



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN
INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica para la
Prevención de Accidentes de Tránsito en Carreteras. Una
Propuesta Metodológica

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERIA

SISTEMAS - TRANSPORTE

P R E S E N T A :

RAÚL ESPINOZA JIMÉNEZ

TUTOR:

Dr. Ricardo Aceves García

2007





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Luis Chías Becerril
Secretario: Dra. Mayra Elizondo Cortés
Vocal: Dr. Ricardo Aceves García
1er. Suplente: M. I. Alejandro Murillo Bagundo
2do. Suplente: M. I. Manuel del Moral Dávila

Lugar donde se realizó la tesis:

Ciudad Universitaria, D. F., México

TUTOR DE TESIS

Dr. Ricardo Aceves García

Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica en la Prevención de Accidentes en Carreteras. Una Propuesta Metodológica.

TESIS,
que para obtener el grado de
Maestro en Ingeniería
presenta el
Ing. Raúl Espinoza Jiménez



Posgrado en Ingeniería - Facultad de Ingeniería - UNAM

Agosto 2005

*A Raúl, Elisa y Daniel,
por reiterar su apoyo incondicional
a pesar de que ello implique
seguir navegando aguas
distantes.*

*A Flor,
por sus denodados apoyo,
comprensión, ayuda,
guía y motivación.*

*A mis amigos
de la Facultad de Ingeniería y
del FotoClub Ingenieros.*

A la universidad y sus verdaderos maestros.

A todos: gracias por estar cerca.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Ricardo Aceves del Posgrado de Ingeniería, no sólo por dirigir esta Tesis, sino por guiarme con atinencia a través de todos mis estudios de Maestría y por la confianza depositada en mí desde finales de la Licenciatura.

Al Dr. Luis Chías del Instituto de Geografía, pues sin los conocimientos que me brindaron él mismo, así como la colaboración en el Departamento de Geografía Económica que él me permitió, difícilmente habría concebido este trabajo de tesis como tal.

A la Dra. Mayra Elizondo, con quien tuve la fortuna de colaborar en el Posgrado de Ingeniería, por sus valiosos consejos a lo largo de mi estancia en el Laboratorio de Transporte.

Muy especialmente agradezco a Martha Torres por su invaluable ayuda para materializar este proyecto.

A la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería (DEPFI) y al Instituto

Mexicano de Transporte (IMT) por hacer viables económicamente mis estudios de Maestría.

Al Instituto de Geografía por la información digital a mí otorgada, medular para la realización de este trabajo de Tesis.

Tanto el estudiar la Maestría como el colaborar en el Laboratorio de Transporte del Posgrado de la Facultad de Ingeniería han significado para mí tiempos privilegiados y un constante cosechar de nuevas amistades, por lo cual agradezco a mis profesores, compañeros de estudios y de labores.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

RESUMEN	1
ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA	3
Magnitud de la problemática	5
Los afectados	6
Consecuencias socioeconómicas	8
Factores que no contribuyen a solucionar la problemática	9
<i>Paradigmas erróneos</i>	9
<i>Falta de información</i>	10
<i>Falta de adecuación en los países en desarrollo</i>	11
ESTRATEGIAS DE INTERVENCIÓN CONTRA LA PROBLEMÁTICA Y MARCO DE REFERENCIA DEL ESTUDIO	11
HIPÓTESIS	14
OBJETIVOS	
General	15

Particulares	15
MATERIALES Y TÉCNICAS	16
ESTRUCTURA DEL TRABAJO	18
BIBLIOGRAFÍA	19

CAPÍTULO 1

PARADIGMAS DE LA PREVENCIÓN DE LOS ACCIDENTES	21
1.1 PARADIGMAS RESPECTO DE LA PROBLEMÁTICA	21
<i>1.1.1 Concepto de accidente de tránsito</i>	21
<i>1.1.2 Factores causantes de los accidentes de tránsito</i>	22
<i>1.1.3 Otros errores al determinar las causas de los accidentes de tránsito</i>	25
1.2 PRÁCTICAS EMPLEADAS PARA ENCARAR LA PROBLEMÁTICA	26
1.3 PRÁCTICAS RECOMENDABLES	27
BIBLIOGRAFÍA	29

CAPÍTULO 2

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)	31
2.1 ¿QUÉ SON LOS SIG?	32
2.1.1 Definiciones de SIG	33
2.1.1.1 Definiciones globales	33
2.1.1.2 Definiciones funcionales	34
2.1.1.2 Definiciones tecnológicas	35
2.1.2 El enfoque de sistemas	36
2.1.3 Concepto de SIG	37
2.1.4 Otros aspectos de los SIG	37
2.2 FUNCIONES DE LOS SIG	39
2.2.1 Entrada y salida de datos	39
2.2.1.1 Entrada de datos	39
2.2.1.2 Salida de datos	43
2.2.2 Almacenamiento y recuperación de datos	44
2.2.2.1 Modelos de datos	45
2.2.3 Manejo y análisis de datos	54
2.2.3.1 Funciones fundamentales	54
2.2.3.2 Funciones avanzadas	60

2.3 USOS DE LOS SIG	68
2.4 APLICACIONES DE LOS SIG	69
BIBLIOGRAFÍA	70

CAPÍTULO 3

PROGRAMAS DE PREVENCIÓN DE ACCIDENTES Y APLICACIÓN DE LOS SIG	71
3.1 PROGRAMAS DE PREVENCIÓN	71
<i>3.1.1 Programa de seguridad vial de los Países Bajos</i>	71
<i>3.1.2 Programa de seguridad vial de Suecia</i>	75
<i>3.1.3 Argumentos en contra de los programa de seguridad vial de Suecia y los Países Bajos</i>	77
3.2 APLICACIÓN DE LOS SIG PARA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES	79
<i>3.2.1 Aplicación de los SIG como herramientas de custodia de datos</i>	79
<i>3.2.2 Aplicación de los SIG para detectar sitios peligrosos</i>	80
<i>3.2.3 Aplicación de los SIG para atacar las causas de los accidentes</i>	82
<i>3.2.4 SIG comerciales para seguridad vial</i>	82
BIBLIOGRAFÍA	83

CAPÍTULO 4

PROPUESTA METODOLÓGICA	88
4.1 ANÁLISIS MULTICRITERIO	88
<i>4.1.1 El proceso de decisión</i>	89
<i>4.1.2 Decisión multicriterio</i>	90
<i>4.1.3 Clasificación de los problemas de decisión multicriterio</i>	91
<i>4.1.4 Métodos de solución a los problemas de decisión multicriterio</i>	92
4.2 ANÁLISIS ESPACIAL	94
4.3 DESCRIPCIÓN TEÓRICA DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA	97
4.4 DESCRIPCIÓN PRÁCTICA DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA	100
<i>4.4.1 Establecimiento de los objetivos y criterios del análisis</i>	100
<i>4.4.2 Preparación de los datos, tanto espaciales como de atributos para el análisis espacial</i>	101
<i>4.4.3 Realización de operaciones espaciales (modelado espacial)</i>	102
<i>4.4.4 Aplicación de modelos matemáticos a los datos de atributos</i>	103
<i>4.4.5 Evaluación e interpretación de los resultados</i>	103
<i>4.4.6 Afinación de los resultados al interpretar las limitaciones del análisis</i>	104
<i>4.4.7 Producción de los mapas finales y de los reportes tabulares con los resultados</i>	104

BIBLIOGRAFÍA	105
--------------	-----

CAPÍTULO 5

CASO DE ESTUDIO	107
5.1 SELECCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO	107
5.2 GENERALIDADES GEOGRÁFICAS DEL CASO DE ESTUDIO	113
<i>5.2.1 Características físicas</i>	113
<i>5.2.2 Características socioeconómicas</i>	116
5.3 DESCRIPCIÓN DE LA BASE DE DATOS Y VARIABLES A EMPLEAR	118
5.4 RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESPACIAL DE LOS MAPAS TEMÁTICOS A UNA VARIABLE	123
<i>5.4.1 Tránsito diario promedio anual (TDPA)</i>	123
<i>5.4.2 Factores</i>	127
<i>5.4.2.1 Factores humanos</i>	127
<i>5.4.2.2 Factores del vehículo</i>	131
<i>5.4.2.3 Factores del camino</i>	133
<i>5.4.2.4 Factores medioambientales</i>	134
<i>5.4.3 Momentos de ocurrencia</i>	135

5.4.3.1 <i>Días de la semana</i>	136
5.4.3.2 <i>Horas del día</i>	137
5.4.3.3 <i>Meses del año</i>	138
5.4.4 Saldos	139
5.4.4.1 <i>Muertos</i>	140
5.4.4.2 <i>Lesionados</i>	141
5.4.4.3 <i>Daños materiales</i>	142
5.4.4.4 <i>Total de accidentes</i>	142
5.4.4.5 <i>Total de participantes</i>	142
5.4.4.6 <i>Tipo de accidente</i>	143
5.4.4.7 <i>Tipo de vehículo</i>	145
5.5 RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESPACIAL DE LOS MAPAS TEMÁTICOS A DOS VARIABLES	145
5.5.1 <i>Factores vs Factores</i>	147
5.5.2 <i>Factores vs Momentos</i>	147
5.5.3 <i>Momentos vs Momentos</i>	148
5.5.4 <i>Momentos vs Saldos</i>	149
5.5.5 <i>Factores vs Saldos</i>	149
5.5.6 <i>Saldos vs Saldos</i>	151
5.5.7 <i>Saldos vs Otros atributos</i>	154
5.5.8 <i>Momentos vs Otros atributos</i>	156
5.5.9 <i>Factores vs Otros atributos</i>	156
5.5.10 <i>Otros atributos vs Otros atributos</i>	159

5.6 RESUMEN DE RESULTADOS	161
BIBLIOGRAFÍA	163
CONCLUSIONES	165
ANEXO 1	
ANEXO CARTOGRÁFICO	170
ANEXO 2	
RESÚMENES TABULARES	177

INTRODUCCIÓN

RESUMEN

Hasta antes de las últimas dos décadas del siglo XX, se consideró a los accidentes de tránsito como eventos fortuitos y a la prevención de los mismos, en los mejores casos, como función de algunas mejoras en la infraestructura vial así como de algunos programas en materia de educación vial a los conductores. Sin embargo, lo anterior, junto con muchos otros factores como el gran crecimiento del parque vehicular, coadyuvó a que los accidentes de tránsito se convirtieran en una problemática de salud pública, tal como se indica en las estadísticas de muertos y heridos por accidentes de tránsito para casi todos los países del mundo. Dado lo anterior, enfoques más recientes y acertados del problema de los accidentes de tránsito consideran a los mismos, como eventos susceptibles de prevención.

Dado que al hablar de accidentes de tránsito, se trata de una problemática, comparable por sus saldos

negativos con otras de salud pública, deben ponerse en función de su solución la mayor cantidad posible de avances científicos y tecnológicos. Así, con el objeto de contribuir en la prevención de los accidentes de tránsito mediante la detección de sus causas reales, en el presente trabajo de tesis se plantea el empleo de las herramientas computacionales que permitan hacer un análisis de los patrones que sigue la ocurrencia de los accidentes en espacio y tiempo.

Las herramientas computacionales, cuyo uso se propone, son los llamados Sistemas de Información Geográfica (SIG), que a grandes rasgos son paquetes de cómputo que permiten el manejo simultáneo de bases de datos de cualquier índole con información geográfica; es decir permiten operar con las variables de una base de datos sobre información cartográfica, e incluso, con las variables asociadas a la cartografía como información geográfica para hacer inferencias u obtener conclusiones a partir de dicha operación.

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

Así, con el empleo de los SIG es posible el manejo de la información de bases de datos de accidentes de tránsito, que periódicamente se recogen en campo por las diversas dependencias especializadas al respecto, y observar sus relaciones sobre la componente geográfica correspondiente a su entorno, con el fin de obtener conclusiones a partir de dicha interacción. De esta forma, en el presente trabajo de tesis se plantea que, al realizar lo que en el ámbito de las Ciencias de la Geografía se conoce como análisis espacial de los patrones de ocurrencia de los accidentes de tránsito en las carreteras, utilizando los SIG, es posible encontrar constantes entre los factores que confluyen hasta llegar al acontecimiento de los siniestros vehiculares en las carreteras. Otra facultad de los SIG, consiste en que, además de permitir el análisis espacial de los datos, que de forma simple es una correlación entre las variables que participan en el fenómeno, estos programas computacionales otorgan la factibilidad de generar nueva información y cartografía temática, misma que es estratégica para la toma de decisiones.

El análisis espacial puede extenderse a cualquier

variable geográfica que tenga relación con el entorno en el cual se ubica la parte del fenómeno de los accidentes de tránsito que esté en cuestión. De tal manera, en el presente estudio se propone una metodología que establece las variables a considerar en el análisis espacial tanto de las bases de datos de accidentes como geográficas, así como la forma de manejar cada una de ellas para evitar que las conclusiones que se obtengan sean confusas o muy rebuscadas.

La propuesta metodológica descrita de forma somera en el párrafo anterior, encuentra fundamento en ciertos conceptos básicos de la Ingeniería de Sistemas, como el Análisis Multicriterio y algunos modelos matemáticos propios de la Ingeniería de Tránsito, pero principalmente tiene sus cimientos sobre la forma habitual de efectuar el Análisis Espacial aplicando los Sistemas de Información Geográfica para detectar patrones y hacer inferencias que conducen a conclusiones.

Con el fin de ejemplificar de una manera más amplia, en esta tesis se pone en práctica la metodología propuesta en un caso de estudio: se analizan las

variables de las base de datos de accidentes de 1997, producida por el Instituto Mexicano de Transporte (IMT), misma que conjunta en un único documento la información de las carreteras de México en formato digital con los datos de otras dos bases de datos: la de Accidentes en las Carreteras Federales, de la Policía Federal Preventiva (PFP) para 1997 y la denominada Datos Viales 1997, emitida por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). El análisis de dicha base de datos se efectúa para las principales carreteras en territorio mexicano comprendidas dentro del programa de desarrollo del llamado Plan Puebla-Panamá (PPP). Se consideran a la par varias de las características geográficas de la zona geográfica correspondiente y se obtienen conclusiones acerca de los factores de los accidentes de tránsito que ocurrieron en esa zona en ese año.

Dado que para el presente estudio es preponderante la información cartográfica, se anexan al caso de estudio mapas temáticos que describen la situación del análisis realizado y que ofrecen un buen sustento didáctico como explicación de la metodología.

Por último, se considera de relevancia trascender del

nivel del análisis y la obtención de resultados hacia el plano de las posibles soluciones contra la problemática; así, se hacen recomendaciones acerca de acciones que se podrían tomar para atacar las causas, o cuando menos algunos de los factores, resultantes del análisis y cuya implementación muy probablemente conduciría a una reducción del número de accidentes en las carreteras y de víctimas de estos percances, redundando en una política de prevención de accidentes más adecuada.

ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA

El movimiento de bienes y personas se lleva a cabo gracias a la existencia de lo que se conoce como el Sistema de Transporte y a la manifestación física y dinámica del funcionamiento de dicho sistema: el tránsito. Se habla de un sistema dado que el Transporte se realiza debido a la interacción necesaria de una serie de componentes que integran el sistema. Los componentes integrales son, a grandes rasgos, los individuos en sus roles respectivos de usuarios u operarios del sistema, los

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

vehículos, las vías de transporte, el medio físico geográfico en que se ubican, el entorno social, político y económico y las normas reguladoras de la interacción entre los componentes anteriores.

El funcionamiento del Sistema de Transporte, como la gran mayoría de los fenómenos producto de sistemas en los que interviene el componente humano, tiene resultados tanto positivos como negativos, aún cuando el espíritu de la existencia de tales sistemas es en casi todos los casos, acorde con fines positivos y loables. [6]

Así, los principales resultados positivos del tránsito, mismos que dan motivo y plena justificación a la existencia del Sistema de Transporte son: el traslado de bienes y personas para contribuir de forma fundamental en el desarrollo de las sociedades y en general de la humanidad; la promoción y el hacer posible la comunicación y los procesos de socialización entre los individuos y, por último, el brindar acceso a la población a bienes y servicios básicos.

Sin embargo, los resultados negativos más notorios,

que bien pueden entenderse como fallas del sistema más que de alguno de sus componentes de forma aislada son: los accidentes de tránsito con todas sus consecuencias sociales, económicas y políticas que más adelante se discutirán; la contaminación ambiental, producto de las emisiones de los vehículos, esto incluyendo los niveles nocivos de ruido y; finalmente, la desigualdad social, la marginación y las migraciones generadas por los distintos niveles de acceso al Sistema de Transporte.

En el particular de este trabajo de tesis, se analizará la problemática que da lugar al primero de los resultados negativos antes citados, es decir, a los accidentes de tránsito; y más en particular a los accidentes de tránsito de uno sólo de los modos de transporte: el terrestre automotor interurbano. Sin embargo, un análisis similar al que se realiza en el presente estudio puede ser reproducido fácilmente para cualesquiera otro u otros de los modos de Transporte.

Así en la presente tesis, al hablar de accidentes de tránsito, se hará referencia a los accidentes por tránsito de vehículos automotores.

En una gran cantidad de estudios, de varios autores y de fechas muy diversas, queda de manifiesto que el de los accidentes de tránsito es un problema que repercute en materia de salud pública dadas la magnitud del problema y sus consecuencias, así como por el hecho de que afecta prácticamente a todos los sectores de la sociedad.

En consecuencia la gran mayoría de los gobiernos y algunas otras instituciones emprenden acciones encaminadas a combatir la problemática de los accidentes de tránsito. Sin embargo en la práctica, al momento de implantar tales acciones, que llegan a ser incluso planes o programas nacionales muy complejos, los encargados de llevar a cabo tales encomiendas se encuentran con una serie de dificultades que propician que pocas de dichas acciones den un resultado positivo y muchas menos aquel que se pretendía rindiesen. Algunos de los problemas que deben encarar son: 1) la falta de información acerca de la problemática y de la posibilidad de prevenirla; 2) paradigmas fatalistas que plantean a los accidentes de tránsito como un fenómeno imposible de atacar y 3) la falta tanto de

responsabilidad política como de colaboración multidisciplinaria necesarias para hacer frente a la problemática.

A pesar de lo anterior, algunos países desarrollados han sido capaces de disminuir de forma notoria en los últimos decenios su tasa de lesiones por accidentes de tránsito. Esto es, hasta en un 50%. [1]

Magnitud de la problemática

La Organización Mundial de la Salud (OMS), calcula que en el año 2000 aproximadamente 1,260,000 personas murieron en el mundo como consecuencia de lesiones sufridas por accidentes por tránsito de vehículos automotores. Esto equivale a que los accidentes de tránsito fueron causa del 2.2% del total de muertes, así como del 25% de muertes por lesiones en ese año en el mundo. [2]

Además del número de muertes que ocasionan, otra consecuencia de los accidentes de tránsito es la morbilidad producto de las lesiones a causa de los mismos. Así en el 2000, figuraron los accidentes de

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

tránsito en el noveno lugar de entre las causas de mortalidad y morbilidad al causar 2.8% del total de muertes y discapacidades a nivel mundial. [2]

La situación en América Latina y en particular en México no es muy distinta; pues como causa de muerte, los accidentes de tránsito vial ocuparon en 1999 el noveno lugar a nivel del continente Americano y el séptimo en la República Mexicana. [1]

6 Las proyecciones de la OMS indican que en 2020, las lesiones sufridas en accidentes de tránsito podrían constituir la tercera causa de muerte y discapacidad, por delante de otros problemas de salud pública tales como la malaria, la tuberculosis y el VIH/SIDA. [4]

Lo anterior debe tomarse con reserva pues bien podría indicar que habrán avances sustanciales en el combate a otras epidemias, lo que no necesariamente implica que no se verá progreso en la lucha contra los accidentes de tránsito. Las proyecciones podrían incluso no cumplirse, pero de cumplirse y no haber considerado la posibilidad de ello, el escenario sería francamente desalentador,

además del grave acto de negligencia que el hecho implicaría.

Los afectados

Los totales, así como las tasas de muertos y lesionados a causa de los accidentes de tránsito varían de acuerdo con varias características de las sociedades; así el comportamiento de los indicadores del saldo de los accidentes varía de acuerdo con la edad, la región geográfica, el género y el tipo de usuario u operario del Sistema de Transporte.

