

El uso de SIG en el análisis de la distribución de accidentes en carreteras: el caso de Tamaulipas, México

Laura Luna González **
Luis Chías Becerril *

Recibido : 15 de abril de 1999.
Aceptado en versión final: 25 de agosto de 1999.

Resumen. En este trabajo se analiza la distribución de los accidentes de tránsito en las carreteras federales del estado de Tamaulipas durante 1992, mediante el uso de un sistema de información geográfica (SIG). Se utilizó el SIG Arc/Info, aplicando el conjunto de programas conocido como Segmentación Dinámica (*Dynamic Segmentation*), que permite manejar diferentes bases de datos tabulares sobre el fenómeno estudiado y establecer ligas de acceso virtuales entre dichas bases de información y los vectores del mapa digital. Para probar el funcionamiento de la Segmentación Dinámica en el análisis de accidentes de tránsito, se utilizaron estadísticas de accidentes de tránsito, información sobre la calidad del pavimento y señalización del camino, así como de algunos elementos de la infraestructura del camino.

Palabras clave: Accidentes de tránsito, sistema de información geográfica (SIG), segmentación dinámica, análisis espacial.

Abstract. In this paper, the distribution of traffic accidents in federal highways of Tamaulipas State during 1992 is analyzed using a geographical information system (GIS). The use of Arc/Info is proposed and, specifically, the set of programs known as Dynamic Segmentation, that allow the management of different databases about the phenomena studied and establishing virtual access links between both databases and digital map. A set of statistical databases of these events (pavement quality, highway signal and infrastructure data) was used for testing the operation of Dynamic Segmentation in traffic accident analysis.

Key words: Traffic accident, geographic information system (GIS), dynamic segmentation, spatial analysis.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el proceso de globalización ha impulsado en México una política interna tendiente a lograr crecimiento y estabilidad económicos mediante un acelerado proceso de apertura comercial. De acuerdo con esta política, se ha revalorizado el funcionamiento del sistema nacional de transporte y, consecuentemente, se reconoce el carácter estratégico que posee dicho servicio público al integrar social, económica y políticamente a los mexicanos en el territorio nacional y permitir su participación eficiente en el contexto de la comunidad internacional (*Plan Nacional de Desarrollo*, 1988-1994).

Sin embargo, las nuevas condiciones de mercado implantadas a escala mundial, demandan cambios de gran trascendencia en el transporte nacional e internacional, ya que se incrementa

significativamente el flujo vehicular en la red carretera y se modifica la ubicación y la jerarquía de los principales corredores de carga y pasaje. Por otro lado, conceptos como la oportunidad, la confiabilidad y la cobertura de mercados han ganado relevancia ante el costo del servicio; sobre todo, la seguridad de pasajeros, vehículos y mercancías, se destaca como variable clave para la selección de empresas transportistas y la asignación de rutas.

Los diferentes modos de transporte constituyen un elemento fundamental para el desarrollo social y económico de cualquier nación y, en este contexto, las carreteras y los vehículos de motor que por ellas transitan, representan la principal forma de desplazamiento de personas y bienes. Sin embargo, la función económica de cualquier modo de transporte y del sistema en su conjunto sólo puede realizarse de manera

* Instituto de Geografía, UNAM, Cd. Universitaria, Coyoacán, 04510, México, D.F. E-mail: laluna@servidor.unam.mx; luisc@igiris.igeograf.unam.mx

óptima en la medida en que el traslado de personas y bienes se efectúe de manera rápida, confiable y segura.

Desde esta perspectiva, en México como en otros países del mundo occidental, la inseguridad vial, expresada a través de los accidentes de tránsito vehicular, se constituye en un grave problema que afecta significativamente a toda la sociedad. En la actualidad, más del 90% de los accidentes ocasionados por todos los modos de transporte motorizados (aviones, barcos, ferrocarriles, vehículos automotores, etc.) se deben a los vehículos automotores terrestres, de tal manera que este tipo de transporte está considerado como el más peligroso de todos (Tolley and Turton, 1995:317).

De acuerdo con las estadísticas del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), los accidentes de tránsito, así como las víctimas resultantes, tienden a incrementarse en México. En particular, los accidentes fatales de tránsito en carreteras se han incrementado en 152% de 1980 a 1992, y los accidentes no fatales en 134% en el mismo período. Por otra parte, los accidentes fatales en zonas urbanas se han incrementado en 78% y en zonas rurales en 240% de 1980 a 1992 (INEGI, 1994:167-168). Las defunciones originadas por los accidentes de tránsito en vialidades urbanas y en carreteras se han incrementado desde mediados de los ochenta y actualmente representan la tercera causa de muerte (*Diario Oficial de la Federación*, 25 de marzo, 1996:5).

En 1992, funcionarios del Banco Mundial señalaron que el costo de los accidentes de tránsito para los países en vías de desarrollo equivale aproximadamente al 1% del producto interno bruto (PIB) que, para el caso de México, significa alrededor de 1 500 millones de dólares en pérdidas anuales (*El Economista*, 24 de noviembre, 1992:24), lo cual representa una gran carga económica para el país. De acuerdo con la Dirección General de Medicina Preventiva de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), los daños materiales ocasionados por accidentes vehiculares registrados sólo en la red

federal de carreteras en 1989 superaron el presupuesto asignado de manera conjunta a las secretarías de Relaciones Exteriores, del Trabajo y Previsión Social, de la Reforma Agraria y de Pesca en ese año (Chías, 1994:501).

A pesar del impresionante número de víctimas y daños materiales, estas cifras subestiman el problema, ya que en promedio sólo se registra uno de cada tres accidentes de tránsito. Respecto a los decesos, únicamente se consideran aquéllos que ocurren en el sitio del accidente, ya que las defunciones ocurridas durante el trayecto al hospital o durante la intervención médica, no se registran como causadas por el accidente. Por lo tanto, puede afirmarse que los accidentes de tránsito en México constituyen un problema nacional con repercusiones tanto sociales (destrucción de la unidad familiar, disminución de ingresos, problemas de salud, lesiones permanentes, etc.) como económicas (daños materiales, pérdidas en mercancías, costos de rescate, servicios jurídicos, etc.).

