Wiley, 1988, pp. 161-176.

- Parker, Dianne *et al.*, “Intention to Commit Driving Violations: An Application of the Theory of Planned Behavior”, *Journal of Applied Psychology*, vol. 77, núm.1, Washington, American Psychological Association, 1992, pp. 94-101.
- Rangel, Gudelia y Raúl González, “Situación de la salud en la frontera norte de México”, en Gerardo Ordóñez y Marcos Reyes, coords., *Los retos de la política social en la frontera norte*, Plaza y Valdés/El Colef, 2006, pp. 181-211.
- Retting, Richard, *et al.*, *Reducing Urban Arterial Intersection Crashes Through Crash Typing Analysis: A Case Study*, Arlington, Insurance Institute for Highway Safety, 2005.
- Rothenberg, Talib y Enrique Carbonell, coords., *Proceedings of the International Conferences on Traffic and Transport Psychology*, Valencia-Amsterdam: Elsevier, 1997.
- Shefer, Daniel y Piet Rietveld, “Congestion and Safety on Highway: Toward an Analytical Model”, *Urban Studies*, vol. 34, núm. 4, Londres, Sage, 1997, pp. 679-692.
- Shen, Qing, “The Spatial and Social Dimensions of Commuting”, *Journal of the American Planning Association*, vol. 66, Chicago, APA, 2000, pp. 68-82.
- Secretaría de Seguridad Pública Municipal (SSPM), *Accidentes de tránsito 2003-2004*, Tijuana, disco compacto, Tijuana, SSPM/XVII Legislatura Municipal, 2004.
- Stradling, Stephen y Dianne Parker, “Extending the Theory of Planned Behaviour: The Role of Personal Norm, Instrumental Belief and Affective Beliefs in Predicting Driving Violations”, *British Journal of Social Psychology*, 34, Leicester, The British Psychological Society, 1995, pp. 127-137.
- Vickrey, William, “Automobile Accidents, Tort Law, Externalities, and Insurance”, *Law and Contemporary Problems*, verano, Durham, Duke Law School, 1968.
- Vogel, Ronald y John Rothengatter, “Motivation of Speeding Behaviour on Motorways”, en Report VK 84-90, The Netherlands, Traffic Research Centre/University of Groningen/Haren, 1984.
- Winslott, Lena, “Estimating the Relationship Between Accident Frequency and Homogeneous and Inhomogeneous Traffic Flows”, *Accident Analysis and Prevention*, vol. 36, núm. 6, Amsterdam, Elsevier, 2004, pp. 985-992.
- White, David; Robert Raeside y Derek Barker, *Road Accidents and Children Living in Disadvantaged Areas: a Literature Review*, Edinburg, Scottish Executive Central Research Unit, 2000.