Del total de muertes por accidentes de tránsito en el mundo para el antes mencionado año 2000: 1,260,000 víctimas, más de un millón de personas falleció en países de bajos y medianos ingresos, contándose únicamente 125,000 víctimas en países de elevados ingresos; lo anterior equivale a una proporción de 9 muertos por accidentes de tránsito en los países en desarrollo por cada deceso en los países de altos ingresos. [2]

Las tasas de mortalidad varían de las 1.3 muertes en

Suecia hasta los más de 100 fallecidos por cada 10,000 vehículos en algunos países africanos. En México, la tasa fue de 7.5 muertos por cada 10,000 vehículos en 1995, repitiéndose en 1996, considerando únicamente los accidentes en carreteras. [2]

Dentro de la problemática de los accidentes de tránsito también es posible encontrar serios problemas de equidad tanto en países desarrollados como en naciones en desarrollo, pues la gente de los estratos socioeconómicos inferiores, constituye el grupo más vulnerable dado el tipo de usuarios que representan dentro del Sistema de Transporte: ciclistas, peatones, niños y pasajeros. Lo anterior, debido a que no todos los individuos de todos los sectores sociales tienen acceso a medios propios de Transporte. [2]

En el mismo orden de ideas, al tener menor acceso a servicios médicos de calidad, las posibilidades de supervivencia luego de un accidente de tránsito son menores para los pobres que para su contraparte los más acomodados.

Las lesiones causadas por accidentes de tránsito afectan desproporcionadamente a los jóvenes. Más del 50% de la mortalidad total del mundo y alrededor del 60% de la morbilidad debida a accidentes de tránsito corresponde a jóvenes adultos entre los 15 y los 44 años de edad. En México, fueron en 1999 los accidentes de tránsito la primera o segunda causa de muerte, con cifras muy cercanas las de muertos por violencia, para las personas de cada uno de los grupos quinquenales de menores de 44 años de edad. [2]

A nivel mundial, la tasa de mortalidad por lesiones causadas por accidentes de tránsito es casi tres veces mayor para los varones que para las mujeres. Considerando esto y lo que indica el párrafo anterior, queda claro que un grupo altamente afectado por la problemática en cuestión es aquel conformado por la gente en situación productiva, económicamente hablando.

Por otra parte, los datos de muchos países indican una clara relación entre los niveles crecientes de motorización y el número de víctimas de accidentes por el tránsito de los vehículos automotores. En los

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

países en desarrollo, las tendencias actuales y proyectadas en la motorización prevén un rápido incremento en el uso de los vehículos en esas naciones, lo cual afecta de forma adversa dado que quienes deban lidiar con la problemática de los accidentes de tránsito tendrán menos tiempo para encarar los problemas particulares y mitigar sus consecuencias adversas. Según la proyección de la OMS, en 2020, serán los accidentes de tránsito la segunda causa de mortalidad y morbilidad en los países en desarrollo. [2]

Lo anterior tiene un gran contraste con lo que ocurre en los países desarrollados, en donde el crecimiento de los parques vehiculares y uso de los vehículos evoluciona a un ritmo más lento, permitiendo que los esfuerzos para brindar seguridad en las vías evolucione al parejo. Como ejemplo el caso de Finlandia, en donde en 30 años el número de víctimas mortales de accidentes de tránsito se ha reducido en 50% a pesar de que el volumen del tráfico vial se ha triplicado. [2]

Consecuencias socioeconómicas

Además de las consecuencias directas de la problemática, como lo son muertos y discapacitados, los accidentes de tránsito son causa de consecuencias sociales y económicas de otros tipos y que tienen impacto en todos los niveles sociales: familiar, comunitario, nacional y global.

Adicionalmente a los daños físicos y psicológicos propios de las personas directamente afectadas por las lesiones sufridas en los accidentes de tránsito, el fenómeno también afecta grave y adversamente a las personas relacionadas con las víctimas, esto es, a familiares, amigos y gente de su misma comunidad. Los daños en estos casos pueden ser sociales, psicológicos e incluso físicos y pueden ser de corto o de largo plazo. Por ejemplo, cada año en la Unión Europea fallecen cerca de 50,000 individuos y quedan discapacitados de por vida alrededor de 150,000 personas a causa de accidentes de tráfico vial. Lo anterior deja a más de 200,000 familias con algún miembro fallecido o discapacitado de por vida. Con frecuencia, la víctima directa del accidente es el jefe de familia y, en consecuencia, además de los daños emocionales, la familia debe hacer frente a

una reducción de sus ingresos económicos y en la mayoría de ocasiones, lidiar con los sistemas penal y civil. [2]

Aún sin tener relación directa con algún accidentado, los accidentes de tránsito afectan a otros sectores de la población. Como ejemplo, el miedo a sufrir algún accidente limita la movilidad de ancianos, mujeres y niños. Ello conlleva a un estilo más sedentario de vida con problemas de obesidad y cardiovasculares como consecuencias.

Considerando ahora el aspecto económico de las consecuencias de la problemática, se calcula que el costo de las lesiones y discapacidades producto de los accidentes de tránsito equivale a entre el 1% y el 3% del producto nacional bruto del país. A nivel mundial se estima que el costo de las lesiones por accidentes de tránsito asciende a 518,000 millones de dólares estadounidenses. En los países en desarrollo, los gastos se estiman en 100,000 millones de dólares, lo que equivale al doble de la asistencia que los países desarrollados destinan anualmente para fomentar el desarrollo en los demás países. [2]

Las consecuencias económicas de los accidentes de tráfico son especialmente nocivas para los países que tratan de aliviar la pobreza en el entorno de los retos que el desarrollo plantea, dado que como se ha mencionado, uno de los grupos más vulnerables es aquel de la población económicamente activa. Así, las naciones en desarrollo difícilmente podrán hablar de desarrollo sustentable si no encuentran una forma efectiva de combatir la problemática de la inseguridad vial.

Factores que contribuyen a no solucionar la problemática

Otro aspecto de la problemática de los accidentes de tránsito es el de los esfuerzos equivocados por solucionarlo, mismos que se hacen sobre bases conceptuales, información o paradigmas escasos o erróneos del fenómeno de los accidentes de tránsito. Tales esfuerzos equivocados, lejos de constituir soluciones a la problemática, en ocasiones la hacen más grave, pues muchas veces las soluciones atacan síntomas y no causas de la problemática.

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

De lo anterior que, uno de los principales retos que plantea la problemática en cuestión lo constituye la determinación de las causas verdaderas de los accidentes.

Paradigmas erróneos

Muchos de los paradigmas erróneos y los errores conceptuales a los que se hace alusión y que se discutirán más ampliamente en el Capítulo 1, consisten en considerar únicamente algunos aspectos de la problemática, sin tomar en cuenta de forma cabal la alta complejidad inherente al fenómeno de los accidentes de tránsito dada la gran cantidad de variables que involucra. Así, se puede prever que el paradigma que debiera regir el estudio del fenómeno de los accidentes de tránsito debe considerarles como parte integral de un muy amplio entorno que modifica y es modificado por el fenómeno.

Falta de información

Otro aspecto negativo lo constituye la falta de información alrededor de la problemática. En general, se carece de información ya sea por cantidad o por calidad y el resultado final es que tanto en los países de bajos y medianos ingresos y, en menor medida, en los países de altos ingresos, la información que regularmente se tiene para el análisis de la problemática en cuestión resulta insuficiente y deficiente. [3]

La falta de información por cantidad acerca de la magnitud de la problemática, es propia más bien de los países en desarrollo y propicia que se tenga apenas una escasa conciencia de ella. Según la OMS, las lesiones no mortales provenientes de accidentes de tránsito regionales y mundiales agregadas, generalmente ni se publican, ni están disponibles. Los datos internos de lesiones no mortales existen de forma rutinaria en países de altos ingresos en los que cuentan con recursos suficientes para que dichos datos sean recopilados y compaginados. Estos datos, rara vez existen para los países en desarrollo. [3]

Al respecto del problema particular de la falta de

información de calidad, casi todos los países sin excepción son víctimas del mismo. Incluso en países desarrollados es posible que los datos que recopilan de forma recurrente el sector Transporte, o las Policías u otras Instituciones, no se manejen bajo normas comunes, lo cual dificulta su uso. [3]

Otra deficiencia en la calidad de la información alusiva a los accidentes de tránsito la constituye la escala a la cual se recopilan los datos, pues se recopilan y se emplean de forma indistinta para hacer estudios a niveles puntuales, locales, regionales o nacionales. Generalmente se considera únicamente la escena del accidente y se incurre en el error de ver sólo parte de la problemática.

Adicionalmente, tanto en países en desarrollo, como en países desarrollados, es de mucha utilidad que las autoridades encargadas de levantar la información de los accidentes tengan cierto nivel técnico y una conciencia social que les permita consignar en sus informes datos útiles y que probablemente no se requieren dentro del formato preestablecido ya que ayudarían a determinar de una mejor manera las causas de los accidentes.

Falta de adecuación en los países en desarrollo

Ante la falta de capacidad para desarrollar tecnología y conocimientos propios, la gran mayoría de los países en desarrollo reproducen o importan la tecnología que aparece en los países desarrollados.

Lo anterior es muy válido y altamente valioso si se hace considerando que, aunque muchos de los principios que se descubran sean aplicables universalmente, es posible que muchas de las tecnologías y métodos de prevención específicos no lo sean. Incluso, es posible que tecnologías antiguas y métodos más simples sean más adecuados en algunas circunstancias. Sin embargo, el descubrimiento de las medidas más adecuadas y su adaptación a una circunstancia particular demanda un pensamiento innovador, familiaridad con la información científica más reciente y la utilización de productos en formas que pueden requerir de la combinación de tecnologías ya existentes con tecnologías de reciente desarrollo. [3]

De no enfocar las actividades de desarrollo e investigación, los países con bajos y medianos ingresos, muy probablemente contarán con sistemas tecnológicos ineficaces que mal servirán a dichos países y a las comunidades dentro de ellos.

ESTRATEGIAS DE INTERVENCIÓN CONTRA LA PROBLEMÁTICA Y MARCO DE REFERENCIA DEL ESTUDIO

12

Ante el reto que la problemática descrita en el apartado anterior plantea, varios Gobiernos Nacionales, así como Organismos Internacionales se han visto en la necesidad de generar estrategias para encararle. [1]

No todas las estrategias implementadas han sido adecuadas, pues muchas de ellas se han cimentado en algunos de los paradigmas equivocados de los que se hace mención y muchas otras han resultado ser muy pretenciosas y, por ende, difíciles de llevar a cabo en la realidad. Las características a que se debe apegar una estrategia adecuada, según los conceptos que prevalecen en la actualidad, para

prevenirse de la problemática de los accidentes de tránsito se enumeran con más detalle luego de discutir más ampliamente los paradigmas erróneos y otros problemas que pueden tenerse al desarrollar una estrategia de intervención y de presentar una breve reseña histórica de las estrategias que se han aplicado con el afán de procurar seguridad vial, en el Capítulo 1.

En este entendido, se presenta a grandes rasgos la estrategia quinquenal que plantea la Organización Mundial de la Salud (OMS), emitida en 2001 y que concuerda con la visión conceptual vigente, a fin de proporcionar el marco de referencia para el presente estudio.

La OMS [3] considera que como organismo independiente puede aportar avances contra la problemática en tres grandes rubros: 1) Epidemiología, 2) Prevención y 3) Promoción. Las estrategias macro a seguir, es decir, sin bajar al nivel de las acciones concretas, para la OMS en cada uno de los apartados son:

Epidemiología

- ▶ Promover que en la supervisión epidemiológica de largo plazo de las lesiones por accidentes de tránsito se utilicen métodos de recopilación de datos estandarizados y de base científica.
- ▶ Establecer un orden del día de investigación enfocado hacia los determinantes de lesiones por accidentes de tránsito, especialmente en los países en desarrollo.
- ▶ Facilitar redes regionales en los países en desarrollo e incrementar las capacidades de cada país.
- ▶ Reforzar los lazos entre el medio ambiente, la movilidad y la seguridad vial.

Prevención

- ▶ Apoyar las intervenciones dirigidas a los usuarios vulnerables basadas en conocimientos disponibles y que utilicen modelos de intervenciones aplicables en diversas partes del

mundo.

- ▶ Reunir y combinar los conocimientos más avanzados de prevención de lesiones por accidentes de tránsito que sean aplicables en países en desarrollo mediante revisiones sistemáticas.
- ▶ Proporcionar orientación a los gobiernos e instituciones para una gestión de la seguridad vial eficaz y sostenida.
- ▶ Desarrollar conocimientos nuevos basados en las intervenciones que tomen en cuenta a los usuarios vulnerables y los distintos contextos locales.

Promoción

- ▶ Incrementar la toma general de conciencia acerca de las posibilidades de prevención de las lesiones por accidentes de tránsito.
- ▶ Promover un enfoque intersectorial hacia la

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

prevención de los accidentes de tránsito en los países de ingresos bajos y medios.

- ▶ Promover la investigación en materia de seguridad vial.
- ▶ Abogar por recursos para la prevención de lesiones por accidentes de tránsito.

En el contexto del plan estratégico de la OMS, al tratarse el presente de un estudio que busca contribuir en el particular de la prevención de los accidentes de tránsito, existe concordancia con lo que la estrategia plantea en su segundo apartado, dado que este trabajo de tesis trata de adecuar conocimientos y tecnología a los requerimientos de un país en desarrollo como México, a la vez de generar nuevos conocimientos útiles para el ámbito de nuestro país.

Otra parte de la presente investigación pretende recopilar y presentar aspectos fundamentales de estrategias y programas de prevención de accidentes de tránsito desarrollados en otras naciones, con el fin

de ofrecer el respectivo referente a las instituciones de nuestro país.

Una de las contribuciones más importantes de esta tesis radica en hacer evidentes los paradigmas que deben privar si se desea atacar con ventaja la problemática de los accidentes de tránsito. El presente trabajo colabora así con los fines de hacer conciencia acerca de la problemática, de su susceptibilidad de prevención y de la necesidad de cooperación multidisciplinaria para su solución.

HIPÓTESIS

El presente trabajo de tesis se plantea, entendiendo al fenómeno de los accidentes por el tránsito de vehículos automotores como un fenómeno susceptible de prevención bajo las siguientes consideraciones:

- 1) El de los accidentes de tránsito es un fenómeno recurrente en tiempo y espacio.
- 2) Cada accidente de tránsito no es el resultado de

una sola causa, sino que se trata de un fenómeno de complejidad multicausal.

- 3) La prevención de un fenómeno se logra al atacar las causas del mismo.
- 4) Conocer las causas de los accidentes de tránsito requiere de conocer la situación de todo el Sistema de Transporte en el cual se registran los accidentes.

Así, se formula la siguiente hipótesis:

Mediante la aplicación de una metodología fundamentada en el Análisis Multicriterio, propia de la Ingeniería y de Sistemas y del Análisis Espacial, propio de la Geografía con ayuda de un Sistema de Información Geográfica (SIG), a una base de datos de accidentes de tránsito, es posible identificar patrones en los factores que confluyen para generar los accidentes de tránsito, llegando así a determinar las causas de los mismos.

OBJETIVOS

General

Ofrecer una metodología relacionada con los Sistemas de Información Geográfica que permita identificar las causas de los accidentes de tránsito en las carreteras para, conocidas estas, prevenir la ocurrencia de un número considerable de siniestros.

Particulares

Hacer énfasis en el problema de salud pública que constituyen los accidentes de tránsito, especialmente en los países emergentes y en específico, en los de América Latina.

Presentar a los accidentes de tránsito como fenómenos susceptibles de prevención.

Describir lo que son los Sistemas de Información Geográfica, sus principales usos y aplicaciones, así como las razones y ventajas de su aplicación a la problemática de los accidentes de tránsito.

Dar a conocer los programas puestos en marcha en

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

las distintas Naciones, que se relacionan con el uso de los SIG en materia de seguridad vial, incluyendo sus alcances y resultados.

Presentar una propuesta metodológica, basada en la aplicación tradicional de los SIG, acerca de la forma en que pueden utilizarse los SIG para encontrar y atacar de forma correcta los factores que confluyen en las causas de los accidentes de tránsito.

16

Aplicar la metodología propuesta en un caso de estudio, la base de datos de accidentes de tránsito del IMT de 1997 para las carreteras de los estados de Chiapas y Oaxaca.

Emitir la cartografía temática correspondiente que describa ampliamente el caso de estudio.

Discutir y analizar los resultados del caso de estudio para mostrar la forma en que se pueden obtener conclusiones a partir del empleo de la metodología propuesta.

MATERIALES Y TÉCNICAS

Las técnicas para sustentar la propuesta metodológica que en esta tesis se presenta, se emplean, como ya se ha mencionado, el Análisis Multicriterio y el Análisis Espacial, mismos que más adelante se presentan y discuten con propiedad.

Las técnicas se aplican a un caso de estudio utilizando información correspondiente a las vías de comunicación, así como a los accidentes de tránsito en las carreteras de los Estados de Chiapas y Oaxaca contenida en la base de datos "Accidentes de 1997", producida por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) y que conjunta información cartográfica, referente a carreteras y localidades, levantada en campo por el mismo IMT, con información tabular de las bases de datos "Accidentes en Carreteras Federales 1997", recopilada, procesada y emitida por la Policía Federal Preventiva (PFP) y "Datos Viales 1997", generada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

Parte de la aportación del presente estudio se ha definido como la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica para contribuir a resolver

algunos aspectos de la problemática de los accidentes de tránsito. De tal suerte, las técnicas antes mencionadas se han aplicado sobre los datos descritos en el párrafo anterior con la ayuda de un SIG.

Dado que la información cartográfica contenida en la base de datos del IMT, proporcionada y preparada por el Instituto de Geografía de la UNAM, corresponde a polígonos del tipo vectorial, debió emplearse un SIG adecuado al manejo de información de tipo vectorial. Por lo anterior, se decidió emplear el paquete ArcView, versión 3.2 del Environmental System Research Institute (ESRI). La información de la base de datos del IMT, correspondía con el formato que ArcView emplea (.shp y .shx), de tal forma que no fue necesario aplicar ninguna conversión a los datos de la base.

La información cartográfica incluye temas de los tres tipos posibles dentro del universo de los datos vectoriales bidimensionales: puntos, líneas y polígonos. Los temas que vienen incluidos en Accidentes 1997 del IMT, representan la siguiente información geográfica: la división política de México

al nivel de Entidades Federativas; las carreteras federales en varias modalidades según su segmentación: tramos nominales según SCT y en segmentos de 500 m; carreteras estatales; cabeceras municipales de los municipios con acceso a las carreteras y; finalmente, los puntos sobre las carreteras federales en donde se registraron accidentes de tránsito en 1997.

La información tabular de la base de datos del IMT, y que corresponde a cada uno de los temas, se encuentra en el formato de Data Base File (.dbf), óptimo para el paquete dBase IV. Sin embargo, por comodidad de operación al aplicar cálculos matemáticos sobre los datos y por compatibilidad con muchos otros paquetes computacionales, se decidió llevar a cabo el manejo de la información tabular en hoja de cálculo, dentro de MS Excel. La compatibilidad de MS Excel con el formato de origen de los datos de la base del IMT, que a la postre concuerda con el formato para información tabular que ArcView reconoce, es factible al manejar los datos en formato de texto delimitado, ya sea por comas o por espacios.

ESTRUCTURA DEL TRABAJO

A grandes rasgos, el presente trabajo de tesis, se ha estructurado con la intención de presentar de inicio la problemática a abordar, de tal forma que se haga conciencia de la importancia de solucionarle. Después se presenta información general acerca de las técnicas y tecnología que serán útiles para coadyuvar en la solución de algunos aspectos de la problemática y, por último, se presenta la forma en la que se propone se apliquen las técnicas y tecnología y se ejemplifica con un caso de estudio.

Así, en la introducción y en el primer capítulo se hace un análisis con un buen grado de detalle de varios de los problemas que conforman problemática de los accidentes de tránsito.

En el segundo capítulo se presenta una introducción a los Sistemas de Información Geográfica, que si bien es un tópico trillado en otros ámbitos en donde la gran mayoría de los conceptos básicos de los SIG podrían considerarse como sobreentendidos, no lo es tanto dentro del campo de la Ingeniería de

Sistemas; al menos en lo que a nuestra Facultad en los días presentes concierne.

Dentro del tercer capítulo son descritos algunos de los programas más recientes en materia de prevención de accidentes y que concuerdan con la visión que el presente trabajo pretende mostrar; es decir, están fundados en bases conceptuales similares, las mismas que se discuten en la introducción y el primer capítulo de esta tesis. Adicionalmente en el tercer capítulo se presenta la forma en que se han aplicado los SIG para la prevención de accidentes de tránsito, esto, en varios programas de varios países. Lo anterior figura en la tesis, con el fin de enfatizar el enfoque que en este estudio se propone, como una alternativa adicional de aplicar los SIG para contribuir a la solución de la problemática en cuestión.