Poco se ha considerado el estudio de las externalidades del transporte (como en el caso de los accidentes de tránsito) en los programas de la SCT; sin embargo, las estrictas reglas impuestas a los servicios internacionales bajo el proceso de globalización y, en particular, en el contexto del Tratado de Libre Comercio con Norteamérica, empiezan a modificar esta actitud en México.

De acuerdo con el diagnóstico de la infraestructura carretera y su seguridad presentado en el Programa del Sector Comunicaciones y Transportes 1995-2000 por el gobierno federal, destacan las situaciones que favorecen el incremento de accidentes en la red carretera nacional; entre éstas se pueden citar: los rezagos que existen tanto en la extensión como en el estado de conservación de las carreteras federales; la discontinuidad de los principales ejes troncales; la falta de libramientos; el inadecuado diseño de curvas y pendientes; la insuficiente cobertura y mantenimiento de los caminos rurales; la carencia de accesos terrestres adecuados en algunos puertos marítimos y fronterizos; la inadecuada señalización en las carreteras; la falta de

capacitación de los operadores del servicio de transporte público y el escaso control de sus jornadas de trabajo; la insuficiencia de vigilancia; el congestionamiento de algunos tramos; así como la obsolescencia de la red carretera que favorece el rápido deterioro de los pavimentos (*Diario Oficial de la Federación*, 25 de marzo de 1996:5).

Aunque este diagnóstico señala causas importantes en la ocurrencia de accidentes de tránsito en carreteras, resulta incompleto, pues ignora entre otros aspectos importantes: la antigüedad y la falta de mantenimiento de la flota vehicular utilizada, y el incremento en el flujo nacional de vehículos. También es necesario conocer la ubicación exacta del accidente, así como las características sociales, económicas y físicas del entorno, las cuales indican importantes condiciones relacionadas con estos eventos. Por ejemplo, muchos reportes de accidentes en carreteras de las instituciones de salud involucradas sólo contienen el nombre de la entidad y del municipio donde ocurrió el evento; en el caso de los reportes correspondientes a zonas urbanas únicamente se anota el nombre de la delegación o colonia. En ambos casos se pierden datos precisos del sitio donde ocurre el evento, información estratégica para poder establecer cualquier medida preventiva.

Si se parte del supuesto de que los accidentes de tránsito no son eventos totalmente aleatorios e inevitables, una gran cantidad de ellos podrían evitarse, al considerar los siguientes aspectos: a) que el accidente se comporta como un fenómeno recurrente en tiempo y espacio; b) que el accidente comúnmente tiene múltiples causas; y c) que su prevención requiere de conocer, no sólo la situación referente al vehículo, al conductor y a la vialidad, sino también las características y particularidades del entorno físico y socioeconómico donde ocurren los accidentes.

De hecho, poco se sabe de los sitios más peligrosos para la circulación de vehículos en vialidades urbanas y en carreteras federales. Esta información, que debería de ser de dominio

público, le serviría al usuario cotidiano para empezar a conocer el problema, concientizarse de su gravedad, y pasar del conocimiento y de la actitud pasiva a un comportamiento preventivo con el fin de disminuir los accidentes de tránsito en México.

El desconocimiento de los sitios concretos donde ocurren los accidentes se ha utilizado, incluso, para justificar la falta de acción gubernamental, señalando que sería muy costoso implementar programas nacionales que abarcaran todas las vialidades urbanas y la red carretera completa. Sin embargo, el estudio de los patrones territoriales de los eventos analizados permitiría identificar y caracterizar aquellos sitios donde los accidentes se presentan recurrentemente. En teoría, es muy probable que cerca del 80% de los eventos se concentren en un 20% del kilometraje de carreteras estudiado, lo que reduciría enormemente los costos requeridos para minimizar los accidentes y sus consecuencias.

El objetivo de este trabajo es, por tanto, proponer el uso de tecnología SIG para analizar la distribución de los accidentes de tránsito en carreteras, identificando los principales tramos donde ocurren, como un primer paso para desarrollar un sistema de monitoreo a nivel nacional. Se tomaron como ejemplo los accidentes ocurridos en las carreteras del estado fronterizo de Tamaulipas, México.

MATERIALES

Se utilizó el SIG Arc/Info, el cual fue propuesto porque trabaja con base en un formato gráfico vectorial a partir del cual es posible manejar datos geográficos representados mediante líneas (carreteras, por ejemplo) y, porque cuenta con un conjunto de programas conocido como Segmentación Dinámica (*Dynamic Segmentation*) que facilita el análisis espacial sobre líneas.

El análisis de la distribución de accidentes de tránsito en carreteras se realizó con información del estado de Tamaulipas del año 1992, por dos razones. Primero, Tamaulipas se encuentra

entre los primeros lugares a escala nacional por la frecuencia con que registra accidentes de tránsito tanto en zonas urbanas como en carreteras federales, ya que forma parte de los estados fronterizos del país en los que existe gran afluencia vehicular como consecuencia de sus importantes zonas productivas, como de las relaciones comerciales con Estados Unidos (Chías, 1994:505). Y segundo, porque fue posible conseguir la información mínima necesaria sobre el problema planteado en este trabajo. Los diferentes tipos de información que se utilizaron para realizar el análisis se muestran en el Cuadro 1.

MÉTODO

Los programas de Segmentación Dinámica están basados en el modelo topológico arco-nodo, método que permite manejar, analizar y modelar elementos lineales. Este conjunto de programas ofrece herramientas para asociar atributos independientes a un mapa vectorial sin modificar su estructura topológica (ESRI, 1992:1-4).

Algunas de estas herramientas son: a) asignación de atributos a un segmento de una línea o de múltiples líneas; b) asignación de atributos representados por puntos a lo largo de líneas; c) asociación de datos registrados en un sistema de mediciones lineales (por ejemplo, km 4.5) a un mapa vectorial con coordenadas x,y, y, d) sobreposición de eventos –líneas sobre líneas, y puntos sobre líneas– (ESRI, 1992:5).

En otras palabras, la Segmentación Dinámica permite al usuario utilizar un solo mapa vectorial y relacionarle una o más bases de datos de atributos. Esto significa que, para este caso, solo es necesario tener un mapa digital de la red de carreteras y establecer una relación temporal con las bases de datos de atributos (por ejemplo: accidentes, calidad del pavimento, señalización, etc. Figura 1). Sin estos programas sería necesario crear un mapa digital de redes carreteras para cada base de datos de atributos, en el cual las líneas fueran segmentadas a partir de nodos

Cuadro 1. Tipos de información usados para el análisis de accidentes de tránsito en carreteras con un SIG

Tipo	Fuente	Fecha	Formato	Descripción	Elemento
Mapa de la red federal de carreteras	IMT	1995	Digital	Levantamiento de la red federal de carreteras con un receptor de GPS.	Líneas
Mapa de infraestructura carretera	IMT	1995	Digital	Levantamiento de la infraestructura carretera (intersecciones, entronques y cruces de FC, paradas de autobuses y camiones de carga) con un receptor de GPS. Base de datos: INFRA.	Puntos
Estadística de accidentes de tránsito	SCT	1992	Impreso	Base de datos absolutos y gráficas del número de accidentes, daños materiales, muertos, heridos, causas, etc., referenciados a tramos de 5 km de longitud para la red federal. Base de datos: ACCIDENT.	Líneas
Calidad del pavimento y señalización del camino	SCT	1995	Impreso	Base de datos de la calificación ponderada de la calidad del pavimento y la señalización (vertical y horizontal) del camino, referenciada a tramos de 10 km de longitud para la red federal. Base de datos: CALIDAD.	Líneas

para asignar los atributos (Figura 2). Los pasos para el manejo y el análisis se explican a continuación:

1. Se capturaron las bases de datos de estadísticas de accidentes (tabla ACCIDENT) y de calificación de calidad del pavimento y señalización de carreteras (tabla CALIDAD) en una hoja de cálculo. Esta información se exportó a Arc/Info con el fin de estructurar la base de datos de eventos necesaria para el análisis (Figura 3). Los mapas digitales de la red federal de carreteras de Tamaulipas (mapa CARR) y de infraestructura carretera (tabla INFRA) fueron proporcionados por el Intituto Mexicano del Transporte (IMT) en formato de Arc/Info.
2. Se estructuró la información gráfica de carreteras de acuerdo con la clasificación de las redes de carreteras federales de la SCT (Cuadro 2 y Figura 4), de tal manera que cada ruta carretera definida por la SCT tuviera un identificador único en su representación digital. Lo anterior fue necesario

para poder trabajar con la lógica de los programas de Segmentación Dinámica.

3. Se aplicaron diferentes tipos de análisis utilizando las herramientas de Segmentación Dinámica de Arc/Info, las cuales permiten calcular y referir las posiciones de eventos (puntuales o lineales) a lo largo de elementos lineales. El manejo de la información a través de estas herramientas permite relacionar diversas bases de datos al mismo tiempo con el fin de aplicar diversos tipos de análisis espacial y, a la vez, mantener la independencia entre dichas bases de datos y el mapa digital. Los tipos de análisis aplicados tienen varios grados de complejidad en cuanto a la combinación de los diferentes tipos de información representada a través de puntos y líneas.

Los resultados obtenidos se presentan en forma gráfica (mapas) y tabular. A continuación se describen brevemente los análisis aplicados a la información.

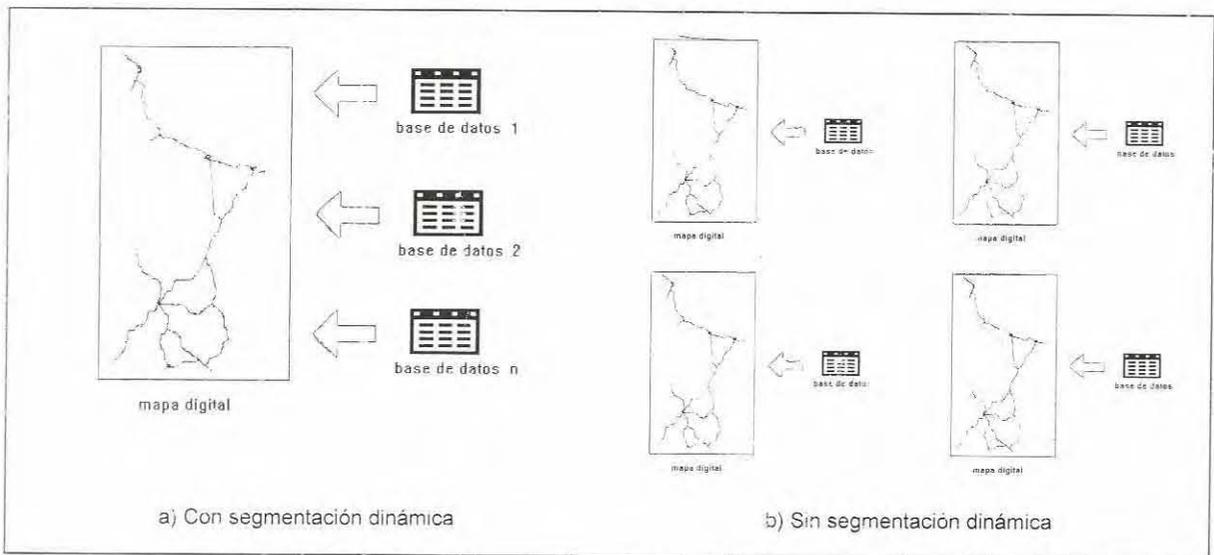


Figura 1. Relación de las bases de datos y la base gráfica en el SIG.