El cuarto capítulo da a conocer la forma en que se considera la propuesta de aplicación de los SIG a la problemática: mediante una metodología que ahí mismo se discute. Al inicio del capítulo se profundiza en las técnicas que dan fundamento a dicha propuesta metodológica y que son el Análisis

Multicriterio y el Análisis Espacial.

En el capítulo quinto se presenta el caso de estudio; desde su selección, hasta los resultados que el mismo arroja. Es aquí en donde tiene lugar la información cartográfica generada acorde con los objetivos de esta tesis, así que es en esta sección en donde se analizan los mapas temáticos del caso de estudio, mismos que se exhiben posteriormente en los anexos.

Finalmente, se presentan las más importantes de las conclusiones que se han obtenido luego de la realización de este trabajo de investigación, buscando de hacer énfasis en la aportación que el presente estudio significa para las Ciencias de la Ingeniería.

Como anexos al presente estudio se incluyen tres apartados distintos. El primer anexo, bajo el título de anexo cartográfico, comprende una selección de mapas relevantes, producto del caso de estudio y que arrojan resultados importantes.

De forma similar el segundo anexo, contiene algunos

reportes tabulares que muestran aspectos relevantes producto del análisis del caso de estudio.

Como tercer anexo, se incluye un disco compacto con la información cartográfica completa del caso de estudio. En tal dispositivo se encuentra tanto la información generada, como parte de los datos fuente del trabajo. La información se encuentra en formato de ArcView.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Espinoza, R., *Localización de los servicios de emergencia en carreteras. Caso de estudio: autopista México – Querétaro*, Tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, UNAM, Ciudad de México, México, 2003
- [2] Organización de las Naciones Unidas, *Crisis de seguridad vial en el mundo, Informe del Secretario General*, Asamblea General de las Organización de las Naciones Unidas, Quincuagésimo octavo período de sesiones, 2003.

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

[3] Organización Mundial de la Salud, *Estrategia quinquenal de la OMS para la prevención de Lesiones por Accidentes de Tráfico*, Ginebra, Suiza, 2002

[4] Organización Mundial de la Salud, *Facts about injuries. Road traffic injuries*, Ginebra, Suiza, 2002

[5] Luna, L., *Los Sistemas de Información Geográfica: una alternativa para el análisis socioespacial de los accidentes de tránsito. Propuesta metodológica*, Tesis de grado de maestría en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, Ciudad de México, México 1997

[6] Rojas, R., *Seguridad Vial: Algunas consideraciones conceptuales*, Revista MOPT, Vol. 10 No. 1 y 2, San José, Costa Rica, 2002.

CAPÍTULO 1

PARADIGMAS DE LA PREVENCIÓN DE LOS ACCIDENTES

1.1 PARADIGMAS RESPECTO DE LA PROBLEMÁTICA

1.1.1 Concepto de Accidente de Tránsito

Los vertiginosos cambios del entorno mundial han venido configurando la sociedad moderna. Dichos cambios han generado nuevas pautas de interacción entre el ser humano y su medio ambiente. En éste proceso ha sido posible identificar lo que varios autores coinciden en denominar la paradoja del desarrollo, misma que se expresa en nuevas formas de violencia social. [6]

Una de las formas de violencia social más representativa que enfrentan las sociedades modernas son los accidentes de tránsito.

Con el fin de combatir adecuadamente la problemática que se ha planteado, es necesario establecer de forma precisa el concepto de accidente de tránsito, mismo que debiera servir como punto de partida para cualquier intento de atacar la problemática.

Además, en el entendido de que si se desea atacar con buenas probabilidades de éxito una problemática, conviene conocer las más de las características que sea posible de la misma. Acorde con lo anterior, al desarrollar el concepto de los accidentes de tránsito se deben considerar no sólo las características del fenómeno por sí mismo, sino que deben considerarse también tanto los orígenes como las consecuencias –causa y efecto- de la

problemática.

Las consecuencias o efecto del fenómeno quedan claros, pues según la mayoría de las definiciones de accidente de tránsito se trata de “un evento indeseable, involuntario y repentino cuyas consecuencias pueden ser daños mentales, corporales y/o materiales”. En la introducción del presente trabajo de tesis se ha hecho un compendio más detallado de las consecuencias que puede llegar a tener un accidente de tránsito. [1]

22

Como se puede observar, al respecto de las consecuencias del fenómeno nunca ha sido necesaria mayor discusión, sin embargo, en cuanto a la forma de ver el origen de la problemática que es materia del presente estudio, el paradigma que ha privado para muchos autores e investigadores interesados en el tema de los accidentes de tránsito, es el que establece que un accidente es un suceso “violento, eventual, incontrolable y fortuito”. [1]

Lo anterior atribuye, al menos en parte, el origen del fenómeno a una componente azarosa y, al nunca haber logrado establecer un origen concreto como

causa del fenómeno para los accidentes de tránsito, los avances en materia de su prevención han sido pequeños además de haberse caracterizado por ser grandes esfuerzos con escasos resultados cuando al principio de esta discusión se ha manifestado que es posible detectar el origen social de la problemática de los accidentes de tránsito.

Dicho en otras palabras, no se puede prevenir un problema sino atacando las causas del mismo y, si las causas no son tangibles o son fortuitas, no es posible modificarles.

Así en el presente estudio, considerando a los accidentes de tránsito como un fenómeno con sus orígenes en las necesidades de la propia sociedad, se entiende por accidente de tránsito: “todo aquel evento adverso que se manifiesta de forma súbita; puede ser una caída, un choque, una colisión, explosión, u otro; ocurrido en un camino público, en el que se involucra al menos un vehículo en movimiento”.

1.1.2 Factores causantes de los accidentes de

tránsito

Según la definición construida en el apartado anterior, se observa que un accidente tiene su origen en las necesidades sociales que dan sentido a la existencia del Sistema de Transporte.

El Sistema de Transporte, como se menciona en la Introducción, cuenta con cuatro componentes: los usuarios u operarios humanos del sistema, los vehículos, las vías de transporte y las normas que regulan la interacción entre los componentes. Además de esas cuatro partes integrales del Sistema de Transporte, es necesario considerar la existencia del mismo dentro de un entorno físico y socioeconómico. Ambos entornos, físico y socioeconómico, en los que se encuentra el Sistema de Transporte son los que conforman el medio Geográfico de dicho sistema.

Se ha establecido además, que los accidentes de tránsito son el resultado negativo de la manifestación física del Sistema de Transporte, y que es por lo tanto posible, entender al fenómeno de los

accidentes como fallas o distorsiones en la armonía del sistema.

Por otro lado, en innumerables publicaciones así como a través de los medios electrónicos de comunicación, al buscar dentro de lo referente a la estadística de los accidentes de tránsito, es posible encontrar una gran cantidad de datos y cifras que indican las causas más probables de los siniestros y que generalmente establecen una relación directa y biunívoca entre las causas del accidente y uno de los componentes del Sistema de Transporte.

De forma general, en tales medios, los accidentes de tránsito son atribuidos mayormente a los usuarios y/o a los operarios, es decir, la componente humana del sistema; en segundo lugar a los vehículos y en tercer lugar a fallas de las vías de comunicación y/o el medio geográfico.

En este mismo sentido, la tendencia en la mayoría de los estudios hechos bajo esta óptica que se plantea, indican que la distribución de la responsabilidad de los accidentes de tránsito es como sigue: humanos 90%, vehículos 7 a 8% y vialidades - medio 2 a 3%.

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

Sin embargo, en investigaciones de otros autores, aparecen como datos: humanos 65 a 75%, vehículos 20 a 25% y vialidades - medio 5 a 10%. [7]

La razón de tales disparidades muy probablemente radica en el grave error conceptual que induce el considerar la mencionada relación biunívoca entre causas de los accidentes y la falla de uno y sólo uno de los componentes del Sistema de Transporte, dado que, la falla en el Sistema de Transporte bien pudiera deberse a fallas simultáneas en dos o más de los componentes. Así, lo correcto es hablar de *factores* que confluyen para generar los accidentes. [1]

Un factor es una circunstancia que contribuye a un resultado. Sin el factor, el resultado no existiría pero, el factor es un elemento que por sí mismo no puede producir el resultado. Dado lo anterior, el término "factor contribuyente" no tiene sentido, ya que, un factor debe contribuir al estar presente; de otra forma, no es factor. [1]

La definición anterior evidencia una confusión común, dado que en los reportes citados con frecuencia aparecen los términos factor humano,

factor vehículo, factor vía, factor ambiente, etc., empleados al nivel de causantes únicos, cada uno de ellos, de cada accidente. [1]

Para lidiar con lo anterior, muchos otros autores establecen el criterio de llamar a uno de los factores el *factor primario*, para indicar que un factor participó de forma preponderante para generar el accidente. Nuevamente se incurre en un error, pues no pueden haber factores más importantes que otros dado que todos deben estar presentes para producir un resultado. Ningún factor puede ser, por tanto, secundario o menos importante que otro. [1]

El problema se vuelve entonces muy complejo pues determinar todos los factores que confluyen en un accidente llega a ser casi imposible, más si se considera que algunos factores pueden ser modificados de forma temporal y que otras circunstancias son imposibles de conocer dado el sesgo que puede haber al tratarse de un fenómeno inmerso en el ámbito social.

1.1.3 Otros errores al determinar las causas de los accidentes de tránsito

El error de considerar a los accidentes de tránsito como resultado de uno solo de los factores necesarios para que exista el tránsito no es privativo de los encargados de emitir las estadísticas respecto de los accidentes de tránsito. El error puede proceder de quienes levantan los datos del accidente o de los involucrados en el mismo.

Como ejemplos, para un oficial de Policía es conveniente relacionar una violación a algún reglamento directamente con un factor, que a la postre puede considerarse la causa e ignorar otros factores que seguramente también confluyeron. Igualmente alguno de los participantes en un accidente, ya sea un conductor, pasajero o peatón, puede esconder información útil para determinar las causas del accidente en función de evitarse problemas legales. [1]

Otro error conceptual respecto de las causas de los accidentes se encuentra en el hecho de pensar que

tales causas se encuentran inmediatamente cercanas al accidente, tanto en tiempo como en espacio. Por tanto, físicamente se investiga únicamente la escena del accidente y temporalmente se indaga únicamente lo que ocurrió momentos antes del siniestro, cuando las circunstancias que dan causa al accidente pueden localizarse a una distancia considerable. [1]

Como ejemplos pueden citarse el desgaste de materiales o algún retraso que ocasione que un usuario deba incrementar su velocidad para llegar en tiempo a una cita.

Es común que las personas relacionadas con el estudio de los accidentes de tránsito encuentren como muy obvias algunas circunstancias que confluyen al ocurrir un accidente, sin embargo lo más probable es que algún condicionamiento no les permita identificar otras circunstancias que para algún otro investigador pueden ser evidentes. De aquí la necesidad de una intervención de carácter multidisciplinario al investigar en el tema de los accidentes de tránsito.

A este mismo respecto cabe mencionar que, aún cuando también existen una gran cantidad de estudios que van en contra de considerar únicamente al factor humano como causante de los accidentes, se centran en atacar solamente uno de los otros factores.

1.2 PRÁCTICAS EMPLEADAS PARA ENCARAR LA PROBLEMÁTICA

Históricamente, la evolución de las acciones que han buscado procurar la seguridad vial presenta un comportamiento en el que se pueden detectar generaciones.

La primera generación se caracteriza por la falta de una conciencia real hacia la problemática y los conflictos fueron resueltos mediante la construcción de infraestructura vial que proporcionaba secciones más cómodas. Se construyeron así autopistas, carreteras más amplias y rodeos circunvalares a las zonas urbanas; sin embargo, sobre la red vial previamente existente no se hicieron mejoras. Simplemente se trasladó la problemática a otras vialidades menos conflictivas al mover el tránsito a

estas nuevas vías. [6]

En la segunda generación, las acciones toman en cuenta al problema existente mediante una metodología sistemática para eliminar de la red vial los denominados puntos negros. Dichos puntos se identifican con base en la información disponible de los accidentes y se seleccionan los proyectos con la relación costo – beneficio más conveniente. Independientemente de las acciones de la Ingeniería de Tránsito, se incrementa el uso de la legislación y de la aplicación de la ley para influenciar la conducta de usuarios y operarios del Sistema de Transporte. La medida más importante es la de introducir límites generales de velocidad complementados con el control policial. [6]

Un enfoque preventivo más amplio no es considerado sino hasta la tercera generación de acciones para combatir la problemática de los accidentes de tránsito. La tercera generación consideró que, aunque es cierto que las modificaciones deben tener en cuenta la relación costo – beneficio, se logran resultados positivos a través de la sinergia entre acciones de Ingeniería de

Tránsito, información para los usuarios y operarios del sistema y control policial. Lo anterior funciona correctamente cuando se aplica en áreas específicas, tales como exceso de velocidad, conflictos en intersecciones o con grupos vulnerables en las vías, como peatones, ciclistas, niños o ancianos. Se abre la posibilidad de un enfoque multidisciplinario en seguridad vial. [6]

La cuarta generación surge en los noventas y se denomina Seguridad Vial Sustentable. Centra la atención en el desarrollo de un sistema de carreteras definido por la capacidad de los usuarios de las vías. El sistema no puede ser más complejo que lo que el usuario menos capaz pueda sortear de manera segura. [6]

A modo de ejemplo, se presenta uno de los principios: la responsabilidad compartida entre el propietario y el usuario de la vía. El propietario de la vía es responsable por el concepto, diseño y codificación de las carreteras en un ambiente seguro; el usuario de la vía es responsable de obedecer códigos y reglamentos; el propietario de la vialidad tiene la más extensa responsabilidad al prevenir

lesiones, aún cuando el usuario de la vía sea inhábil para enfrentar el código de carreteras.

El concepto de sistema de seguridad vial sustentable se está desarrollando en los Países Bajos y ha sido adoptado por varios países más de la Comunidad Europea. Programas y ejemplos específicos se discuten con más detenimiento en el capítulo 3.

1.3 PRÁCTICAS RECOMENDABLES

Como se ha podido observar, el planteamiento tradicional para encarar la problemática de los accidentes de tránsito ha consistido en hacer recaer la responsabilidad de los mismos en los usuarios de las vías de comunicación y, según se ha mencionado, las políticas de seguridad vial de esta perspectiva han tendido a basarse en la educación y en la supervisión e imposición de la ley. No obstante, se requiere de un planteamiento que reconozca la falibilidad de los usuarios viales y que esté encaminado a reducir la ocurrencia de accidentes diseñando un medio ambiente de tránsito que tenga presentes las

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

limitaciones de quienes hagan uso de las vías.

Bajo el enfoque de Sistemas, cada uno de los componentes del Sistema de Transporte presenta circunstancias que contribuyen a que se presente un accidente de tránsito y/o a la gravedad de las lesiones. Bajo este mismo enfoque, es importante identificar así las fuentes de riesgo para su consiguiente mitigación; por lo tanto, el enfoque abarca a quienes construyen y operan la red vial, así como a quienes construyen los vehículos, además de a los usuarios de las vialidades, como partes igualmente instrumentales para reducir las lesiones por accidentes de tránsito. En el mismo sentido debe considerarse a quienes diseñan, vigilan y aplican la legislación existente en materia de tránsito y, en un sentido más amplio, a todos los sectores de la sociedad que tienen ingerencia en el Sistema de Transporte.

En los países desarrollados cierto número de estrategias y políticas han contribuido a conseguir reducciones espectaculares en cuanto a la ocurrencia de accidentes de tránsito. Sin embargo, como se ha establecido con anterioridad, estas

estrategias no deben transferirse sencillamente a los países en desarrollo. El reto consiste en adaptar y evaluar tales estrategias, o en su defecto, crear otras nuevas adecuadas a la realidad de los países de bajos y medianos ingresos, en particular para aquellos en los que el número de víctimas de los accidentes de tránsito aumenta con celeridad.

Por otro lado, mediante la prevención de las lesiones, los daños físicos consecuencia de los accidentes de tránsito pueden reducirse si se logra el establecimiento de un sistema general y eficaz de terapia del trauma.

Los sistemas de salud pública tienen un importante papel que desempeñar en la prevención de las lesiones por accidentes de tránsito. En particular, su función debe incluir lo siguiente: [4]

- La recopilación de datos acerca de los accidentes fatales y no fatales, propios y en coordinación con otras fuentes, para demostrar las consecuencias de las lesiones en la salud y la economía.

- ▶ La garantía de servicios y rehabilitación adecuada para todos los lesionados.
- ▶ La supervisión y evaluación de las intervenciones encaminadas a brindar seguridad vial.
- ▶ La promoción de un planteamiento sectorial para con la prevención de los accidentes de tránsito.

Se requiere además de una enérgica promoción política. La seguridad vial es una cuestión política que muchas veces entraña tensiones entre diversos sectores de la sociedad. Adicionalmente, se suele adolecer de falta de claridad en cuanto al papel y las responsabilidades exactas de los gobiernos locales, nacionales e internacionales, lo cual entorpece la eficacia y sustentabilidad de las actividades políticas de promoción de la seguridad vial.

El mejoramiento de la seguridad vial requiere de un firme compromiso político por parte de los gobiernos y, además, esta voluntad política debe verse apoyada por la colaboración de otras partes creíbles interesadas en prevenir la ocurrencia de los accidentes de tránsito, por ejemplo asociaciones de

víctimas o fabricantes de vehículos. [4]

Los avances en el combate a la problemática de los accidentes de tránsito requieren también, de una ciudadanía informada, conciente de que las lesiones por accidentes vehiculares constituyen una problemática que se puede prevenir.

Parte de la voluntad política debe reflejarse en programas de seguridad vial, debidamente basados en la legislación nacional y en las convenciones internacionales pertinentes y, además establecidos con una supervisión periódica y con financiamiento explícito e igualmente periódico para que se pueda mantener su intención inicial.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Harris, J. O., *Cause and contributing factors in traffic accidents*, en <http://www.harristechnical.com/articles/cause.pdf>, Port St. Lucie, Estados Unidos de Norteamérica, 1990
- [2] Luna, L., *Los Sistemas de Información Geográfica:*

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

una alternativa para el análisis socioespacial de los accidentes de tránsito. Propuesta metodológica, Tesis de grado de maestría en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, Ciudad de México, México 1997

[3] Matamoros, G., *Elementos que participan en la incidencia de accidentes de tránsito*, en <http://www.cienciaspenales.org/REVISTA%2002/matamoros02.htm>, San José, Costa Rica, 2002

[4] Organización Mundial de la Salud, *Estrategia quinquenal de la OMS para la prevención de Lesiones por Accidentes de Tráfico*, Ginebra, Suiza, 2002

[5] Regidor, E. et al., *Fracaso en el control del número de víctimas por accidentes de tráfico en España. ¿La respuesta correcta a la pregunta equivocada?*, Revista Española de Salud Pública, Vol. 76, No. 2, Madrid, España, 2002

[6] Rojas, R., *Seguridad Vial: Algunas consideraciones*

conceptuales, Revista MOPT, Vol. 10 No. 1 y 2, San José, Costa Rica, 2002.

[7] Sabey, B. E. y Taylor, H., *The Known Risks We Run: The Highway*, TRRL Supplementary Report SR 567. TRRL Ltd., Crowthorne, Reino Unido, 1980

CAPÍTULO 2

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

El origen de los Sistemas de Información Geográfica se remonta a comienzos de la humanidad con la aparición de los primeros mapas. Los mapas más antiguos que se conocen datan de cerca del año 2500 a. C., pero probablemente hayan existido algunos anteriores. Desde entonces el hombre ha continuado mejorando los métodos con los que representa la información espacial. [3]

A mediados del siglo XVIII se utilizaron superposiciones de mapas para presentar el movimiento de tropas; estos pueden ser considerados los comienzos de los SIG. En el siglo XIX, muchos cartógrafos y científicos fueron descubriendo el potencial de las superposiciones para representar varios niveles de información sobre un área. [3]

El primer SIG, bajo la óptica de la actualidad, fue el Sistema de Información Geográfica Canadiense, desarrollado en 1962 por Roger Tomlinson con el objeto de hacer el inventario de tierras del Canadá. En este caso se diseñó un sistema para almacenar mapas digitalizados y atributos correspondientes al territorio canadiense en un formato de fácil acceso. Este SIG aún se encuentra en operación.