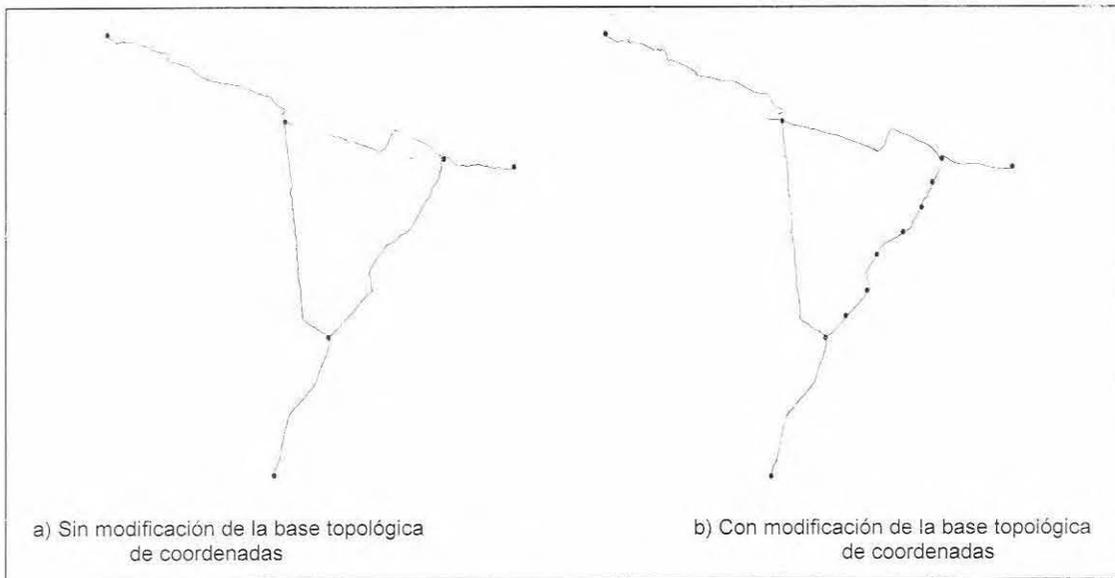


Figura 2. Mapa digital de un tramo de la red carretera.

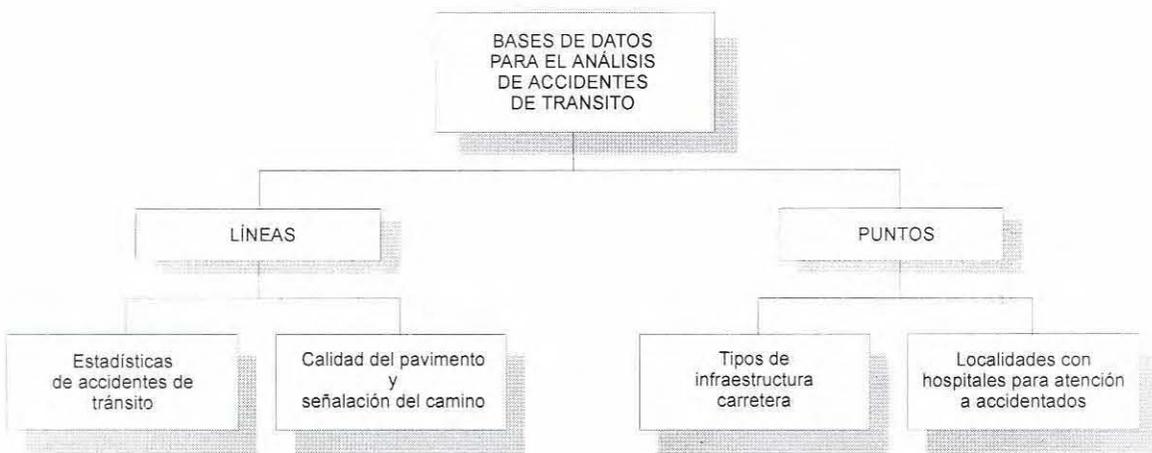
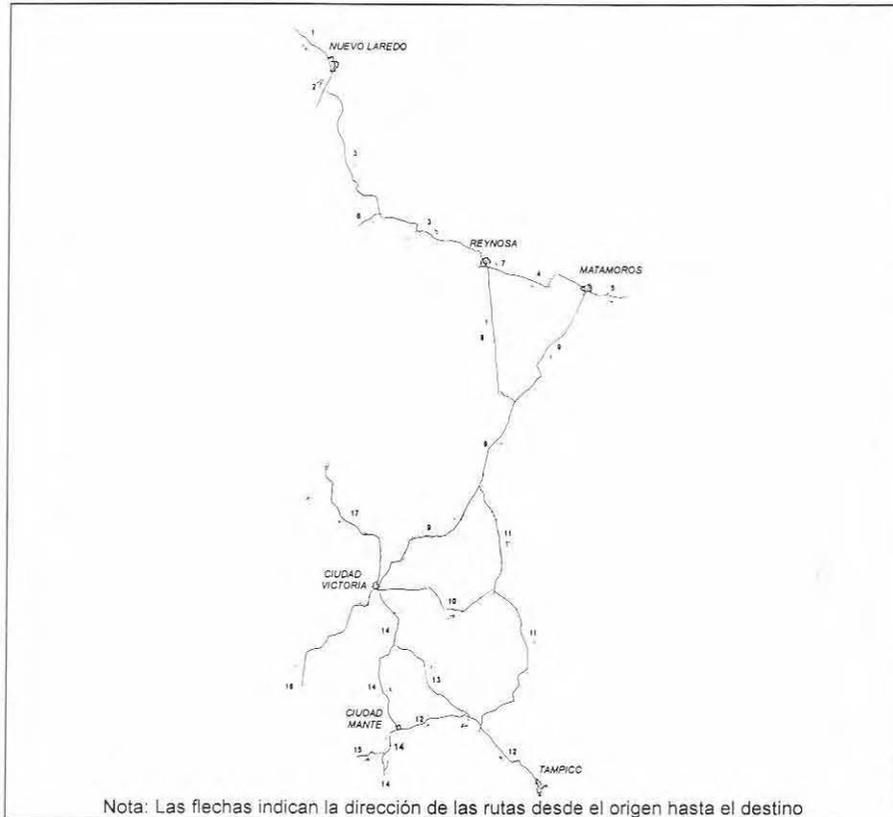


Figura 3. Bases de datos para el análisis de accidentes de tránsito usando un SIG.