Diferentes sistemas empezaron a ser desarrollados para aplicaciones específicas. En 1969, en una publicación de Ian McGarg, que incluía un sistema para analizar varias capas de datos, acerca de la capacidad con respecto del uso de la tierra se discutió la validez de la superposición de capas de datos referenciados espacialmente para la planeación y el manejo de los recursos.

La era moderna de los SIG empieza en los años 70, cuando los informáticos comienzan a programar computadoras para automatizar algunos procesos manuales. Algunas compañías, como ERDAS y ESRI, desarrollaron paquetes de software que permitían la entrada, el despliegue y la manipulación de datos geográficos para crear nuevas capas de información. [3]

Los constantes avances en las especificaciones y en el poder del hardware, así como la disminución de sus costos han hecho la tecnología de los SIG accesible a un amplio rango de usuarios y la tasa de crecimiento de la industria de los SIG, en los últimos años, ha excedido las proyecciones más optimistas.

32

2.1 ¿QUÉ SON LOS SIG?

Con el fin de establecer el concepto de SIG que ha de prevalecer para fines del presente estudio, se hace en este apartado una revisión de la evolución tanto del concepto, como de los SIG en sí. En esta revisión se han considerado las varias definiciones

que han aparecido en el tiempo, así como otros aspectos inherentes a los SIG y que muchas ocasiones se dan por sobreentendidos o no se consideran.

Dentro del campo de los programas de cómputo, los SIG hicieron su aparición en la década de los setenta, cuando el avance tecnológico llegó a ser el suficiente para satisfacer la necesidad de manejar datos espaciales georreferenciados y, aunque para ello era entonces necesario un potente instrumental, se han desarrollado desde aquellos tiempos y hasta nuestros días una gran cantidad de mejoras técnicas que han simplificado e ido popularizando el empleo de este tipo de programas. Adicionalmente, el desarrollo de los SIG ha correspondido en tiempo con el progreso del *hardware* y del *software* computacionales. [1]

El aporte más importante de los SIG, según defienden varios autores, respecto de otros sistemas de información, tiene que ver tanto con el marco de referencia desde donde se organizan: la Geografía, así como con su capacidad para realizar análisis geográficos, por lo que, es el adjetivo “geográfico” el que proporciona singularidad a la herramienta que

por ahora nos atañe. [1]

2.1.1 Definiciones de SIG

En pos de encontrar una definición adecuada para los SIG, es posible encontrar un gran número de definiciones particulares que se pueden englobar, según el respectivo de los tres grandes aspectos a los que normalmente hacen alusión:

- ▶ Los SIG como disciplina o campo de estudio
- ▶ Los SIG como una aplicación tecnológica en proyectos con objetivos específicos
- ▶ Los SIG como paquetes de cómputo

Dado lo anterior, algunos autores establecen que al hablar de Sistemas de Información Geográfica han de hallarse definiciones *globales, funcionales y tecnológicas*. [1]

Por otro lado, las definiciones de SIG han ido cambiando según el concepto que de los mismos ha prevalecido según la época en que tales definiciones

se generaron, pues ha sido el de los SIG, un concepto muy voluble en el tiempo.

En 2001, Arcila [1] se dio a la tarea de recopilar y clasificar varias definiciones de SIG, de las cuales a continuación se presentan las más relevantes de cada clase.

2.1.1.1 Definiciones Globales

Las definiciones globales son aquellas en donde predomina la idea global y abstracta de la técnica. Se atiende a los objetivos generales de la herramienta sin especificar las funciones que realiza ni los métodos concretos que se utilizan.

A continuación se citan algunas de las definiciones globales más relevantes que han aparecido a lo largo de la historia de los SIG

- 1) “Los SIG, más que una tecnología, son un instrumento nuevo de percepción y comprensión del territorio.”

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

- 2) "Un SIG es un intento más o menos logrado según los casos de construir una visión esquemática de una realidad compleja."
- 3) "Un Sistema de Información Geográfica puede ser concebido como una especialización de un sistema de bases de datos, caracterizado por su capacidad de manejar datos geográficos, que están georreferenciados y los cuales pueden ser visualizados como mapas."
- 4) "Una base de datos especializada que contiene objetos geométricos"
- 5) "Un SIG abarca tecnología de la información, gestión de la información, asuntos legales y de negocios, y conceptos específicos de materias de un gran abanico de disciplinas, pero es implícito en la idea de SIG que es una tecnología usada para tomar decisiones en la solución de problemas que tenga al menos una parte de componente espacial"
- 6) "Vemos a un Sistema de Información Geográfica esencialmente como una herramienta para la

investigación urbana y regional, análisis de políticas, simulación de actuaciones y planificación. Un SIG consiste en una base de datos que contiene datos referenciados espacialmente y, que como un LIS (*Land Information System*), tiene una serie de procedimientos para la recogida, actualización y análisis de los datos."

2.1.1.2 Definiciones funcionales

Las definiciones funcionales de los SIG son las que se centran en las tareas que pueden realizar. En principio estos sistemas sirven al objetivo básico de comprender y utilizar datos espaciales. La gran mayoría de las definiciones funcionales, incluidas las que se presentan enseguida, coinciden respecto de las funciones de los SIG y consideran que las mismas son: la introducción, almacenaje, recuperación, análisis, modelado y representación de los datos.

En la actualidad se acepta agrupar las funciones de los SIG en tres grandes apartados: I) entrada y salida, II) manipulación y análisis y III) almacenamiento y

recuperación de los datos.

- 1) “Sistema computarizado que provee los siguientes cuatro conjuntos de operaciones para tratar datos georreferenciados: 1) entrada de datos; 2) uso de los datos (almacenamiento y recuperación); 3) manipulación y análisis; 4) salida.”
- 2) “Software utilizado para automatizar, analizar y representar datos gráficos georreferenciados y organizados según un modelo topológico”
- 3) “Un conjunto de herramientas para reunir, introducir, almacenar, recuperar, transformar y cartografiar datos espaciales sobre el mundo real para un conjunto particular de objetivos.”
- 4) “Conjunto integrado de medios y métodos informáticos, capaz de recoger, verificar, intercambiar, almacenar, gestionar, actualizar, manipular, recuperar, transformar, analizar y mostrar datos espacialmente referenciados a la Tierra.”
- 5) “Un SIG no es simplemente un sistema informático para hacer mapas, aunque pueda crearlos a diferentes escalas, en diferentes proyecciones y con distintos colores. Un SIG es una herramienta de análisis. La mayor ventaja de un SIG es que permite identificar las relaciones espaciales entre características de varios mapas. Un SIG no almacena un mapa en sentido convencional, ni almacena una imagen concreta o vista de un área geográfica. En vez de ello, un SIG almacena los datos a partir de los cuales se puede crear la escala deseada, dibujada para satisfacer un producto. En suma un SIG no contiene mapas o gráficos, sino una base de datos. El concepto de las bases de datos es central para un SIG, y es la principal diferencia entre un SIG y un simple graficador o sistema informático de cartografía, que solo puede producir buenos gráficos.”

2.1.1.3 Definiciones tecnológicas

Definiciones tecnológicas son aquellas que ven a los SIG desde el punto de vista especial que tiene

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

relación con la técnica utilizada; es decir, destacan el uso de la informática como medio para el fin último que es la comprensión de los datos espaciales. Ejemplos de definiciones tecnológicas son los siguientes: [1]

- 1) "Tecnología informática para gestionar y analizar la información espacial."
- 2) "SIG como denominación de bases de datos computadorizada que contiene información espacial."
- 3) "Modelo informatizado del mundo real, descrito en un sistema de referencia ligado a la Tierra, establecido para satisfacer unas necesidades de información específicas respondiendo a un conjunto de preguntas concretas"
- 4) "Sistema digital para el análisis y manipulación de todo tipo de datos geográficos a fin de aportar información útil para las decisiones territoriales."

2.1.2 El Enfoque de sistemas

Se ha indicado con oportunidad en este trabajo de tesis algo de lo que el Enfoque de Sistemas plantea: una serie de componentes que se conjugan en y conforman un Sistema para producir un resultado. Si ha de hacerse referencia a los SIG, ha necesariamente de considerarse, por definición, tal enfoque de Sistemas. Sin embargo, como se observa en las definiciones previas, muchos autores consideran a los SIG únicamente como Sistemas hasta cierto nivel y discriminan algunos de sus componentes. [1]

Para los autores en cuestión, como permiten observar la gran mayoría de las definiciones del apartado anterior, los componentes que integran los SIG no son sino aquellos referentes a la plataforma tecnológica de los programas de computacionales y, en algunos casos, al hardware.

Las definiciones anteriores incluyen de forma tácita al componente de los SIG que conforma la información. En general la información se presenta en forma de datos ordenados en bases. Dichas bases de datos son de diversos tipos, uno de ellos las

geográficas, y constituyen parte fundamental del Sistema de los SIG, pues sin información por procesar no tiene sentido todo el desarrollo tecnológico implícito en los SIG.

Otro de los componentes del Sistema, es el que conforman los desarrolladores, administradores y usuarios finales de los SIG, con todo el bagaje de conocimientos y necesidades inherente a ellos. Así como son aceptados los términos *software* para referirse a los programas computacionales y *hardware* para hacer alusión a las computadoras y periféricos que operan en el Sistema, al componente humano que se cita se le denomina *liveware*. [4], [6]

Son así, acotando, cuatro los componentes de un SIG: hardware, software, liveware y datos; que operan en conjunto para que el Sistema sea funcional. [6]

2.1.3 Concepto de SIG

Habiendo revisado las distintas perspectivas desde

las que se puede ver a los SIG, así como contextualizado a los mismos dentro de la óptica de los Sistemas, es posible establecer el concepto de SIG que se considera válido en la actualidad, y por ende, en el presente trabajo de tesis:

Un Sistema de Información Geográfica es aquel Sistema conformado por hardware, software, liveware y datos, que tiene como objeto la comprensión y análisis de datos espaciales georreferenciados y cuyo fin último es ayudar a las diversas actividades humanas en las que los datos espaciales tienen un papel determinante.

2.1.4 Otros aspectos de los SIG

Además de los aspectos considerados, se deben tomar en cuenta otras características particulares inherentes a los SIG, que si bien no son tan fundamentales como para considerarles parte de la definición de los SIG, deben tenerse presentes siempre que de SIG se trate, pues son indispensables al acotar los alcances y posibilidades que ofrecen los

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

SIG.

Algunas de estas características, mismas que enseguida se enuncian, se encuentran implícitas mas no muy claras en los apartados anteriores y algunas otras se discuten con más amplitud en apartados subsecuentes, esto es, cuando se haga referencia a las funciones y la utilidad de los SIG.

- ▶ El precedente de los SIG se encuentra en la cartografía impresa. Los SIG implican la capacidad de visualización de información geográfica compleja a través de mapas.
- ▶ Es característica de los SIG la funcionalidad como una base de datos sofisticada, en la que se mantiene y relaciona información espacial y temática. Son una tecnología de integración de información.
- ▶ La diferencia de los SIG con las bases de datos convencionales estriba en que toda la información contenida en un SIG está unida a entidades geográficamente localizadas.

- ▶ Se han desarrollado a partir de innovaciones tecnológicas habidas en campos especializados, de la Geografía como de otras ciencias (tratamiento de imágenes, análisis fotogramétricos, cartografía automática, etc.), para constituir un sistema único, más potente que las partes.
- ▶ Los SIG implican un carácter integrador y abierto, que permite unificar la información en una estructura coherente y aplicar a la misma una panoplia variada de funciones que más adelante se discuten con detalle (análisis, visualización, edición, almacenamiento, etc.).
- ▶ Por lo anterior son los SIG el punto en donde confluyen varios tipos de aplicaciones computacionales, destinadas al manejo de información con propósitos y formas diversos, mismos con los que no se debe confundir a los Sistemas de Información Geográfica. Como ejemplos: hojas de cálculo, gestores de bases de datos, programas de diseño asistido por computadora (CAD), programas estadísticos, procesadores digitales de imágenes, programas

de edición y visualización de cartografía y procesadores de texto.

2.2 FUNCIONES DE LOS SIG

Según se ha observado al revisar las definiciones funcionales de los SIG, todas sus funciones pueden ser catalogadas dentro de tres grandes grupos: I) entrada y salida, II) manipulación y análisis y III) almacenamiento y recuperación, todos y cada uno de ellos, referente a los datos. [6]

Así, en el presente apartado, se profundiza en cada uno de dichos grupos al analizar las particularidades de los mismos, tomando como guión las conclusiones que Malczewski [6] obtuvo en 1999.

2.2.1 Entrada y salida de datos.

2.2.1.1 Entrada de datos

La entrada de datos en un SIG es un proceso que se refiere a la identificación y reunión de los datos que

se requieren para una determinada aplicación. El proceso comprende la adquisición, el reformato, la georreferenciación, la compilación y la documentación de los datos. La entrada de datos consiste en la conversión de tales datos desde su estado como material en bruto, u algún otro, a formas que pueden ser útiles para un SIG. Los datos para un proyecto particular, usualmente se encuentran disponibles en varios medios, ya sean analógicos o digitales, en distintos formatos: mapas, tablas, gráficas, fotografías aéreas, imágenes de satélite, resultados de investigaciones, etc. De aquí una de las aportaciones valiosas de los SIG, como tecnología integradora de datos en un formato único y coherente.

Dada la complejidad de los datos, considerando por ende su gran variedad, los SIG permiten la entrada de datos de muy diversas maneras; desde el teclado de las computadoras para la introducción de atributos no espaciales por ejemplo, pasando por dispositivos manuales de localización, como el ratón de la computadora o dispositivos digitalizadores, una tableta por ejemplo; hasta dispositivos automatizados como los escáneres. También pueden

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

introducirse datos por la conversión directa desde otras fuentes digitales, mediante llevar a cabo lo que se denomina una importación de datos.

En general, todos los software de los SIG tienen interfases adecuadas a facilitar la entrada de datos, e incluso, los más recientes, cargan datos de forma directa y sencilla si los mismos están en un formato compatible dentro de una computadora.

40

Digitalización

El proceso de la digitalización consiste en la codificación de datos análogos en datos digitales. Generalmente, este proceso se aplica a datos gráficos y es llevado a cabo empleando una tableta digitalizadora con su correspondiente ratón que, mediante un cursor permite trazar y grabar puntos, líneas y polígonos necesarios para conformar un conjunto de datos.

La digitalización es conveniente cuando la información gráfica que se necesita capturar es poca en cantidad. El inconveniente de este procedimiento,

asumiendo que la información gráfica a digitalizar sea precisa, es el error que puede existir si quien digitaliza la información no es muy hábil trazando de forma consistente por períodos prolongados de tiempo. Si la información gráfica no es precisa, el error puede ser incluso mayor, como en el caso de mapas con escasas bases geográficas, o en el caso de mapas a una escala inadecuada para representar de forma clara lo que el proyecto demanda.

Escaneo

Un escáner convierte información análoga impresa en información digital, normalmente en formato de imagen, aunque en conjunción con el uso de software, un escáner puede llegar a funcionar como digitalizador o llevar a cabo reconocimiento de textos. Generalmente se emplea en SIG para introducir información cartográfica o fotográfica.

En este procedimiento, el no error depende de la calidad del escáner y de la adecuada selección de los parámetros dentro del software del propio escáner. Uno de los atributos a seleccionar de forma correcta

es la resolución; una resolución baja puede redundar en la discriminación de información por falta de detalle; sin embargo, una resolución muy alta puede ocasionar errores al reconocer a imperfecciones en los gráficos a digitalizar como parte de la información. Ejemplos de esto pueden ser, basura en fotos, fibras de papel levantadas o puntos o trazos de tinta en mapas.

Percepción Remota

La percepción remota es una de las principales fuentes de datos para los SIG. Puede definirse como el proceso de reunión de datos a distancia, acerca de la superficie de la Tierra y la atmósfera, generalmente por sensores en o en satélites espaciales. Los sistemas satelitales Landsat y SPOT (Satellite pour l'Observation de la Terre) son los principales proveedores de datos obtenidos mediante percepción remota.

Generalmente la información proveniente de percepción remota debe ser reprocesada, ya sea reducida o simplificada, para que pueda utilizarse en un SIG. Este reproceso incluye, de forma

generalizada, tres fases: procesamiento previo, mejoramiento o adecuación y clasificación de la información.

En el procesamiento previo se eliminan los errores por las distorsiones radiométricas y geométricas que existen al captar los sensores la información. El mejoramiento o adecuación se refiere al tratamiento que se da a la información para que resulte más apropiada según los requerimientos de cada componente del SIG o los fines del proyecto. La clasificación de la información se lleva a cabo generalmente mediante autómatas que agrupan datos similares de acuerdo a criterios preestablecidos o a aquellos que les sean indicados.

Cabe aclarar que las más de las veces la percepción remota devuelve imágenes en formato ráster, el cual consiste de celdas para cada una de las cuales hay un cierto valor de una cierta característica que está siendo percibida de forma remota. En el apartado siguiente se discute con más detalle la estructura de los datos en formato ráster. Por lo general, en el formato ráster ese cierto valor de las características se asocia a un determinado color, por lo que al

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

conjuntarse celdas con valores distintos, se obtienen imágenes digitales.

Sistemas de Posicionamiento Global (GPS)

Otro tipo de tecnología de información geográfica que es importante para la entrada de datos a un SIG es la que constituyen los Sistemas de Posicionamiento Global o GPS por sus siglas en inglés.

Un GPS opera a través de una constelación de satélites que orbitan alrededor de la Tierra. Los satélites emiten de forma constante una señal con información de la hora de los relojes atómicos montados en ellos y son empleados para, mediante una triangulación geométrica al decodificar dicha señal, conocer las coordenadas exactas de un punto sobre la corteza terrestre o en la atmósfera. Lo anterior se logra al comparar la diferencia en hora entre aquella de los relojes de los satélites con la hora del reloj del propio decodificador, pues se puede determinar así la distancia existente entre el decodificador y cada uno de los satélites.

Si un decodificador puede conectarse a la vez a más de un conjunto de tres o cuatro satélites, los necesarios para una sola triangulación, es decir, hacer dos o más triangulaciones a la vez, el error en la precisión de las coordenadas obtenidas mediante GPS puede ser tan pequeño como del orden de un centímetro.

Intercambio y deferencia de datos

Una manera sencilla, que es práctica común para obtener datos de entrada para un SIG, es a través de intercambiar o compartir los mismos con otras Instituciones que se dediquen a los SIG. Rara vez las Instituciones gubernamentales o privadas son renuentes ante un intercambio de datos dado la complejidad implícita en la adquisición de los mismos y algunas veces, la misión de dichas Instituciones es el generar información útil para los SIG. Algunas otras Instituciones venden copias de los datos.

El intercambio o la deferencia de los datos puede realizarse, físicamente por medios magnéticos o

digitales como discos o barras de memoria, o bien, a través de redes de cómputo, incluyendo la Internet. A este último respecto, existen en Internet una buena cantidad de sitios dedicados a distribuir datos para SIG, gratuitos o en venta.

En todos los casos, es recomendable validar la calidad de la información que cada Institución ofrece. En general, la calidad necesaria de los datos depende de los fines que se persigan y, la misma normalmente es función de su precisión y su exactitud en comparación con la realidad; su validez temporal y del hecho de que se trate de información completa en mayor o menor medida.

2.2.1.2 Salida de datos

Los componentes para la salida de datos de los SIG, generalmente proveen de medios para visualizar los datos en cualquier etapa del proceso de los mismos. Las salidas pueden ser generadas como entidades físicas, es decir, copias impresas o maquetas tangibles; o bien, como datos almacenados en medios magnéticos o en formatos electrónicos.

De acuerdo con lo anterior, los datos de salida deben pertenecer a alguno de los cuatro tipos siguientes: 1) Textos, 2) Gráficos, 3) Multimedia y 4) Datos digitales. Así, por funciones de salida de los SIG se tienen específicamente la demostración y la transferencia de los datos.

Los dispositivos de salida, al igual que los de entrada, son muy variados. La variedad incluye a los monitores de las computadoras, plóters, impresoras, quemadores de discos, unidades de disquete, barras de memoria, subprogramas visores de datos, considerados aquellos de multimedia, así como a las redes internas y a la Internet.

Los datos de salida, particularmente en el caso de los mapas, son por lo general susceptibles de ser manipulados, por interfases que la gran mayoría de los programas de cómputo de los SIG incluyen, de forma que muestren la información deseada de la manera que se adecue mejor a lo que se pretende representar; esto es, con leyendas y colores claros, con títulos y tipografías definidos, así como con gráficos de apoyo de varios tipos, como barras de

escala, simbologías e indicadores de nortes geográficos en el caso de los mapas.