Cuadro 2. Clasificación de las redes de carreteras federales para fines de manejo en el SIG

Rutas SCT		Longitud (km)	No. SCT	No. tramo Arc/Info
Localidad origen	Localidad destino			
Límites Tamps./N.L.	Nuevo Laredo	40.963	2	1
Monterrey	Nuevo Laredo	44.239	85	2
Reynosa	Nuevo Laredo	223.896	2	3
Matamoros	Reynosa	92.922	2	4
Matamoros	Playa Lauro Villar	40.085	2	5
Monterrey	Ciudad Mier	23.671	54	6
Libramiento Sur Reynosa	Libramiento Sur Reynosa	15.895	40	7
Urracas	Reynosa	115.377	97	8
Ciudad Victoria	Matamoros	312.176	101	9
Ciudad Victoria	Soto La Marina	117.334	70	10
Manuel	La Coma	233.779	180	11
Tampico	Ciudad Mante	144.932	80	12
González	Llera de Canales	88.206	81	13
Ciudad Valles	Ciudad Victoria	179.725	85	14
El Huizache	Antiguo Morelos	25.971	80	15
Tula	Ciudad Victoria	179.459	101	16
Ciudad Victoria	Monterrey	128.254	85	17



Fuente: Estadística de Accidentes de Tránsito. Estado de Tamaulipas (1992). Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Unidad General de Proyectos, Servicios Técnicos y Concesiones. México.

Figura 4. Mapa de clasificación de las carreteras federales de Tamaulipas.

1. Clasificación de eventos expresados espacialmente en líneas

Objetivo: Clasificar los segmentos de 5 km de longitud por la frecuencia de accidentes de tránsito en las carreteras federales del estado de Tamaulipas durante 1992, con el fin de obtener un mapa de distribución de accidentes de tránsito.

Paso 1. Se definieron los rangos de accidentes por su frecuencia con base en los valores de número de accidentes (columna NO_ACC de la tabla ACCIDENT) de cada segmento de la red carretera federal. En este caso, sólo se clasificó la información de una variable. Los valores de la variable NO_ACC no siguen una distribución normal, por lo cual se definieron empíricamente clases que detallan las frecuencias con mayor número de casos (Cuadro 3). Se clasificaron los segmentos de 5 km de longitud, ya que representan la unidad mínima de información obtenida para los accidentes de tránsito (Cuadro 1).

Paso 2. Se clasificó el número de accidentes (NO_ACC) de acuerdo con el Cuadro 4, y los valores resultantes se escribieron en una nueva columna (NO_ACC_CLF) del mismo cuadro.

Cuadro 3. Estadísticas de la variable NO_ACC

Variable NO_ACC (número de accidentes)	
No. de segmentos de 5-km (casos)	405
Valor mínimo	0
Valor máximo	185
No. casos en cero	40
Sumatoria	3 427
Media aritmética	8.46

Cuadro 4. Clases de número de accidentes

Número de clase	Clase	Rangos
1	Nula	0
2	Baja	1 - 8
3	Media	9 - 14
4	Alta	15 - 33
5	Extraordinaria	> 33

Paso 3. A partir de la columna NO_ACC_CLF se elaboró el mapa temático "Distribución de Accidentes de Tránsito en Carreteras Federales para el estado de Tamaulipas, 1992" (Figura 5a) con las herramientas de Segmentación Dinámica, identificando los segmentos más peligrosos por el número de accidentes registrados.

Objetivo: Clasificar los segmentos de 5 km por su distribución en cuanto al número de accidentes y daños materiales ocasionados por accidentes de tránsito en las carreteras del estado de Tamaulipas durante 1992 para generar el mapa de relación correspondiente.

Paso 1. Se definieron los rangos de accidentes a partir de dos variables: frecuencia (NO_ACC) y daños materiales (D_MAT). En el caso anterior, se definieron cinco clases para la frecuencia de accidentes. De la misma forma se definieron las clases para la variable daños materiales (Cuadro 5). Debido a que esta variable tampoco sigue una distribución normal, se definieron clases que detallan dicha distribución de valores (Cuadro 6).

Paso 2. Se clasificaron las dos variables consideradas para obtener una jerarquización final en cinco clases (nula, baja, media, alta y extraordinaria) en una nueva columna (VALOR) de la base de datos de accidentes (Cuadro 7).

Paso 3. A partir de la nueva variable VALOR se elaboró el mapa temático "Distribución de Accidentes de Tránsito por la Frecuencia y Daños Materiales ocasionados en Carreteras Federales para el estado de Tamaulipas, 1992" (Figura 5b), donde se aprecia, además de los segmentos con mayor número de accidentes, su relación con el costo derivado de los daños materiales.

2. Sobreposición de eventos expresados espacialmente en líneas

Objetivo: Reclassificar los segmentos de 5 km que se encuentran ya clasificados por la frecuencia de accidentes de tránsito en las carreteras del estado de Tamaulipas durante 1992, en función de la calificación ponderada de la calidad

del pavimento y la señalización de camino (horizontal y vertical) para generar el mapa que permite relacionar dichas variables.

Para realizar este análisis es necesario vincular los dos cuadros de eventos que contienen la información: ACCIDENT (accidentes de tránsito) y CALIDAD (calificación ponderada del pavimento y señalización del camino).

Paso 1. Hay que establecer la relación temporal de los dos cuadros de eventos existentes dentro de una sesión de trabajo en el sistema, así como crear otra relación más para el nuevo cuadro que se deriva de la sobreposición de los dos anteriores.

Paso 2. Una vez realizada esta operación, es posible sobreponer dos o más cuadros de eventos, ya sea de líneas o de puntos. En este caso, todos los eventos de los dos cuadros de entrada

(segmentos de 5 y 10 km), se dividen en el punto donde se intersectan, y conforman una nueva base de datos (ACC_CLD.TBL) que contiene toda la información de los cuadros ACCIDENT y CALIDAD. Este procedimiento no implica ningún análisis aún, sino un paso previo para ello.

Paso 3. Para realizar el análisis, es necesario establecer el acceso temporal al cuadro de datos ACC_CLD.TBL dentro del SIG y realizar una serie de operaciones lógicas (25 en total) para determinar las combinaciones de las dos informaciones. En el Cuadro 8 se presenta la información de los cuadros de eventos ACCIDENT y CALIDAD clasificados. Los resultados obtenidos se encuentran representados en el mapa temático "Clasificación de Accidentes de Tránsito por la Frecuencia y Calidad del Pavimento y Señalización en Carreteras Federales para el estado de Tamaulipas, 1992" (Figura 5c).

Cuadro 5. Estadísticas de la variable D_MAT

Variable D_MAT (daños materiales)	
No. de segmentos de 5-km (casos)	405
Valor mínimo	0.00
Valor máximo	761.00
No. casos en cero	43
Sumatoria	23 030.62
Media aritmética	56.87

Cuadro 6. Clases definidas para las variables NO_ACC y D_MAT

Número de clase	Clase	Rangos	
		NO_ACC	D_MAT
1	Nula	0	0.00
2	Baja	1 - 8	0.01 - 50.00
3	Media	9 - 14	50.01 - 100.00
4	Alta	15 - 33	100.01 - 200.00
5	Extraordinaria	> 33	> 200.01

Cuadro 7. Reclasificación de las variables NO_ACC y D_MAT

NO_ACC Variable 1	D_MAT Variable 2	VALOR (nueva clase)	Clase
1	1	1	nula
1	2	2	baja
2	2	2	baja
1	3	2	baja
2	3	3	media
3	3	3	media
1	4	2	baja
2	4	3	media
3	4	4	alta
4	4	4	alta
1	5	3	media
2	5	4	alta
3	5	4	alta
4	5	4	alta
5	5	5	extraordinaria

Cuadro 8. Clases de accidentes y estado físico de la carretera

Frecuencia de accidentes	Estado físico
1 nula	1 malo
2 baja	2 regular
3 media	3 alto
4 alta	
5 extraordinaria	

3. Sobreposición de eventos expresados espacialmente en líneas y puntos

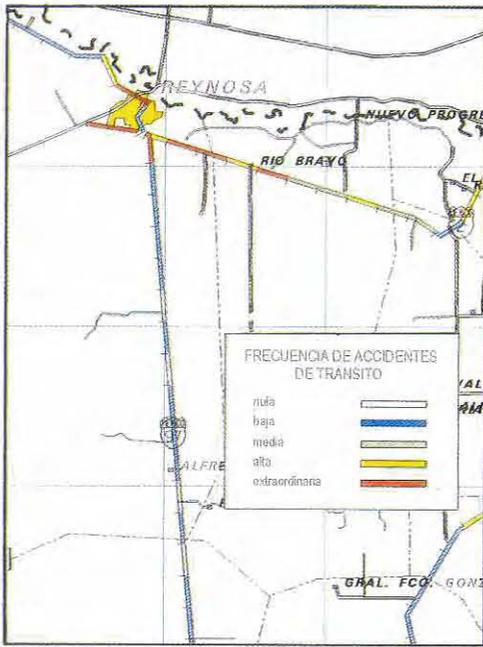
Objetivo: Determinar la relación que existe entre la frecuencia de accidentes de tránsito y la presencia de intersecciones, entronques y cruces del ferrocarril en las carreteras federales de Tamaulipas para 1992. Para este análisis se requieren las bases de datos INFRA (intersecciones, entronques y cruces de ferrocarril) y ACCIDENT.

Paso 1. Se estableció la relación temporal de los cuadros INFRA y ACCIDENT dentro del sistema y de la nueva base de datos que servirá para almacenar la información sobrepuesta de los cuadros originales.

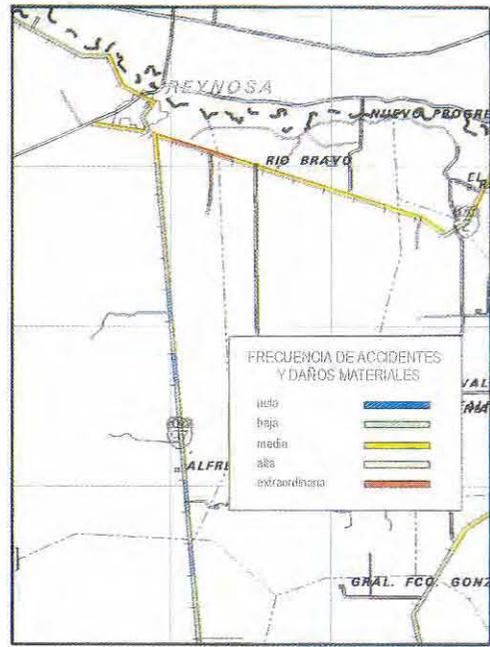
Paso 2. Mediante las herramientas de Segmentación Dinámica fue posible sobreponer la base

de datos de líneas ACCIDENT con la base de datos de puntos INFRA. Sólo los eventos comunes en ambos cuadros de eventos, se registrarán en el cuadro de salida ACC_INF.TBL. A partir del nuevo cuadro se puede correlacionar la frecuencia de accidentes, con la presencia de intersecciones y entronques carreteros (pavimentados y no pavimentados) y cruces de ferrocarril.