2.2.2 Almacenamiento y recuperación de datos

Las funciones de almacenamiento y recuperación de los datos dentro de un SIG, se refieren a la forma en que los componentes del mismo guardan y hacen la retroalimentación con los registros en bases de datos. Los métodos empleados para implementar estas funciones afectan directamente a la eficiencia con la que el sistema opera con los datos.

Dada su naturaleza: el manejo de datos, la gran mayoría de los SIG están orientados a bases de datos y por lo tanto contienen un componente que redundante en un Sistema de Gestión de Bases de Datos (SGBD). A su vez una base de datos se puede definir como: “una colección de uno o más registros de datos almacenados en una forma estructurada y que contienen información no redundante, de modo que las relaciones que existen entre los distintos registros o conjuntos de datos pueden ser usadas

por un sistema de gestión para manipular o recuperar los mismos.”

Según se ha establecido, los datos con los que opera un SIG, son muy variados; no obstante, casi todos los tipos de datos que entran en juego dentro de un SIG son susceptibles de ser manejados con propiedad dentro de cualquier SGBD ajeno e incluso previo a la existencia de los SIG. Sin embargo, la excepción la constituyen los datos espaciales, es decir, aquellos por los cuales los SIG adquieren su peculiaridad al ser capaces de manejar Información Geográfica.

Si se considera que lo que se desea hacer en un SIG es analizar la realidad geográfica a partir de datos espaciales, el planteamiento de solicitar a esos datos que representen el mundo real por sí mismos, sin considerar atributos adicionales a ellos, resulta ser demasiado complejo incluso para los programas computacionales más nuevos y capaces de manejar bases de datos. Así, se distingue entre esos datos que requieren de cierto tratamiento adicional, los datos espaciales y aquellos datos que representan fielmente algo por sí solos, los datos no espaciales, que, como ocurre en la práctica de los SIG, funcionan

como accesorios de los datos espaciales.

En referencia con el tratamiento adicional mencionado en el planteamiento del párrafo anterior, y partiendo de la definición de modelo: “representación simplificada de la realidad, que refleja lo fundamental de esta, ignorando los detalles accesorios”, se puede establecer que, un modelo de datos computacionales es el conjunto de reglas utilizadas para representar la variedad del mundo real como un conjunto finito de datos discretos, susceptibles de manipulación mediante equipo y programas de cómputo.

En consecuencia, es posible deducir que todos los SIG están fundamentados en algún modelo que representa la realidad geográfica mediante datos espaciales, es decir, un modelo de datos.

2.2.2.1 Modelos de datos

El paso de la realidad geográfica a una representación o modelo digital, supone el tránsito entre niveles de abstracción, que van de lo general y

complejo que es el mundo real, a lo particular y simple, pero sumamente abstracto del medio de la computación. Los niveles de abstracción a considerar son los siguientes:

- I) **Realidad perceptible.** Nivel entendible por cualquier individuo.
- II) **Modelo conceptual.** Nivel de los científicos que desarrollan, verifican o aplican teorías o hipótesis sobre variables y procesos que tienen lugar en la realidad.
- III) **Modelo lógico.** Nivel de los técnicos que utilizan las herramientas de un sistema, los SIG en este caso, para implementar las tareas sugeridas por los científicos.
- IV) **Modelo digital.** Nivel de informáticos y desarrolladores de software cuya misión es ampliar el repertorio de herramientas para cumplir con el máximo número de necesidades.

Dado que uno de los objetivos dentro del presente trabajo de tesis se refiere a la aplicación de los SIG para validar una hipótesis, en este apartado se presentan con detalle los modelos conceptuales y lógicos correspondientes al tránsito de la realidad

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

geográfica hacia los SIG y, de forma muy somera, los modelos digitales, pues entrar al detalle en tal materia es objeto de otro tipo de estudios.

Modelos conceptuales

Un modelo conceptual de la realidad geográfica es una forma teórica y abstracta, en un nivel mental, de entender el mundo real.

46

Para entender la realidad geográfica, reduciéndola a un espacio de dos dimensiones como un mapa o aquel que será útil dentro de un SIG, se han desarrollado a la fecha dos modelos mentales, en principio contradictorios: como un medio continuo en donde cambian las propiedades o como la sucesión de objetos yuxtapuestos.

El primero y más simple de los modelos establece que el espacio geográfico es un medio continuo, semejante a una superficie formada por una sucesión ordenada de superficies más pequeñas, sobre la cual los valores de cualesquiera de las variables alusivas a características geográficas; por

ejemplo altitud, tipo de vegetación, densidad de población; van cambiando intrínsecamente, de forma gradual y en correlación directa con la posición en el espacio. Se pueden generar superficies a partir de cualquier variable que cumpla con el requisito mínimo de la continuidad espacial.

Bajo este enfoque, es difícil determinar la existencia de objetos, pues en cada punto del territorio los valores de cada variable son distintos y, al no disponer de un valor para cada punto, sino que se tiene el valor para la totalidad de una superficie, que por diminuta que sea nunca es igual que un punto, es necesario realizar estimaciones. Por lo general se recurre a técnicas de interpolación.

El segundo modelo conceptual postula que el espacio geográfico está recubierto en su totalidad por la yuxtaposición de entidades discretas u objetos con límites definidos, cada uno con características propias y homogéneas, y además, dependientes de su propia naturaleza y no de su posición en el espacio geográfico. En todo caso, dicha ubicación geográfica es una característica adicional de los objetos.

A depender de la escala, cualquier objeto del mundo real puede representarse dentro de alguno de los siguientes tres niveles de dimensionalidad, propios de la geometría euclidiana:

- ▶ **Puntos.** Son objetos geométricos de dimensión cero y cuya localización espacial se representa por un par de coordenadas (x,y).
- ▶ **Líneas.** Son los objetos geométricos de dimensión uno y su localización geográfica se representa como una sucesión de puntos o pares de coordenadas llamados vértices, salvo el primero y el último llamados nodos.
- ▶ **Polígonos.** Objetos geométricos de dimensión dos. Se representan por objetos lineales en los que ambos nodos coinciden en el mismo punto, es decir, se trata de líneas cerradas.

Cabe mencionar que pueden existir objetos compuestos, que son producto de la combinación de dos o más objetos de cualesquiera de los tipos.

A priori, las características de todo objeto geográfico se pueden clasificar dentro de 6 categorías:

- I) **Identificador.** Se trata de la variable con un valor único que distingue a un objeto dentro de un conjunto de objetos del mismo tipo.
- II) **Posición.** Indica la ubicación del objeto en el espacio bidimensional. Implícitamente indica también su dimensión y su forma. Cada objeto tiene en función de su dimensionalidad una serie de propiedades espaciales de tamaño y forma directamente extraíbles de su codificación espacial: los objetos puntuales tienen únicamente una posición; los objetos lineales tienen magnitud, dirección y sentido (son vectores); y los objetos poligonales tienen área, perímetro, elongación máxima y diversos índices calculables a partir de los atributos anteriores.
- III) **Propiedades espaciales.** Son variables cuantitativas medidas en magnitudes espaciales que indican algún aspecto difícil de representar de la extensión espacial de los objetos, debido ya sea a la escala de trabajo o a tratarse de una magnitud en una dimensión superior.

- IV) **Propiedades no espaciales.** Son variables cualitativas o cuantitativas que se relacionan con el objeto pero que no tienen que ver con el espacio. Resultan de mediciones o descripciones. Pueden ser constantes o variables en el tiempo y nuevas propiedades pueden obtenerse a partir de operaciones sobre las propiedades ya conocidas.
- V) **Relaciones con el entorno.** Todos los objetos tienen relación con su entorno, es decir, con los objetos a su alrededor. Estas relaciones pueden ser de tipo puramente topológico o de tipo físico. En general dichas relaciones se refieren a la conectividad y la adyacencia de los objetos entre sí, así como a la continencia de los objetos dentro de otros. Las relaciones con el entorno pueden codificarse de forma explícita en el registro de la base de datos asociado al objeto, o bien, estar implícita en la codificación de su localización espacial. Estas relaciones son las que definen la existencia o inexistencia de objetos compuestos.
- VI) **Metainformación.** Se trata de información acerca de la información y en algunos casos es imprescindible, así que en todos los SIG se incorpora. En general, se refiere a la forma en

que fueron obtenidos los datos, la definición de los objetos y atributos, la calidad de los datos, los parámetros de su representación cartográfica, etc.

Modelos lógicos. Tipos de SIG.

Un modelo lógico hace referencia a la forma en que se muestrean y organizan las variables que definen las características del medio geográfico para lograr una representación adecuada y acorde con uno de los dos modelos conceptuales.

A la fecha, se han desarrollado cuatro modelos lógicos, que aparecen en la figura, correspondientes al primero de los modelos conceptuales analizados:

- ▶ Malla de puntos
- ▶ Red irregular de triángulos (TIN)
- ▶ Isolíneas
- ▶ Ráster o cuadrícula regular

El problema fundamental de los tres primeros

modelos lógicos radica en que no representan la totalidad del espacio geográfico, por lo que requieren de una interpolación compleja para conocer el valor de una variable en un punto concreto. El modelo ráster cubre la totalidad del espacio, permitiendo la obtención inmediata del valor de la variable asociado a un punto.

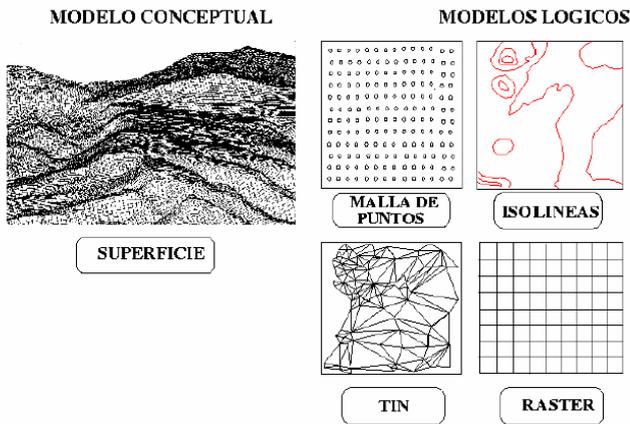


Figura 2.1. Modelos lógicos correspondientes al primer modelo conceptual.

Por lo anterior, es el modelo ráster el que prevalece para llevar el modelo conceptual del medio continuo

al nivel de los modelos lógicos.

En cuanto al modelo conceptual que considera objetos independientes, se han desarrollado dos modelos lógicos principales, ambos conocidos como modelos vectoriales: el modelo arco – nodo y el modelo orientado a objetos.

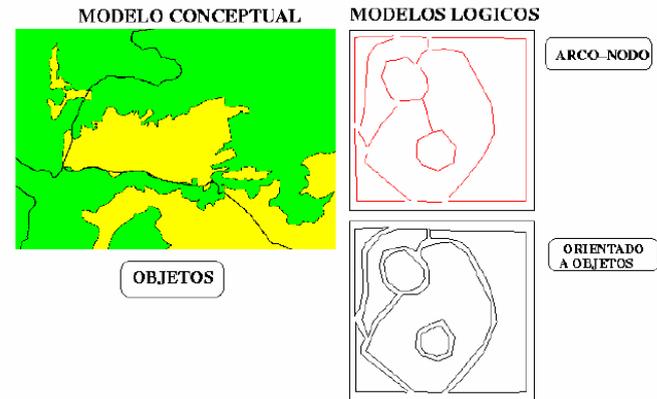


Figura 2.2. Modelos lógicos correspondientes al segundo modelo conceptual.

La diferencia entre ambos radica en que en el modelo arco – nodo, los elementos lineales se codifican una sola vez y los polígonos se construyen

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

mediante la yuxtaposición de líneas y en el modelo orientado a objetos, los polígonos se codifican como líneas cerradas, aunque los polígonos adyacentes empleen tramos de líneas en común.

el que más facilita las operaciones dentro de los SIG dado que ahorra una cantidad considerable de memoria computacional. El modelo orientado a objetos es menos eficiente pero mucho más adecuado a la modelación. Así, la única razón para el empleo del modelo arco – nodo ha sido la escasez de recursos informáticos, sin embargo, dados los progresos en hardware y software, actualmente se considera al modelo orientado a objetos como el que ha de prevalecer dentro de los modelos vectoriales.

50

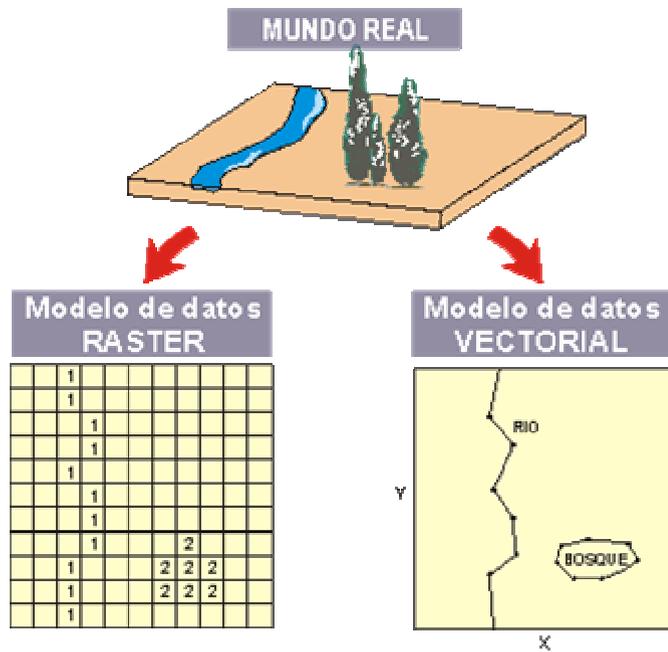


Figura 2.3. Forma de representar la realidad según los modelos lógicos ráster y vectorial.

Por lo anterior, de los dos modelos es el arco – nodo

En síntesis, se observa que cada uno de los dos modelos conceptuales tiene su correspondiente modelo lógico prevaleciente.

Continuando en la línea de aterrizar en el nivel de los modelos digitales, aquel de los desarrolladores de los programas de cómputo, cada uno de los dos modelos lógicos prevalecientes se ha traducido en software especializado. Se habla entonces de dos tipos de SIG: ráster y vectoriales.

El debate acerca de la conveniencia de uno u otro enfoques ha dado lugar a una abundante

bibliografía, a partir de la cual se puede concluir que la decisión entre uno u otro modelos debe, en todo caso basarse en el tipo de estudio o enfoque que el objetivo del proyecto requiera, sin perder de vista el tipo de software y datos que se encuentren disponibles.

Para la representación de objetos resulta más adecuado el uso de un SIG vectorial, sin embargo para el caso de considerar fenómenos continuos en el espacio, el modelo ráster tiene la ventaja de facilitar la respuesta a preguntas acerca de posiciones geográficas concretas.

Las ventajas del modelo ráster incluyen la simplicidad, la velocidad en la ejecución de operaciones con los datos y el ser congruentes con el modelo de datos que utilizan las imágenes de satélite o las fotografías aéreas y los modelos digitales del terreno. Adicionalmente la modelación y la interpolación son más eficientes en formato ráster. El modelo vectorial aventaja al modelo ráster en que la precisión está limitada únicamente por la calidad de los datos originales, asimismo es más eficiente en el almacenamiento de los datos y en algunos procesos

de análisis espacial por la topología explícita. La salida de datos es mucho más clara en formato vectorial.

De entre las desventajas del modelo ráster destaca el que su precisión depende en gran medida de la resolución de los datos, e incluso, trabajando con datos de fuentes distintas, son los de peor resolución los que rigen la calidad del proyecto. Otras desventajas del formato ráster radican en la gran cantidad de memoria necesaria para el almacenamiento de los datos, máxime si se desea una mejor resolución; en la escasa compatibilidad del formato con los dispositivos de salida, es decir, es poco apto para el trazo de líneas; así como en el hecho de que algunos tipos de análisis como el de redes y las transformaciones de proyecciones cartográficas son muy difíciles de llevar a cabo.

La principal desventaja del modelo vectorial es el ser inadecuado para el análisis de superficies o fenómenos como medios continuos, incluyendo imágenes escaneadas o procedentes de percepción remota.

Finalmente, cabe mencionar que cualquier fenómeno puede ser modelado exitosamente en cualquiera de los dos formatos dependiendo de la habilidad de los operadores del SIG, así como de la disponibilidad de hardware y software adecuados. Por otro lado, parte de la tendencia actual en la gran mayoría de la paquetería de los SIG consiste en facilitar la conversión de datos de un modelo a otros, esto significa que los datos ráster pueden ser vectorizados y viceversa. En tal caso, se debe tener en mente que, siempre que se hace un cambio de formato están presentes de forma necesaria ciertas pérdidas de información.

52

Modelos digitales o estructuras de datos

Entrar en el detalle de describir lo que son los modelos digitales que corresponden a los modelos lógicos ráster y vectorial, implica prácticamente referirse al manual de algún paquete computacional de forma casi íntegra; así, respecto de los modelos digitales únicamente se hace mención de elementos muy básicos y que son comunes a todos los casos particulares de software.

En el caso de los programas en formato ráster, al estar basados en una cuadrícula, todos los cálculos se hacen considerando el número de celdas y el tamaño de las mismas, así como las coordenadas de una de las esquinas de la cuadrícula. Es importante también la conexión con una tabla de colores que establezca el color que ha de asignarse a cada celda, dado que la diferencia de colores es la que indicará la diferencia en el valor de cierta característica para cada celda o porción de la superficie. Para el manejo de variables cualitativas, es necesaria la interrelación con una base de datos que asocie a cada celda una cadena de caracteres.

Para la solución como software del modelo vectorial, lo más común es el empleo del modelo relacional de bases de datos, el cual relaciona uno a uno aquellos registros en varias bases de datos para los que hay un campo cuyo nombre y valor son comunes. Así se tiene en la mayoría de los SIG vectoriales un cierto número de bases de datos; el necesario para ordenar en una estructura congruente los atributos de posición, propiedades espaciales, propiedades no espaciales, relaciones con el entorno y la metainformación correspondiente a cada objeto.

Generalmente el identificador del objeto es el campo común en todas las bases de datos.

De forma común a ambos tipos de SIG, tanto en los ráster como en los vectoriales, es frecuente la organización de la información en mapas temáticos que definen lo que se denominan capas, coberturas, o niveles. Una capa es un conjunto de datos que describen una característica geográfica para cada locación dentro de un territorio determinado.

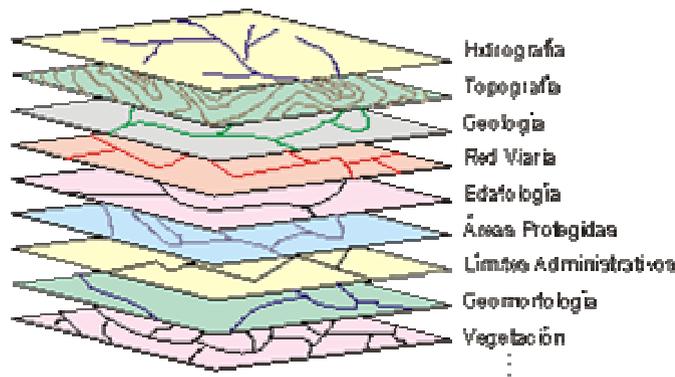


Figura 2.4. Organización de la información en capas.

Una buena analogía es pensar en las capas como si

se tratase de transparencias que pueden ser superpuestas hasta conjuntar todos los elementos que se desea que aparezcan en un mapa. De tal suerte que en casi todos los SIG, la secuencia de capas comienza con un nivel de referencia, o nivel geodésico, sobre el cual las demás capas describirán su información específica, útil para la aplicación en turno.

Cada capa contiene información de una naturaleza particular por lo que, una capa generalmente representa información de un tipo de entidad particular, o bien, de un grupo de entidades conceptualmente relacionadas; sin embargo, lo anterior no implica que no se puedan mezclar la información de capas distintas entre sí, o para generar nuevas capas. Normalmente cada capa puede ser visualizada, manipulada y analizada de forma individual o en combinación con las otras capas almacenadas en alguna base de datos del SIG.

Para asegurar que la información de las capas se sobrepone correctamente, la práctica común consiste en georreferenciar las capas, esto es, a la posición de los datos en el espacio de la capa se le

relaciona con algún sistema común de coordenadas de referencia, como el sistema de proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) u otras proyecciones geográficas o cartográficas. Cuando no se especifica un sistema común de coordenadas, normalmente los paquetes de los SIG hacen la asunción de que se emplean coordenadas de latitud y longitud geográficas, o bien, se asignan unidades gráficas arbitrarias.