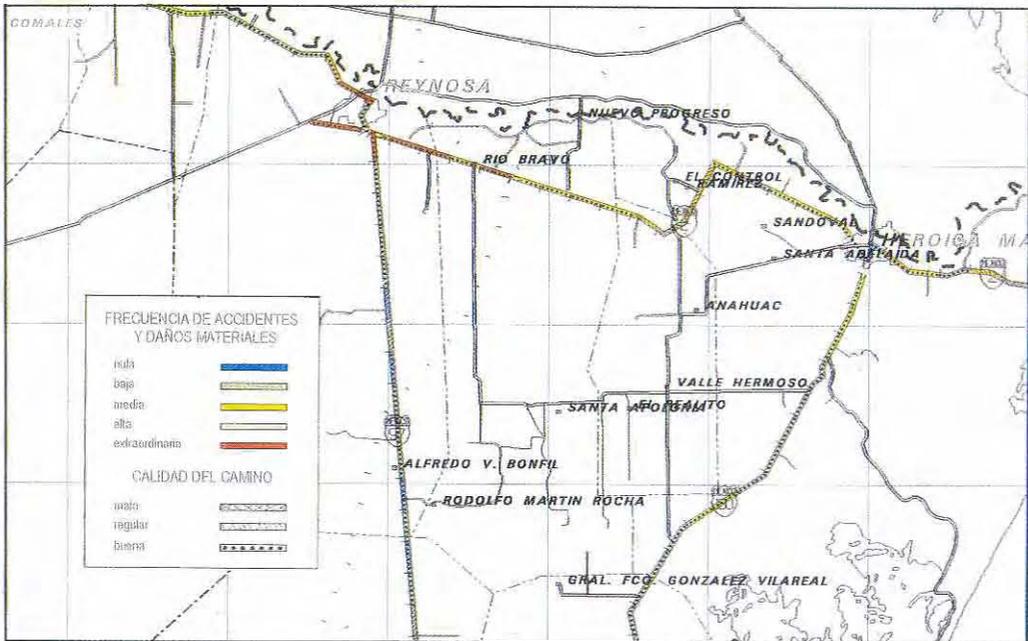
Paso 3. Para obtener la información necesaria del nuevo cuadro se seleccionó la información a partir de operadores lógicos y se obtuvo la sumatoria de los accidentes, de tal manera que se realizaron 20 operaciones lógicas al combinar las cinco categorías de frecuencia de accidentes con los cuatro tipos de infraestructura existentes. Los resultados aparecen en el Cuadro 9 en donde se resume la combinación de los dos grupos de clases.



A



B



C

Figura 5. (a) Frecuencia de accidentes de tránsito. (b) frecuencia de accidentes y daños materiales. (c) frecuencia de accidentes/calidad del pavimento y señalización del camino.

Cuadro 9. Resultados de la combinación de la frecuencia de accidentes y tipos de infraestructura carretera

Frecuencia de accidentes	Tipos de infraestructura								Total	
	Intersección		Entronque		Entronque (sin pavimentar)		Cruce de ferrocarril			
	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)
1	0	0	6	0	27	0	2	0	35	0
2	4	6	45	191	195	684	1	3	245	884
3	1	9	12	140	48	537	0	0	61	686
4	0	0	15	407	25	515	1	42	41	964
5	2	274	3	253	6	396	1	89	12	1012
Total	7	289	81	991	301	2132	5	134	394	3546

(a) - número de segmentos de km

(b) - número de accidentes ocurridos en cada segmento de 5 km

RESULTADOS

El mapa "Distribución de Accidentes de Tránsito en Carreteras Federales para el estado de Tamaulipas, 1992" (Figura 5a), es un mapa descriptivo y sólo representa una primera aproximación al problema que se analiza, pero permite apreciar los siguientes aspectos: la ubicación y la distribución de la frecuencia de accidentes en el estado de Tamaulipas; la cuantificación de accidentes para cada uno de los segmentos que integran la red federal de carreteras (segmentos peligrosos y seguros); y, la calificación inmediata de las zonas que registran mayores accidentes en función de otras variables: en relieve montañoso (Ciudad Victoria-Jaumave), en zonas urbanas (ciudades fronterizas), en zonas rurales (segmentos cercanos al entronque norte de la carretera 101 Gral. Fco. Villa-San Fernando), o en zonas agrícolas importantes (alrededores de Cd. Mante). Este mapa muestra que sólo ocho rutas carreteras de 17, tienen segmentos de 5 km con frecuencia extraordinaria de accidentes de tránsito. Estos datos permiten identificar segmentos peligrosos, así como cuantificar el alcance de los recursos requeridos (para sólo 40 km), lo cual facilita diseñar medidas preventivas para dichos segmentos y no para toda la red federal (2 000 km aproximadamente), de tal manera que es posible optimizar recursos económicos.

El mapa "Distribución de Accidentes de Tránsito por la Frecuencia y Daños Materiales ocasionados en Carreteras Federales para el estado de Tamaulipas, 1992" (Figura 5b) resulta de mayor interés que el anterior, ya que considera dos variables de una misma base de datos. Este es un mapa de análisis simple, que identifica con precisión los segmentos de 5 km clasificados como extraordinarios en términos de accidentes y evalúa su relación directa con el monto de los daños materiales. Esto permite definir medidas preventivas para sólo una pequeña proporción de segmentos.

El mapa "Clasificación de Accidentes de Tránsito por la Frecuencia y Calidad del Pavimento y Señalización en Carreteras Federales para el estado de Tamaulipas, 1992" (Figura 5c) permite determinar la relación que existe entre la frecuencia de accidentes y la calidad del pavimento y señalización del camino. Es decir, permite considerar dos variables provenientes de bases de datos distintas que se encuentran referidas a diferentes longitudes sobre la carretera (la primera a tramos de 5 km y la segunda, a tramos de 10 km). Este mapa, al igual que el anterior, presenta resultados de análisis espacial y síntesis de la información, que permiten conocer si el mal estado superficial y la señalización intervienen como causa de accidentalidad.

Por otro lado, en el cuadro "Combinación de la frecuencia de accidentes y tipo de infraestructura carretera" (Cuadro 9), el dato referente al número de accidentes se considera como indicador para establecer la posible relación entre la frecuencia de accidentes en función de los diferentes tipos de infraestructura carretera. De los resultados anteriores se desprenden algunas observaciones: a) los segmentos con intersecciones son poco significativos con relación al número total de accidentes para las diferentes clases de frecuencia, con excepción de la clase 5 (frecuencia extraordinaria), en la que 274 accidentes se concentraron en sólo dos segmentos, mismos que requieren de un análisis a profundidad; b) los segmentos con entronques sin pavimentar presentan 50% más accidentes que los segmentos con entronques pavimentados (2 132 y 991, respectivamente), lo que evidencia la influencia directa de este tipo de infraestructura en la ocurrencia de accidentes; y, c) aparentemente, los cruces de ferrocarril sobre las carreteras tienen una débil influencia en la ocurrencia total de accidentes, aunque se aprecia cierta relación en las clases de frecuencias 4 y 5, ya que ambas clases concentran casi 100% de los accidentes registrados en segmentos con este tipo de infraestructura.