54

La precisión al georreferenciar los datos tiene un impacto muy significativo en la validez del análisis a efectuar mediante el SIG. Por ello, la mayoría de los paquetes permiten llevar a cabo lo que se denomina Geocodificación, que es una operación que relaciona los registros de una base de datos con registros similares en otra base de datos previamente georreferenciada, resultando de ello la georreferenciación de la primer base de datos.

Una diferencia entre las capas dentro de un SIG ráster y aquellas propias del modelo vectorial radica en la particularidad de que en estas pueden haber espacios vacíos, es decir sin objetos que mostrar, a diferencia de las capas ráster en las que debe

asignarse un valor, aunque sea cero, a todas y cada una de las celdas.

Por último, otra diferencia a considerar entre las capas en ráster y su contraparte en formato vectorial, es la similitud entre las capas ráster pues todas deben tener como base la misma cuadrícula regular, en contraposición con el hecho de que en formato vectorial, generalmente cada capa contiene información relativa a objetos de un solo tipo, es decir puntos, líneas o polígonos.

2.2.3 Manejo y análisis de datos

Se ha establecido que la característica distintiva de los SIG es su capacidad de realizar un análisis integrado de datos espaciales y no espaciales. El análisis integrado que se menciona sugiere la manipulación de los datos y permite obtener información útil para una aplicación particular.

Hay un vasto número de operaciones analíticas disponibles para quienes operan los SIG y, aunque se

han intentado varias clasificaciones para estas operaciones, a grandes rasgos se les puede clasificar como funciones de los SIG en dos categorías: funciones fundamentales o básicas y funciones avanzadas, ambas de manejo y análisis de los datos.

La distinción anterior se basa en la generalización con la cual las funciones pueden utilizarse dentro del universo de los análisis espaciales. Las funciones fundamentales son aquellas útiles de forma común para la gran mayoría de aplicaciones. Igualmente son más genéricas que las funciones avanzadas en cuanto a que se encuentran disponibles en una gran variedad de software de SIG para las diferentes estructuras de datos.

A continuación se presentan las funciones más útiles y representativas para el análisis espacial multicriterio, que es el objeto del presente estudio; sin embargo, la enumeración completa de las funciones de análisis y manejo de datos de los SIG puede hallarse en bibliografía especializada en los SIG como tales.

2.2.3.1 *Funciones fundamentales*

Entre las funciones fundamentales se cuentan a las siguientes: medición, clasificación o reclasificación, operaciones escalares, operaciones de superposición y operaciones de conectividad y vecindad. La gran mayoría de paquetes comerciales de SIG, si no es que todos tienen la capacidad de ejecutar las mayoría, o bien la totalidad, de las operaciones enunciadas.

Funciones de medida

Las funciones de medida permiten los cálculos asociados con puntos, líneas, superficies o volúmenes. Los cálculos más simples son los conteos, ya sea del número de puntos contenidos en una línea o en un polígono, o bien de las líneas que hay dentro de cierta superficie. En el siguiente nivel de complejidad respecto de los cálculos se encuentran la determinación de distancias, áreas o volúmenes. Las distancias se pueden medir sobre líneas rectas, curvas o mixtas; de igual forma y las áreas y volúmenes se pueden medir sobre polígonos o sólidos regulares o irregulares.

Funciones de clasificación y/o reclasificación

Las operaciones de clasificación y reclasificación, de forma general consisten en agrupar a los objetos o a las celdas, en clases de acuerdo con criterios sobre los atributos espaciales o no espaciales. La clasificación implica el reconocimiento de patrones y la reorganización de los datos que se consideran para un análisis particular. Los procedimientos de clasificación o reclasificación se pueden separar en dos categorías: aquellos relativos a atributos temáticos de los objetos o celdas en las capas y los basados en las propiedades topológicas de las entidades de cada capa.

Cuando la base son los atributos temáticos, normalmente se trata de separar a los atributos de acuerdo con criterios comparativos, es decir, dependiendo de si el valor del atributo asignado a la celda o al objeto es mayor, menor, igual, mayor o igual, o bien, menor o igual que cierto valor. Se pueden combinar criterios para establecer intervalos para la nueva clasificación.

La otra forma de clasificación o reclasificación se

trata del reordenamiento de los objetos o celdas de acuerdo con criterios que hacen referencia a su posición, contigüidad, tamaño, forma o a algún otro patrón espacial.

Funciones escalares

Otro tipo de funciones básicas lo constituyen las operaciones escalares. Esta clase de operaciones hacen uso de la información numérica de los datos, ya sea referente a atributos espaciales o no, y aplica operadores matemáticos básicos, como la adición, la sustracción, la multiplicación, la división y la potenciación sobre ellos. Los datos numéricos se toman de una capa, uniforme y simple, asociada a los objetos o celdas de cada capa del mapa, y que se modifica cada vez que se opera con uno o todos de sus elementos.

Funciones de superposición

Las operaciones de superposición generan una nueva capa o capa de salida a partir de dos o más

capas de entrada. Dependiendo de la naturaleza de los datos asociados a las capas de entrada, las operaciones de superposición pueden ser de los siguientes tipos: aritméticas, lógicas, o probabilísticas. Los datos de las capas de entrada deben ser congruentes en cuanto a su georreferenciación, razón por la cual los SIG llevan a cabo funciones de preparación o de procesamiento previo a la superposición de los datos.

La superposición aritmética considera las siguientes operaciones, aplicables a los datos de una capa en función de los de otra u otras: adición, sustracción, multiplicación, división, promedio, potenciación, orden, mínimo y máximo.

Las operaciones lógicas o álgebra Booleana que desempeñan los SIG son: la intersección (criterio lógico Y), la unión (criterio lógico O) y el complemento (criterio lógico NO). Las operaciones lógicas pueden llevarse a cabo sobre variables que adquieren únicamente uno de dos estados, es decir, ausencia o presencia, falso o verdadero y en términos computacionales, 0 o 1.

Las funciones de superposición pueden realizarse de igual forma sobre los datos de capas que contengan o adquieran valores probabilísticos, esto es, si se desea llevar a cabo un análisis bajo condiciones de incertidumbre y, de acuerdo con las tres leyes básicas de la probabilidad se tienen las definiciones para la intersección, la unión y el complemento:

- ▶ Intersección: $P_{A \cap B}(x) = P_A(x) P_B(x)$
- ▶ Unión: $P_{A \cup B} = [P_A(x) + P_B(x)] - [P_A(x) P_B(x)]$
- ▶ Complemento: $P \cdot P_A(x) = 1 - P_A(x)$

Para efectuar estas operaciones es requisito que los eventos A y B sean independientes entre sí y en el caso de los SIG, A representa un atributo de una capa de entrada y B representa otro atributo en otra capa.

Funciones de conectividad

Se llevan a cabo con base el concepto de conectividad, que a su vez depende del modelo lógico que el SIG emplee. En el caso de los SIG vectoriales, la conectividad se refiere a la contigüidad

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

de puntos, líneas y polígonos entre sí y es una de las propiedades descritas como parte de la topología. Para el modelo ráster, la conectividad describe el hecho de que dos píxeles sean o no contiguos y si lo son, el tipo de conexión que existe entre ellos es relevante.

Las operaciones de conectividad incluyen a funciones tales como el análisis de proximidad, el análisis de buffers, el análisis de propagación y el análisis de redes.

58

Las funciones de proximidad consisten en la generación de áreas circundantes y equidistantes a uno o un grupo de entidades, con lo cual la distancia no se mide directamente entre dos puntos, sino que es producto de un conteo del número de áreas concéntricas y de la magnitud de las mismas, que hayan entre ambas entidades.

El principio sobre el cual funciona el análisis de buffers es el mismo, pues un buffer se define como un área equidistante que se traza alrededor de una entidad. La diferencia de los buffers con el análisis de proximidad radica en que, al trazar los buffers,

normalmente el operador del SIG indica la magnitud de las áreas equidistantes y en el análisis de proximidad, por lo general, es el software quien hace la indicación de forma automática.

Una aplicación específica del análisis de proximidad es el trazo de los Polígonos de Thiessen, procedimiento mediante el cual se relaciona cada locación en el mapa con la entidad más cercana según distancia euclidiana, permitiendo definir las áreas de influencia de cada entidad.

El análisis de propagación es una extensión y generalización del análisis de proximidad. Se basa en la distancia que se obtiene al contar el número de desplazamientos necesarios para llegar del centro de una celda al de otra. Se emplean celdas cuadradas de tamaño uniforme, con el fin de determinar que; el movimiento hacia una celda en la misma columna o en el mismo renglón tiene un costo de 1, y el desplazamiento a una celda en diagonal cuesta 1.41. Las distancias generadas mediante este procedimiento sirven como entrada a las operaciones de propagación y la capa que definen dichas distancias se conoce como superficie de

fricción o acumulación.

Otra clase de funciones de conectividad se relaciona con el análisis de redes. Las operaciones del análisis de redes en los sistemas ráster están muy ligadas a procedimientos de proximidad, tales como la propagación.

Aún cuando el análisis de redes es factible en los SIG ráster, es en los SIG vectoriales, al prever estos la existencia de objetos, mucho más sencillo y preciso modelar las redes como conjuntos interconectados de arcos o elementos lineales, que parten desde o llegan hacia nodos o elementos puntuales. Por lo anterior, la gran mayoría de los paquetes de SIG vectoriales incluyen poderosos módulos de análisis de redes.

Funciones de vecindad

El último grupo de operaciones básicas es aquel al que corresponden las operaciones de vecindad. Este tipo de operaciones consiste en asignar valores a una locación, de acuerdo con las características de su

área circundante, esto es, el valor para cada objeto o cada celda en la capa de salida es función de valores independientes en las entidades cercanas o vecinas, de la capa o las capas de entrada, dentro de un área definida normalmente por el operador. Los dos subgrupos principales de operaciones de vecindad son los que constituyen las operaciones de búsqueda y las operaciones de superficie.

Las operaciones de búsqueda consisten en, conocidas la locación y su vecindad, la aplicación de una operación algebraica o estadística a las locaciones dentro de la vecindad. El valor resultante se aplica a todas las locaciones dentro de la vecindad. Las operaciones más comunes son: sumatoria, media, moda, varianza, desviación estándar, mínimo, máximo, número de clases, número de pares, número de celdas u objetos distintas a la entidad objetivo, fragmentación o cociente de número de clases entre el número de celdas u objetos.

Para los SIG vectoriales, las operaciones de conteo de elementos puntuales o lineales dentro de un polígono, pueden considerarse, además de operaciones de superposición, casos particulares de

las operaciones de vecindad.

Las operaciones de superficie consisten en calcular características topográficas, tales como el aspecto o la pendiente, en una superficie, desde un modelo digital de elevaciones. La mayoría de los SIG ráster incluyen módulos que hacen los cálculos de aspecto y pendiente de forma automática y son más eficientes para ello que los SIG vectoriales, pues estos no tienen los atributos de elevación capturados como si se tratase de un medio continuo. Sin embargo, los SIG llevan a cabo las funciones de superficie con base en interpolaciones, que consisten en, a partir de los valores de alguna característica en lugares conocidos, determinar los valores de una variable para los lugares en los que no se conoce.

Se puede realizar la interpolación de formas sencillas, como ejemplo por regresión lineal, o bien, mediante el empleo de procedimientos más complejos como la regresión polinomial, el análisis de tendencia superficial o el kriging. Así, la interpolación es otra de las funciones básicas que permiten los SIG.

2.2.3.2 Funciones avanzadas

Las funciones fundamentales discutidas en el apartado anterior han sido consideradas por diversos autores como “operaciones analíticas primarias”, “primitivas en el manejo de datos espaciales” o “herramientas de los SIG”. A pesar de estar incluidas en la mayoría de los paquetes, las funciones antes descritas no dejan de ser sino operaciones geométricas de bajo nivel y pueden concebirse como simples herramientas que construyen y describen las relaciones entre las entidades del espacio geográfico.

Con el fin de ser útil para la toma de decisiones espaciales, los SIG tienen la capacidad de hacer la manipulación estadística y matemática de los datos con base en modelos teóricos. Este tipo de manipulación es la que constituye las funciones avanzadas y desde la perspectiva del análisis multicriterio, las funciones avanzadas de los SIG pueden pertenecer a una de las dos categorías siguientes: funciones de modelado geoestadístico o funciones de modelado matemático.

Funciones de modelado geoestadístico

Para referirse al modelado geoestadístico, resulta conveniente establecer la diferencia entre la estadística convencional y la estadística espacial o geoestadística. La estadística convencional se basa en variables aleatorias e independientes para las que se asume cero continuidad y que además son válidas únicamente para un cierto punto sin extensión. El asociarlas a un área ya constituye una asunción.

La estadística convencional puede emplearse para el análisis de datos espaciales, sin embargo, no se consideran ciertos aspectos de la naturaleza de los datos geográficos. La estadística espacial parte de asumir que, las locaciones adyacentes están relacionadas entre sí de forma espacial. Por tanto, la característica distintiva de la geoestadística es el centrarse en la asociación espacial de los valores de una característica observados en locaciones distintas, así como la variación sistemática del fenómeno según su locación (heterogeneidad espacial o no estacionaridad). De forma irónica, la mayoría de los SIG comerciales incluyeron, hasta no hace mucho tiempo, interfases para el análisis estadístico

convencional pero carecieron de módulos para aplicar la geoestadística, de tal suerte que desde fechas apenas recientes la estadística espacial conforma una parte integral del software de los SIG.

Para lidiar con la incapacidad del manejo de geoestadística, los SIG siguen tres distintas estrategias, con funciones que facilitan el acceso al tipo de software especializado al respecto: I) estrategia inclusiva, II) estrategia modular y III) estrategia basada en la importación y exportación de datos.

La estrategia inclusiva es aquella en la que los paquetes de cómputo consideran la integración total de estadística convencional y geoestadística en un SIG.

La estrategia modular considera la construcción de módulos para el análisis estadístico que son después relacionados con el software principal de un SIG.

La última de las estrategias considera que es más sencillo facilitar la interacción de las herramientas de análisis espacial de los SIG para que manejen datos

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

en los formatos compatibles con los programas especializados. Este es el procedimiento más común dado que la mayoría de los SIG consideran como parte de sus funciones la importación y exportación de datos, así que en casi todos los casos resulta sencillo migrar los datos desde y hacia software especializado en geoestadística, o bien, hacia hojas de cálculo.

La gama de funciones de un SIG dentro del análisis estadístico puede a muy grandes rasgos dividirse en funciones de muestreo, de estadística descriptiva, de análisis multivariable, de análisis de series de tiempo y de análisis geoestadístico.

Las funciones de muestreo se emplean para definir la forma en la cual el SIG ha de elegir la muestra representativa de la población que es objeto de estudio en el análisis estadístico. El rango de procedimientos para muestreos geográficos es muy amplio y a grosso modo se pueden categorizar en tres grupos, de acuerdo con la forma en que consideran a ciertos elementos de la población como candidatos aptos para la muestra: aleatorios, sistemáticos o estratificados.

Los muestreos aleatorios consideran a todos los elementos como aptos y cualquiera puede ser electo para conformar la muestra. En los muestreos sistemáticos, los elementos son electos de acuerdo con un procedimiento fijo, que no necesariamente implica la pérdida de aleatoriedad del muestreo, esto es, acotando ciertos límites para la selección, como ejemplos el seleccionar cada décimo elemento, iniciar en cierto momento o apegarse a números aleatorios generados por algún dispositivo distinto al SIG.

Al practicar los muestreos estratificados debe tenerse la intención la de clasificar a la población dentro de clases o estratos, cuyos elementos se espera tengan valores similares de un determinado atributo, para después elegir de forma aleatoria o sistemática de entre los candidatos de cada estrato.

Las funciones de estadística descriptiva se refieren a aquellas que permiten establecer los parámetros y que devuelven los resultados, de un análisis estadístico convencional. Según se ha indicado, en un análisis estadístico convencional se consideran los

valores de cada característica de los elementos de la muestra independientes entre sí. Se presentan así en los SIG, opciones que hacen posible manejar varias funciones de distribución de probabilidad, generar histogramas y emitir reportes estadísticos de las medidas de tendencia central y de dispersión así como reportes gráficos de otros tipos.

El análisis multivariable, también llamado multivariante o multivariado por algunos autores, se refiere a los métodos y técnicas para el análisis de estadística multidimensional, es decir, cuando las correlaciones a establecer mediante la estadística sobrepasan la capacidad de la estadística descriptiva para analizar solamente una o dos variables a la vez.

Las funciones de los SIG dentro del análisis multivariable se enfocan en el manejo de las técnicas que a continuación se enumeran. Las técnicas principales de la estadística multidimensional incluyen a los análisis de clusters, de discriminantes, de la componente principal y del factor, como procedimientos de clasificación y a los procesos de regresión múltiple y de análisis de tendencia superficial como procedimientos de predicción.

Otro tipo de funciones estadísticas que es factible dentro de los más avanzados paquetes de SIG comerciales son las relativas al análisis de series de tiempo. Una serie de tiempo está compuesta de un conjunto de observaciones hechas en puntos sucesivos en la línea del tiempo, o bien, sobre varios puntos en períodos sucesivos de tiempo. Procedimientos propios del análisis de series de tiempo son la autocorrelación, la correlación cruzada, la asociación cruzada y el análisis de regresión. Este tipo de análisis es importante dado que guarda una estrecha relación con el análisis espacial, al tratarse, los espaciales, de fenómenos normalmente variables en el tiempo.

El análisis geoestadístico, como se indica algunos párrafos atrás, se basa en preceptos distintos a los de la estadística convencional. El fundamento para la geoestadística reside en la denominada “Primera ley de la geografía” de Tobler, que establece que “Todo está relacionado con todo, pero los valores en locaciones más cercanas están más correlacionados que los valores en locaciones distantes”. En consecuencia, el objeto de la geoestadística es hallar

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

una correlación espacial y a grandes rasgos, el proceso consta de dos fases. La primera consiste en calcular un variograma o función de correlación espacial y ajustar un modelo a él. El segundo paso, conocido como kriging, es una técnica que emplea los parámetros del variograma para obtener la relación entre los puntos de los datos.

Funciones de modelado matemático

64

Dentro del ámbito de los SIG es posible encontrar dos corrientes principales relativas al modelado matemático: optimización y simulación. De forma muy general, el resultado de los procesos de optimización normalmente es una estrategia como prescripción y, en contraparte, la salida de los procesos de simulación es una aproximación descriptiva.

Al referirse a optimización, se trata de aproximaciones normalizadas para identificar la mejor solución para un problema de decisión. De manera común, en todos los modelos de optimización hay una cantidad a optimizar en una

de dos maneras, al maximizarle o minimizarle. La función matemática que incluye a esa cantidad es conocida como la función objetivo. Adicionalmente, los problemas de optimización consideran que las variables de decisión cumplen con una serie de restricciones.

Si el problema considera una sola función objetivo, se trata de un problema de decisión de criterio simple, en cambio si deben optimizarse más de una función objetivo, el problema se conoce como de decisión multicriterio.

La denominada programación lineal constituye un tipo especial de problemas de optimización, en donde tanto la función objetivo como las de las restricciones son lineales y aditivas y las variables de decisión son continuas. Muchos de los SIG tienen en la actualidad, la capacidad de resolver problemas de programación lineal y de muchas de las variantes de la misma como la programación entera, la programación entera mixta, la programación binaria, la programación de metas y la optimización de flujo en redes.

En la programación entera, las cantidades a optimizar solo pueden estar representadas por números enteros; igualmente en la programación binaria, únicamente pueden adquirir uno de dos valores: 0 o 1. La programación de metas es otra extensión de la programación lineal que fue desarrollada con objeto de permitir la optimización de más de una función objetivo.

Otra diferencia sustancial entre la programación lineal y la programación entera consiste en los métodos que existen para la solución de los problemas de cada una de ellas. Mientras que la programación lineal se resuelve con el empleo del método “simplex”, en programación entera se puede usar además la metodología conocida como de “ramificación y acotamiento”.

La optimización del flujo en redes posee uno de los mayores campos de aplicación entre los modelos espaciales, por la compatibilidad de las redes para representar fenómenos de movimientos en el espacio. Muchos problemas de programación lineal pueden modelarse como de redes con fines de representarlos en una forma más gráfica y

resolverlos mediante técnicas más sencillas.

Los modelos de optimización del flujo en redes han sido integrados de forma efectiva, particularmente en los SIG vectoriales.