El análisis de los accidentes de tránsito mediante la utilización de un SIG y, en particular, los conceptos y las herramientas de la Segmentación Dinámica, facilita la identificación y clasificación de los tramos de caminos peligrosos con base en múltiples variables. En este trabajo sólo se presentan algunos ejemplos, dado que el objetivo es desarrollar y aplicar la metodología concerniente a la Segmentación Dinámica, más que estudiar las causas y consecuencias de los accidentes. El método permite determinar con precisión aquellos segmentos de la red carretera que requieren programas preventivos o correctivos para su inmediata aplicación, de tal forma que pueda lograrse un uso más eficiente de los escasos recursos disponibles.

Las conclusiones de este trabajo se pueden dividir en dos tipos: las relacionadas con los aspectos teóricos y las concernientes a los técnicos.

Aspectos teóricos

Un accidente de tráfico se define como un evento espacial y temporal resultado del movimiento entre personas y vehículos en un espacio determinado y está interrelacionado con otras variables socioeconómicas dinámicas y complejas.

Se requiere de un cambio de perspectiva en el análisis del accidente de tránsito en México: a) el accidente de tránsito debe dejar de ser visto como evento unicausal, aleatorio e imprevisible; b) los siniestros de este tipo ocurren bajo circunstancias complejas y multicausales; c) antes que error humano, debe considerarse como un problema social de significativas repercusiones económicas y médicas; y d) debe incluir puntos de vista integral y multidisciplinario, más que el del especialista económico o técnico.

El estudio integral del accidente de tránsito debe considerar las siguientes variables generalmente relegadas: a) el sitio concreto del accidente; y b) las características socioeconómicas y físicas del entorno.

Aspectos técnicos

Se propone la utilización de un SIG para analizar el problema de accidentes de tránsito por las siguientes razones: a) los accidentes de tránsito requieren del análisis geográfico-espacial; b) su estudio demanda grandes volúmenes de información provenientes de diferentes fuentes y en distintos formatos; c) el análisis de accidentes de tránsito involucra la correlación de distintas variables; y d) es posible analizar el problema a diferentes escalas en función de la precisión de la información original.

Las ventajas que ofrecen los programas de Segmentación Dinámica son: a) los accidentes de tránsito pueden ser representados cartográfica y digitalmente si se relacionan con las redes de carreteras mediante un sistema de medición, a partir del cual, los primeros puedan ubicarse sobre las carreteras en función de la posición relativa que guardan respecto a ellos; y b) es posible realizar análisis espacial de la informa-

ción (sobreposición de información representada mediante puntos, líneas y polígonos), de manera ágil, oportuna y sistemática.

Los aspectos innovadores en el estudio de accidentes de tránsito usando un SIG y Segmentación Dinámica son los siguientes: a) el diseño y la creación de una base de datos cartográfica y otra base de datos estadísticos digitales independientes entre sí, ligadas eventualmente sólo con el fin de realizar consultas o aplicar procesos de análisis; b) la incorporación amigable y ágil de nuevos datos; c) la actualización funcional de las bases de datos cartográficos y estadísticos por separado; d) la consulta accesible de datos por el usuario, y e) la representación cartográfica de los resultados del análisis y la generación de reportes estadísticos.

Algunas desventajas del uso de un SIG en el análisis de accidentes de tránsito son las siguientes: a) la inversión inicial para la obtención de programas, equipo de cómputo y su instalación puede ser alta; no obstante, resulta rentable a largo plazo; b) es necesario invertir en la formación de personal técnico calificado; y c) para mantener el valor del sistema, se debe actualizar sistemática y permanentemente.

La metodología aplicada es lo suficientemente flexible para permitir la incorporación de variables no consideradas en el trabajo, con las cuales se establezca un marco general que facilite el análisis integral de accidentes de tránsito en carreteras.

REFERENCIAS

- Chias Becerril, L. (1994), "Geografía del transporte: ámbito internacional y nacional", en Aguilar, A. G. y O. Moncada (comps.), *La geografía humana en México: Institucionalización y desarrollo recientes*, UNAM-FCE, México, pp. 167-179.
- El Economista*, 24 de noviembre de 1992, México, p. 24.
- Diario Oficial de la Federación* (1996), "Programa de desarrollo del Sector Comunicaciones y Transportes 1995-2000", 25 de marzo, Talleres Gráficos de México, México.
- ESRI (1990), *Understanding GIS. The ARC/INFO method*, Redlands, CA.
- ESRI (1992), *Dynamic segmentation. Modeling linear features*, Redlands, Ca.
- IMT (1995), *Mapa digital vectorial con información correspondiente a la red federal de carreteras del estado de Tamaulipas en formato Arc/Info*, Querétaro, México.
- IMT (1995), *Mapa digital de puntos con información de infraestructura a lo largo de las carreteras federales del estado de Tamaulipas en formato Arc/Info*, Querétaro, México.
- INEGI (1994), *Anuario estadístico de los Estados Unidos Mexicanos 1994*, Aguascalientes, México.
- INEGI y Gobierno del estado de Tamaulipas (1995), *Anuario estadístico del estado de Tamaulipas 1995*, Aguascalientes, México.
- Poder Ejecutivo Federal (1988), *Plan Nacional de Desarrollo 1988-1994*, Secretaría de la Presidencia, México.
- SCT (1992), *Estadísticas de accidentes de tránsito. Estado de Tamaulipas 1992*, México.
- SCT (1994), *Mapa de carreteras del estado de Tamaulipas*, Subdirección de Cartografía, México.
- SCT (1995), *Calificación actual del estado físico de la red federal de carreteras de Tamaulipas*, México.
- Tolley, R. y B. Turton (1995), *Transports systems, policy and planning. A geographical approach*, Longman Group Ltd., London.