Otro de los tópicos en el área de la optimización es el que toca a la programación dinámica, consistente en dividir a un problema de optimización en varios subproblemas que deben ser resueltos uno a uno, en etapas respectivas. La función objetivo debe incorporar las consideraciones de las condiciones y circunstancias del sistema en cada etapa. Dichas condiciones y circunstancias son producto de las decisiones previas, así que la decisión que la optimización de cada optimización produce afecta el comportamiento del sistema.

La especificación de parámetros deterministas es, generalizando, una asunción fundamental del modelo de optimización, sin embargo, existen muchas situaciones de decisión bajo condiciones de incertidumbre. Para lidiar con ello, se han desarrollado ciertas metodologías que permiten conocer el grado de incertidumbre en la estimación

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

de los parámetros. Las metodologías mencionadas se pueden englobar dentro de los conceptos de optimización posterior o análisis de sensibilidad. Otra alternativa, cuando los parámetros dentro de un problema de optimización pueden ser tratados como variables aleatorias, se emplean los procedimientos de la programación probabilística o estocástica.

Si se desea la integración de otro tipo de técnicas para resolver problemas de optimización como las soluciones heurísticas o dentro de la teoría de la programación difusa, la opción que ofrecen los SIG consiste en el acceso a interfases de programación estructurada.

Aún cuando algunos de los SIG tienen la capacidad de resolver algunos problemas de optimización, la capacidad en general de este tipo de paquetes es limitada, sin embargo, las estrategias mencionadas al respecto de la geoestadística son igualmente empleadas para el caso de la optimización, esto es, los programas que no incluyen módulos integrales de optimización, bien los sustituyen con módulos adicionales, o bien facilitan la transferencia de archivos desde y hacia software especializado.

Atendiendo a la segunda de las ramas del modelado matemático, la simulación, en un sentido muy amplio puede verse como un conjunto de metodologías que buscan ejecutar experimentos utilizando modelos que representen las condiciones del sistema del mundo real.

La diferencia primaria entre la simulación y la optimización radica en el punto de partida de ambas, pues el objetivo puede considerarse de cierta forma el mismo: contar con elementos para elegir la mejor solución cuando se debe tomar una decisión respecto de un problema.

Así, en relación con el punto de partida, el de la optimización está dado desde el momento de identificar un problema que, luego de plantear una función objetivo y una serie de restricciones, es resuelto. Dicha solución implica el tomar una acción al respecto del problema y la calidad de la misma es evaluada para prever su eficacia, así como la de acciones que se encuentren cercanas a ella. En la simulación, el punto de partida se encuentra en la suposición de que se ejecuta la acción, analizando

en momentos posteriores sus consecuencias, de tal forma la simulación puede ser vista como una aproximación exploratoria a los problemas de decisión.

Una buena simulación debe contar con la posibilidad de repetir un sinnúmero de veces su análisis, además de permitir la modificación de una o varias de las condiciones del sistema cada vez que se modela. Lo anterior conlleva a la principal ventaja de la simulación respecto de la optimización; mientras la optimización posterior analiza únicamente la validez de la solución óptima, así como la de posibles soluciones cercanas, la simulación permite analizar la eficacia de cualquier solución posible de entre el universo de opciones.

Considerando al modelado matemático como la base de la simulación, al menos para fines del presente estudio, se pueden encontrar dos clasificaciones para los tipos de simulación. La primer clasificación atiende a la temporalidad de la simulación, de forma que hay simulaciones estáticas y dinámicas. Una simulación estática considera variables y parámetros que no son dependientes en

el tiempo y una simulación dinámica comprende sistemas que son variables en el tiempo.

El segundo criterio distingue entre las simulaciones según el tipo de variables que procesan, esto es, deterministas o estocásticas. Una simulación determinista se basa en que sus variables y parámetros están fijos y conocidos con certeza, mientras que una simulación estocástica asocia distribuciones de probabilidad a algunos o todos de sus parámetros y variables. La simulación estocástica o probabilística también se conoce como simulación de Monte Carlo.

La mayor parte de simulación en SIG se lleva a cabo mediante lenguajes de programación o haciendo valer la transferencia de archivos y rara vez mediante módulos. La disponibilidad de lenguajes de simulación; incluyendo alternativas como las hojas de cálculo; y el desarrollo de equipos de cómputo más poderosos, han hecho de la simulación una herramienta muy aceptada dentro del ambiente de los SIG, sin embargo, los sistemas de simulación espacial permanecen dentro de una fuerte condición de especificidad, es decir, atendiendo a propósitos

muy particulares, siendo escasos los programas de propósito general.

2.3 USOS DE LOS SIG

La aptitud para el manejo conjunto de información espacial y de información temática permite que la variedad de formas en que pueden emplearse los SIG sea amplia. En este apartado se discuten, de forma general, los usos que pueden darse a los SIG, dadas las funciones que son capaces de ejecutar y que se han sido objeto de las páginas anteriores.

En el nivel más simple de los usos que un SIG puede tener, se encuentra la visualización de datos, sean o no geográficos, pues es posible obtener de los SIG mapas, gráficas, tablas o reportes, a partir de las variables contenidas en las bases de datos de los datos de entrada, o bien, empleando variables calculadas a partir de las disponibles.

Un paso adelante es la obtención de respuestas a partir de una serie de consultas acerca de los datos y su distribución en el espacio. Los SIG permiten

obtener información referente a cuestiones como: lo que hay en un punto determinado; las características de cierto punto respecto de algún referente; los puntos que cumplen con una condición o un grupo de condiciones determinadas y la relación, distancia o conexión entre entidades.

Un uso más sofisticado es el empleo de las herramientas de análisis espacial y de álgebra de mapas para el desarrollo y verificación de hipótesis acerca de la distribución espaciotemporal de las variables y entidades geográficas.

Según se ha indicado, en ocasiones resulta necesario el empleo de programas de análisis, externos a los SIG. A partir de los resultados producto de los análisis realizados en software de este tipo, tanto como del análisis propio del SIG, es posible generar nuevas capas de información, es decir, es posible la modelación cartográfica.

El aporte de los SIG a la solución de problemas de toma de decisión representa uno de los usos más sofisticados y a la vez más rentables de esta herramienta, pues mediante un SIG se pueden

responder cuestiones relativas a las acciones más adecuadas a tomar respecto de espacios geográficos determinados, esto en función de las características de los mismos, así como en función del impacto de las acciones.

Finalmente, el uso más elaborado de los SIG tiene que ver con el análisis a procesos dinámicos y espacialmente distribuidos, ya sean naturales o inducidos por el hombre, mediante la integración de los SIG con modelos matemáticos. Lo anterior normalmente se lleva a cabo con fines científicos o de planeación y ordenamiento territorial.

2.4 APLICACIONES DE LOS SIG

Como se puede observar, los usos que la vasta gama de funciones de los SIG permite, son muy variados en tanto que pueden ser muy sencillos o de una complejidad considerable. Asimismo los SIG han encontrado su aplicación en ámbitos muy variados, pues es factible hacer uso de la herramienta siempre que se considere una actividad en la que la componente geográfica tenga un papel relevante.

En este sentido, los SIG se han aplicado con éxito en ámbitos que van desde el puramente científico, hasta cuestiones comerciales, pasando por temas gubernamentales y privados que no necesariamente se refieren a negocios. Enseguida se citan algunos de los campos particulares de aplicación más relevantes que se valen de los SIG: [5]

- ▶ Ciencias medioambientales y relacionadas con el espacio
- ▶ Desarrollo de modelos empíricos
- ▶ Modelación dinámica
- ▶ Teledetección
- ▶ Cartografía automática
- ▶ Información pública y catastral
- ▶ Planeación física
- ▶ Ordenamiento territorial
- ▶ Planeación urbana
- ▶ Estudios de impacto ambiental
- ▶ Gestión de recursos naturales y no naturales
- ▶ Seguimiento de actuaciones
- ▶ Mercadeo
- ▶ Logística y estrategias de distribución
- ▶ Planeación del transporte

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

- ▶ Localización de servicios
- ▶ Prevención de desastres y diseño de planes de emergencia

En Internet se pueden encontrar con suma facilidad un buen número de ejemplos de aplicaciones de los SIG en cualquiera de los campos anteriores.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Arcila, M., *SIG y Medio Ambiente: principios básicos*, Facultad de Filosofía, Universidad de Cádiz, Cádiz, España, 2001

[2] Domínguez, J., *Breve Introducción a la Cartografía y a los Sistemas de Información Geográfica (SIG)*, Informe Técnico No. 943 Ciemat, CIEMAT, Madrid, España, 2000

[3] ERDAS, *Guía de campo en español, Capítulo 11: Sistemas de Información Geográfica*, Leica Geosystems, Heerbrugg, Suiza, 2000

[4] Felicísimo, A.M., *Apuntes de la asignatura "Sistemas de Información Geográfica"*, Universidad de Extremadura, Cáceres, España, 2002

[5] Gomariz, F. J. y Alonso, F., *Apuntes de la asignatura "Sistemas de Información Geográfica"*, Universidad de Murcia, Murcia, España, 2000

[6] Malczewski, J. GIS and Multicriteria Decision Analysis, John Wiley & Sons, Inc., Nueva York, Estados Unidos de Norteamérica, 1999

[7] Martínez, F. J., *Sistemas de Información Geográfica*, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Jaén, Jaén, España, 2002

[8] Ortiz, G., *¿Qué son los Sistemas de Información Geográfica?. Tipos de SIG y modelos de datos. Un artículo introductorio para entender las bases de los SIG*, en <http://recursos.gabrielortiz.com>, Santander, España, 2002

CAPÍTULO 3

PROGRAMAS DE PREVENCIÓN DE ACCIDENTES Y

APLICACIÓN DE LOS SIG

71

3.1 PROGRAMAS DE PREVENCIÓN

Dos son los programas que marcan el estado del arte en materia de prevención de accidentes de tránsito por estar sustentados en paradigmas que han probado ser más adecuados, como se discute en el primer capítulo, que los vigentes hasta antes de ellos para garantizar la seguridad vial. Se trata de los programas nacionales de seguridad vial de Suecia y los Países Bajos.

Como aspectos comunes a ambas iniciativas; que por principio coinciden en su origen a mediados de la década de los noventas; se observan puntos específicos como el establecimiento de metas fijas en

cuanto a los números de muertos y lesionados para evaluar año con año la efectividad de los programas; el hecho de ser programas a largo plazo; así como la consideración de que las mejoras en materia de seguridad vial competen a todos los involucrados en el Sistema de Transporte, en el particular de sus actuaciones así como en su interacción.

3.1.1 Programa de seguridad vial de los Países Bajos

Inspirado por el concepto de desarrollo sustentable generado por la ONU, el programa nacional de seguridad vial de los Países Bajos, denominado

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

“Seguridad Vial Sustentable”, parte de los tres principios fundamentales que enseguida se enuncian: [8]

- ▶ Las consecuencias adversas de la demanda actual de movilidad no debe ser una carga para las generaciones futuras.
- ▶ En la actualidad existen los medios necesarios para reducir sustancialmente la problemática de los accidentes de tránsito.
- ▶ Quienes diseñan el Sistema de Transporte juegan un papel fundamental, al tener la capacidad de prevenir la ocurrencia de muchos de los accidentes, o bien de mitigar la severidad de sus consecuencias.

Así pues, el punto de partida del programa holandés se ubica al considerar las limitaciones de los usuarios del sistema para lidiar con los varios, complejos y en ocasiones incompatibles usos de las vías y, de forma general se centra en los siguientes aspectos: [8, 35]

- ▶ Generación de infraestructura adaptada a las limitaciones humanas a través de un diseño adecuado de las vías de comunicación.

- ▶ Empleo de vehículos equipados propiamente para facilitar el manejo y ofrecer una protección más adecuada en caso de colisión.
- ▶ Usuarios viales que cuenten con información y educación adecuadas y, en donde sea necesario, disuadirles del comportamiento peligroso e indeseable.

El objetivo general de la política de los Países Bajos es la inducción de un Sistema de Transporte considerablemente seguro a largo plazo, juzgado sobre bases científicas. El elemento más importante de esta política reside en el planteamiento de que cada camino tiene una función identificable, por lo que se plantea una estrategia que considera una clasificación de los caminos según su función. Así, el objetivo particular de la estrategia consiste en manejar la red vial de tal forma que el uso que se hace de cada vía y su configuración real sean compatibles entre sí para facilitar la seguridad vial. [35,10]

Para aterrizar el concepto anterior, todos los caminos que conforman la red vial de los Países Bajos, se han clasificado dentro de una de tres categorías según su

función: [8]

- ▶ Caminos de flujo masivo, rápido y continuo.
- ▶ Caminos de distribución del tránsito entre asentamientos, con flujo libre entre intersecciones.
- ▶ Caminos de acceso a instalaciones, en donde se presenta el intercambio de la red vial hacia locaciones determinadas (comercios, residencias, lugares de trabajo, etc.) y viceversa.

Al determinar una clasificación de los caminos se persiguen finalidades tales como la canalización del tráfico a un número pequeño de arterias bien diseñadas, para minimizar el riesgo de accidentes; la autodefinición de los caminos mediante una configuración adecuada y entendible de forma automática por los usuarios y; finalmente, asegurar la compatibilidad entre la función, la configuración y el uso de los caminos. [8]

De tal forma, es posible enunciar los principios básicos en los que, según el programa, ha de fundamentarse la seguridad vial: [8]

- ▶ Prevención del uso imprevisto de las vías.
- ▶ Prevención de discrepancias considerables en cuanto a velocidad, dirección y volumen del tránsito, en flujos a velocidades moderadas y altas.
- ▶ Prevención de la incertidumbre entre los usuarios al contar con vías más predecibles.

En el mismo sentido, es posible manejar disposiciones claras, como límites de velocidad y otras expectativas de comportamiento por parte de los usuarios, para cada uno de los tipos de vialidades.

El planteamiento del programa considera que el mismo ha de llevarse a cabo en dos fases, cada una con metas numéricas específicas.

La primera de las etapas, que dio inicio en 1996, puede considerarse como de implementación y considera los siguientes aspectos: [8]

- ▶ Elaboración de mapas con la clasificación de las vialidades
- ▶ Expansión de las zonas con velocidad limitada de 30 y 60 km/h

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

- ▶ La protección y el control del comportamiento de los motociclistas
- ▶ Dar prioridad a aquellas vialidades principales
- ▶ Establecer un derecho de vía para usuarios lentos (peatones y ciclistas)
- ▶ La creación de una Central de Información de Soporte
- ▶ Definición de los lineamientos para el diseño de todos los aspectos de los caminos
- ▶ Una campaña pública de difusión
- ▶ La correcta aplicación de la ley
- ▶ La compensación con fondos federales a la inversión de las autoridades locales para obras de seguridad vial
- ▶ La realización de auditorías a las acciones tomadas en materia de seguridad vial [8]

La segunda fase fue puesta en marcha a partir de 2002 dentro del Plan Maestro Nacional de Tránsito y Transporte y tiene por metas la reducción de cerca de la tercera parte de muertos y de lesionados en los caminos holandeses para el año 2010. En esta nueva etapa, se identifican las mejoras factibles, una vez que se ha cumplido con los objetivos de la primer etapa y, tales mejoras se enfocan en los temas

siguientes:

- ▶ Reducción del manejo desmedrado por influencia del alcohol, fármacos y/o estupefacientes mediante la aplicación de la ley.
- ▶ Mejoras a la seguridad de los nuevos conductores mediante la introducción de licencias temporales y sistemas de puntuaciones.
- ▶ Estímulo a los Sistemas Avanzados de Asistencia a Conductores, la mayoría basados en tecnología propia de los Sistemas de Transporte Inteligente (ITS).
- ▶ Creación de un acuerdo de evaluación para los motociclistas.
- ▶ Mejoras a la visibilidad de los ciclistas mediante luces y reflejantes.
- ▶ Introducción de la Cultura de la Seguridad en la industria comercial para elevar los niveles de conciencia.
- ▶ Legislación para vehículos especiales
- ▶ Introducción de una campaña nacional de seguridad a largo plazo.
- ▶ Expansión postrera de las zonas de 30 y 60 km/h
- ▶ Rediseño de los caminos inseguros aplicando medidas efectivas, como separación de usuarios

en el caso de carriles exclusivos para el uso de bicicletas.

- ▶ Programas de educación y campañas para grupos en riesgo.
- ▶ Mejorar la correcta aplicación de la ley mediante equipos especiales de supervisión y dispositivos como cámaras de video o acuerdos de cooperación institucional.
- ▶ Introducción regional de la Cultura de la Seguridad.

Cabe mencionar que, antes de implementar el programa Seguridad Vial Sustentable, la descentralización de las agencias de seguridad vial en los Países Bajos, ratificada mediante un acuerdo en 1994, constituyó un paso importante para llegar a una política como la que se presenta, pues muchos de los accidentes de tránsito ocurren en caminos que no son de jurisdicción federal y, respecto de ellos, debe privar una visión de responsabilidad compartida entre autoridades de los distintos niveles de gobierno. En el mismo sentido, la comunicación y cooperación entre regiones también fueron trascendentales. [35]

3.1.2 Programa de seguridad vial de Suecia

El programa sueco de seguridad vial, conocido también como “Visión Cero”, tiene por lineamiento principal aquel que establece que el objetivo a largo plazo de la política de seguridad vial en Suecia, es que ningún individuo resulte muerto o lesionado a causa de un accidente de tránsito.

Un aspecto de la filosofía detrás de la visión cero, consiste en el establecimiento y cumplimiento de metas intermedias para que, mediante una reducción gradual y continua, se logre el objetivo planteado. Otro aspecto detrás de la visión cero, es aquel de considerar la posibilidad de la comisión de un error como inherente a la condición humana de los conductores. Sin embargo, dentro de la filosofía en cuestión, el cometer un error e incluso causar con él algún accidente, no debe ser consecuencia de muerte o de una lesión seria. [34]

Según se indica en la descripción del programa, para el ministerio de transporte en Suecia, la preservación

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

de la vida humana constituye un elemento obligatorio por mandato en el diseño y la operación del Sistema de Transporte. Lo anterior implica que pensar en la seguridad vial es imperativo y común a todos los participantes en los procesos que afectan a la seguridad dentro del Sistema de Transporte. [10]

Se habla así, de responsabilidad compartida entre todos los actores, contrario a la práctica usual, que generalmente responsabiliza de los accidentes a los usuarios de las vialidades.

76

Similarmente al caso de los Países Bajos, los puntos fundamentales del programa sueco son la tenencia de caminos más seguros, el empleo de vehículos más adecuados y la observancia cabal de los reglamentos de tránsito. [20]

De igual forma, Visión Cero considera una clasificación de los caminos para brindar a los usuarios la habilidad de reconocer, de preferencia de forma intuitiva, el tipo de camino en que se encuentran y con ello, el comportamiento que de ellos se espera, así como el comportamiento que de los otros actores deben prever.

Como un aspecto relevante, el programa asume que una reducción general a los límites de velocidad, si bien resultaría muy benéfica en términos de mitigar las consecuencias de los accidentes, conllevaría a efectos adversos en cuanto a menor accesibilidad en general, el incremento de los costos de traslado de bienes y pasajeros y la pérdida de competitividad.

La puesta en práctica del programa consiste en la implementación de medidas, principalmente en lo concerniente a los siguientes aspectos: [20]

- ▶ Medidas especiales de seguridad para los caminos más peligrosos, previa identificación de los mismos, con el fin de atacar el grueso de la problemática, sin embargo, se deben considerar formas adecuadas para no atacar de nuevo síntomas y no causas de la problemática.
- ▶ Mejoras a la seguridad vial en áreas urbanas, en participación conjunta con autoridades locales.
- ▶ Hacer énfasis en la importancia de la responsabilidad de los usuarios de las vialidades,

mediante la vigilancia estricta de las leyes de tránsito. Para Visión Cero es inaceptable que algunos usuarios de los caminos pongan en riesgo su vida y la de terceros al no observar la ley.

- ▶ Condiciones más seguras para los ciclistas.
- ▶ Asegurar la calidad de los servicios de transporte, mediante una serie de medidas que propicien que vehículos seguros se empleen de forma segura.
- ▶ Uso obligatorio de llantas para invierno.
- ▶ Mejor aprovechamiento de la tecnología nacional, al ser Suecia uno de los líderes en el desarrollo de tecnología de seguridad a bordo de los vehículos.
- ▶ La amplia responsabilidad de quienes diseñan y mantienen el Sistema de Transporte, dado el planteamiento de la responsabilidad compartida entre quienes proveen de caminos, vehículos, servicios de transporte, vigilancia, servicios de

rescate y emergencia, etc. Se ha propuesto, inclusive, la intervención de una autoridad independiente que supervise la actividad del transporte automotor, al igual que sucede en otros modos de transporte como el marítimo, el aéreo y el ferroviario.

- ▶ El manejo enérgico de las faltas a la ley.
- ▶ El papel de organizaciones de voluntarios, pues iniciativas ajenas al gobierno pueden resultar valiosas.
- ▶ Formas alternativas para el financiamiento de nuevos caminos y con ello liberar recursos económicos tales que puedan destinarse a la prevención de accidentes.

3.1.3 Argumentos en contra de los programas de seguridad vial de Suecia y los Países Bajos

En otro orden de ideas, al tratarse de programas públicos, es natural que existan detractores a ellos,

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

muchos de ellos por sentirse agraviados y otros por sus convicciones reales. De cualquier forma, no se debe subestimar su opinión, pues hay puntos en los que se plantean reflexiones interesantes.

Las críticas principales a los programas presentados alegan que en ambos casos se establecen metas imposibles de lograr, y en todo caso su consecución, implicaría acciones con un costo muy elevado, en términos económicos, para la sociedad. A este respecto, es importante que quienes toman las decisiones en materia de seguridad vial tengan conciencia del punto hasta el cual es prudente invertir en seguridad vial, sin perder nunca de vista los costos que los propios accidentes representan para la sociedad. [16]

Quienes están a favor de los programas, indican que el hecho de cuestionar la imposibilidad de lograr las metas es redundante pues de cualquier forma, éticamente no existe conflicto para considerar como inaceptable el hecho de morir o de sufrir lesiones serias a causa del funcionamiento del Sistema de Transporte.

Se puede concluir a partir de ambas opiniones que, en caso de que las metas no se logren puesto que las tendencias de reducción de víctimas de los accidentes se reviertan o encuentren una asíntota inferior, se deben tener la madurez y creatividad para plantear de forma distinta los programas de prevención, con el fin de encontrar nuevas visiones que permitan seguir reduciendo las tasas de mortandad y morbilidad, a un costo accesible.

Finalmente, al tratar de importar la Visión Cero, en algunos países se han presentado protestas sociales dado que mucha de la población se siente agraviada al implantarse medidas como límites menores de velocidad o menores niveles aceptables de alcohol en la sangre. En tal caso, y en general, debe considerarse que siempre es más adecuado adecuar un programa para la realidad de una sociedad, que adoptarlo y aplicarlo textualmente en un contexto distinto, como se cita en anteriormente en el presente estudio. A este respecto, hay otros países como Austria, Rusia y Polonia, en los cuales se han puesto en práctica versiones adaptadas de algunas de las disposiciones de Visión Cero con resultados positivos. [8]

3.2 APLICACIÓN DE LOS SIG PARA LA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES

Al revisar la forma en que se han aplicado los SIG a la prevención de accidentes, se puede observar que el potencial de los SIG no se ha explotado en su totalidad, sino que más bien se han empleado algunas de sus ventajas de forma aislada y, muy rara vez bajo una visión integral como corroboran las opiniones de varios autores. [7, 30, 19, 31]

A pesar de la gran utilidad que los SIG pueden tener para la prevención de accidentes; considerando la importancia de la componente espacial en el fenómeno; la aplicación histórica de la herramienta ha evolucionado comparativamente con menor celeridad, en materia de seguridad vial respecto de la aplicación de los SIG en otros campos.

3.2.1 *Aplicación de los SIG como herramientas de custodia de datos*

La aplicación de los SIG como una herramienta útil para la seguridad vial inicia a finales de la década de los noventas, cuando los SIG evolucionan hacia programas de cómputo más amigables y más gráficos, con ventanas y botones en lugar de interfases de comandos por medio de textos. Así, las primeras aproximaciones de los SIG a la prevención de accidentes, se presentan cuando en países como los Estados Unidos de Norteamérica y el Reino Unido comienzan a relacionarse las bases de datos con información referente a los accidentes de tránsito en sus vialidades con su información geográfica correspondiente. [30]

De tal forma, la aplicación primera de los SIG a la seguridad vial la constituyen los llamados SIG de custodia, que son aquellos dedicados a capturar, ordenar y mostrar la información, inclusive clasificada bajo ciertos parámetros, pero que no implican necesariamente ningún análisis a los datos que manejan. En la bibliografía es común encontrar ejemplos acerca del proceso que diversas instituciones de distintos países siguieron para reunir y montar la información en un SIG. [9, 11, 17, 31]

Las novedades más sobresalientes al respecto de la aplicación de los SIG como herramientas de custodia son las referentes a la actualización automatizada de las bases de datos mediante dispositivos de teledetección o controlados a distancia; incluso en tiempo real para la atención de accidentes. [18]

3.2.2 *Aplicación de los SIG para identificar sitios peligrosos*

80

Un segundo nivel de la aplicación de los SIG está marcado por su uso como soporte para la identificación de los sitios peligrosos, o puntos negros a lo largo de las vialidades. Inicialmente, la identificación de puntos negros hubo de realizarse empleando los datos contenidos en los SIG de custodia, mediante análisis de frecuencia en segmentos viales determinados, discriminando o incluyendo incluso eventos de acuerdo con alguna característica en particular.

Al aplicar los SIG de la forma anterior, es decir, para

identificar sitios peligrosos, se incurre en lo que se ha señalado como un modelo reactivo, en lugar de un esquema preventivo, en cuanto a seguridad vial; pues a partir de los puntos negros que resultan de cada estudio, se toman medidas correctivas encaminadas a disminuir la frecuencia de accidentes únicamente en un conjunto de puntos seleccionados.

Para corregir lo anterior se han desarrollado distintos enfoques que han sido aterrizados en los SIG. Algunos autores proponen determinar los sitios peligrosos antes de la ocurrencia de accidentes en ellos, es decir, prever los sitios de los accidentes.

La mayoría de quienes proponen predecir los puntos negros sugieren el análisis espacial para encontrar aquellos sitios en los que se presentan características similares a las de sitios peligrosos ya identificados. En ese mismo sentido sugieren el empleo de técnicas como el análisis de clusters, el análisis de corredores o el análisis mediante mallas o retículas. [1, 14]

Otro ejemplo de análisis típicos que los autores en esta línea proponen, consiste en determinar un área

de influencia para cada punto negro, es decir, sobre aquellos segmentos viales adyacentes sobre los que las condiciones son similares a las del sitio peligroso y por tanto son susceptibles de ser escenario de accidentes de tránsito. [33, 15]

Otro grupo de autores a favor de la predicción de los puntos negros lo integran quienes proponen modelos matemáticos para determinar los segmentos peligrosos sobre las redes viales. La mayoría de los modelos matemáticos consideran aspectos generales como la geometría de las vialidades y las características del flujo vehicular en ellas; así como aspectos particulares que varían de acuerdo con la propuesta particular de cada autor. En este orden de ideas, es posible encontrar propuestas con fines muy específicos, como por ejemplo, para evaluar la calidad de los modelos o para evitar efectos de sesgos estadísticos. [13, 26]

Las críticas principales a la predicción de puntos negros mediante modelos matemáticos van en función de la complejidad, así como de la especificidad espacial, temporal y temática de los mismos.

Una variante adicional de la aplicación de los SIG para identificar los sitios peligrosos es aquella que toma en cuenta las observaciones cualitativas de los usuarios u operarios del Sistema de Transporte respecto de los sitios que han de considerarse como peligrosos. Como ejemplos de las aplicaciones de este tipo, existen sistemas puestos en marcha en Japón y Canadá y que consisten en emplear los datos producto de encuestar a los usuarios de la red vial de cierta municipalidad, acerca de los sitios en los cuales han estado próximos a ser partícipes de un accidente. [5, 12]

El estado del arte respecto de la identificación de sitios peligrosos mediante SIG, probablemente está dado por los sistemas que se actualizan de forma automática y que reportan en tiempo real a los usuarios del sistema vial, mediante interfases a bordo de los vehículos, acerca de las condiciones imperantes en las vialidades, que hacen que algunas vías sean más peligrosas que otras en un momento determinado.[2, 28]

3.2.3 *Aplicación de los SIG para atacar las causas de los accidentes*

El enfoque más adecuado, según se discute en los capítulos anteriores, para combatir una problemática consiste en atacar las causas reales de la misma. Bajo este enfoque el considerar a los puntos negros constituye atacar únicamente los síntomas. Por ello, diversos autores sugieren el empleo de los SIG bajo el enfoque de sistemas para considerar y afectar a todos los actores del Sistema de Transporte con las decisiones que el análisis produce. [21]

Así en varios países se han empleado los SIG para determinar la correlación entre los diversos factores o componentes del Sistema de Transporte, con casi todos los atributos inherentes a su naturaleza, y la ocurrencia de accidentes de tránsito. En esta ocasión, la finalidad no es encontrar sitios peligrosos, sino más bien prever situaciones de riesgo al prevenirse de aquellos casos en que confluyen los factores que desencadenan un accidente.

Sin embargo, en los casos en que ha tenido lugar el

planteamiento anterior, la revisión de bibliografía indica que los SIG se han aplicado de forma discreta y con finalidades muy específicas, pues se han empleado para proteger únicamente a tipos definidos de actores en el Sistema de Transporte, como peatones o ciclistas. [4, 12, 27]

Se requiere entonces de la aplicación de los SIG con fines más amplios, esto es, para proteger de forma global a todos los participantes en el Sistema de Transporte y llegar así al grado de programas de seguridad sustentables.

3.2.4 *SIG comerciales para seguridad vial*

Existe en el mercado una serie de programas de cómputo de SIG que son comercializados como especializados en el manejo de información relativa a accidentes de tránsito. Como ejemplos: AIMS, Collision Database System, Acci Map, CUBE, GIS Safety Análisis Tool. [7, 31]

Al respecto de este tipo de paquetes

computacionales cabe mencionar que se trata de aplicaciones que, si bien permiten capturar, ordenar, clasificar y visualizar la información de los accidentes de forma rápida y amigable, considerando muchos de los atributos propios de los accidentes de tránsito; el análisis que la mayoría de estos paquetes permiten por sí solos es aún bastante limitado, lo cual los coloca en un nivel similar e incluso inferior, al de un SIG de propósito general, compatible con otros programas computacionales y capaz de una mayor cantidad de funciones matemáticas y estadísticas.

Algunos otros paquetes más avanzados permiten por sí mismos algo de análisis espacial para identificar puntos negros y proveen además de diagramas de accidentes más detallados, a nivel de intersecciones por ejemplo. Muchos de ellos funcionan como extensiones de programas de SIG multipropósito más desarrollados, con el fin de tener acceso a la capacidad de llevar a cabo toda la gama de funciones del SIG. Sin embargo, adicionalmente a la restricción que el costo de los propios paquetes implica, es importante considerar que no existe en el mercado programa alguno que indique estar basado o contener funciones encaminadas a un modelo

íntegramente preventivo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Alind, G. B., Bajpal, R. K. y Sarin, S. M., *GIS as an aid to identify accident patterns*, Central Road Research Institute (CRRRI), Nueva Delhi, India, 2002
- [2] Chisalita, I. y Shachmehri, N., *An In-Vehicle Approach for Improving Traffic Safety through GIS Utilization*, Linköping University, Linköping, Suecia, 2002
- [3] Cuijpers, C. et al., *Impact of spatial planning on sustainable traffic safety; Belgian situation analysis*, Center of Spatial and Urban Analysis, Catholic University of Leuven, Leuven, Bélgica, 2000
- [4] Daniel, J. y Chien, S., *Identifying Factors and Mitigation Technologies In Truck Accidents in New Jersey*, N.J. Department of Transportation, U.S. Department of Transportation, Pub. No. FHWA – NJ

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

– 2002 – 021, Trenton, Estados Unidos de Norteamérica, 2003

[5] Dawn Corporation, *Dawn Corporation Enables Japan's First Web GIS for Traffic Safety: Kamagaya City Integrates Citizens' "Close Calls" With Police Accidents Reports to Mitigate High – Risk Sites*, en <http://dawn-corp.com>, Arlington, Estados Unidos de Norteamérica, 2003

[6] Dezernat Verkehrssicherheit und Verkehrstechnik, *Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit auf Motorradstrecken. Leitfaden*, Hessisches Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen, Wiesbaden, Alemania, 2002

[7] European Comisión, *White Paper – European transport policy for 2010: time to decide*, Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburgo, Luxemburgo, 2001

[8] European Transport Safety Council, *Vision, Targets & Strategies*. October 1998, en

http://www.etsc.be/new_updoct98, ETSC, Bruselas, Bélgica, 1999

[9] Federal Highway Administration, *GIS-Based Crash Referencing and Analysis System*, US Department of Transportation, Pub. No. FHWA-RD-99-081, McLean, Estados Unidos de Norteamérica, 1999

[10] Fildes, B. y Langford, J., *'Vision zero' and 'Sustainable road safety'*, en *Australasian Road Safety Handbook: Volume 1*, Sidney, Australia, 2003

[11] Glatthard, T., *Neue Generation der Verkehrsunfallstatistik*, en *Vermessung, Photogrammetrie und Kulturtechnik*, Vol. 3, 2003

[12] Han, F. y Lee, L., *Locating Traffic Accidents on the Internet: Customizing an Application in ArcIMS*, BCIT GIS, White Rock, Canadá, 2002

[13] Hummer, J. E., Hultgren, C. A. y Khattak, *Identification of Promising Sites on Secondary Highways Using Inventory Data*, North Carolina

State University, Raleigh, Estados Unidos de Norteamérica, 2002

[14] Kamalasudhan, A., Mitra, S., Bo H., and Chin, H.C., *An analysis of expressway accidents in Singapore using GIS*, Department of Civil Engineering, National University of Singapore, Singapur, Singapur, 2002

[15] Karashin, M. y Terzi, S., *Determination of hazardous locations on highways through GIS: a case study – rural road of Isparta – Antalya*, S. Demirel University, Esparta, Turquía, 2002

[16] Karyd, A., *Sweden's Vision Zero. The least mourned traffic casualty*, Norrköping, Suecia, 2001

[17] Machata, K., *Die Elektronische Unfallsteckkarte des Kuratorium für Verkehrssicherheit*, Kuratorium für Verkehrssicherheit, Viena, Austria, 2000

[18] Maurer, P., *Automaton in Registering Locations of Traffic Accidents*, Institut für Verkehrswesen,

Universität für Bodenkultur, Viena, Austria, 2000

[19] Miller, J. S., *What value may geographic information systems add to the art of identifying crash countermeasures?*, Virginia Transportation Research Council, Virginia Department of Transportation, Charlottesville, Estados Unidos de Norteamérica, 1999

[20] Ministry of Industry, Employment and Communications, *11 – point programme for improving road traffic safety*, en <http://www.vv.se>, Estocolmo, Suecia, 1999

[21] Mwatelah, J. K. Z., *Application of Geographical Information Systems (GIS) to analyze causes of road traffic accidents (RTAs) – Case study of Kenya*, Jomo Kenyatta University of Agriculture and Technology, Nairobi, Kenya, 2001

[22] Pawlovich, M. D., Estoche, B. y Strauss, T. *The Application of Geographic Information Systems to Improve Rural Highway Safety*, Center for

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

Transportation Research and Education, Iowa State University, Ames, Estados Unidos de Norteamérica, 1998

[23] Preston, E., *GIS Applications in Traffic Engineering Safety*, Oregon State University, Corvallis, Estados Unidos de Norteamérica, 2004

[24] Road Safety Committee. *Inquiry into the Incidence and Prevention of Pedestrian Accidents*, Parliament of Victoria, Melbourne, Australia, 1999

[25] Roche, J., *Geographic Information Systems-based crash data analysis and the benefits to traffic safety*, Center for Transportation Research and Education, Iowa State University, Ames, Estados Unidos de Norteamérica, 2000

[26] Saccomano, F., Fu, L. y Roy, R., *GIS-Based integrated model for road accident analysis and prediction*, Department of Civil Engineering, University of Waterloo, Waterloo, Canadá, 2000

[27] Schneider, R. J., Khattak, A. J. y Ryznar, R. M., *Identifying factors associated with pedestrian crash risk through spatial analysis and perception-based modeling*, University of North Carolina at Chapel Hill, Chapel Hill, Estados Unidos de Norteamérica, 2001

[28] Schraut, M., *Umgebungserfassung auf Basis lernender digitaler Karten zur vorausschauenden Konditionierung von Fahrerassistenzsystemen*, tesis doctoral para obtener el grado de doctor en Ingeniería, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Technischen Universität München, Munich, Alemania, 2000

[29] Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung bfu, *Erarbeitung der Grundlagen für eine Strassenverkehrssicherheitspolitik des Bundes*, Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Strassen ASTRA, Berna, Suiza, 2002

[30] Smith R. C., Harkey, D. L. y Harris, B,

Implementation of GIS-based highway safety analyses: Bridging the gap, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Pub. No. FHWA-RD-01-039, McLean, Estados Unidos de Norteamérica, 2001

[31] Souleyrette, R. et al., *GIS-Based Accident Location and Analysis System (GIS – ALAS), Project Report: Phase 1*, Center for Transportation Research and Education, Iowa State University, Ames, Estados Unidos de Norteamérica, 1998

[32] Staats, P., *A Bicycle Accident Study Using GIS Mapping and Analysis*, Transportation Policy Institute, Rutgers University, Nueva Brunswick, Estados Unidos

de Norteamérica, 2001

[33] Sun, X., *Developing a Comprehensive Highway Accident Data Analysis System with GIS*, Louisiana Transportation Research Center, Baton Rouge, Estados Unidos de Norteamérica, 2002

[34] Swedish National Road Administration, *“Vision Zero” – from concept to action*, en <http://www.vv.se>, Borlänge, Suecia, 2004

[35] Van Loon, A., *Sustainable Safety: A Successful Road Safety Program in The Netherlands*, Ministry of Transportation, Transportation Research Centre (AVV), Rotterdam, Países Bajos, 2001

CAPÍTULO 4

PROPUESTA METODOLÓGICA

88

Una vez que se han presentado los enfoques que, para fines del presente estudio, se consideran pertinentes para atacar la problemática de los accidentes de tránsito, así como la tecnología de los SIG, que con idénticos fines se piensa emplear; en el presente apartado se plantea la propuesta metodológica que es objeto de este trabajo de tesis.

Como se indica anteriormente, la propuesta metodológica consiste en un procedimiento cuyo objetivo es aproximarse a determinar con más precisión las causas de los accidentes de tránsito, a través de analizar el grado de influencia de los más posibles de los factores que intervienen en su ocurrencia. El grado en que cada uno de los factores influye, se analiza mediante una combinación de las técnicas del análisis espacial y del análisis

multicriterio, propia esta última de la Ingeniería de Sistemas.

De tal forma que en este capítulo, antes de proceder a la descripción de la metodología como tal, se presentan los principios fundamentales de las técnicas mencionadas, mismas que a la postre dan sustento a la propuesta de esta tesis.

4.1 ANÁLISIS MULTICRITERIO

Para ubicarse dentro del análisis multicriterio, es necesario partir de la Ingeniería de Sistemas. Un sistema puede ser definido como: “Un conjunto de objetos u elementos que interactúan de manera regular, dinámica e interdependiente.” [10]

A un nivel conceptual puede decirse que el hombre desarrolla los sistemas con miras a lograr una amplia gama de objetivos de diferente naturaleza. En la gran mayoría de los casos, los objetivos están en conflicto entre sí, por lo que se hace necesario encontrar un equilibrio entre los mismos.

Aterrizando el concepto en un nivel operativo, el análisis propio de la Ingeniería de Sistemas puede concebirse como una secuencia de actividades en las que en todo momento es necesario elegir entre diferentes alternativas. Normalmente tales alternativas se evalúan con apego a diferentes criterios. Dado lo anterior, la Ingeniería de Sistemas se basa en lo que se conoce como el proceso de toma de decisiones.

4.1.1 El proceso de toma de decisión

En su dimensión más básica, un proceso de toma de decisión puede concebirse como la elección por parte de un centro decisor, sea un individuo o un

grupo de individuos, de la mejor alternativa a partir de un universo con todas las alternativas posibles. Así, los problemas analíticos surgen cuando se deben definir los conceptos relativos a los términos “mejor” y “posible” en el contexto determinado de cada decisión. [10]

El enfoque tradicional para abordar este tipo de problemas puede resumirse de la siguiente manera. Dado que generalmente se cuenta con recursos limitados, existen restricciones a las decisiones que el centro decisor ha de tomar. Las alternativas que implican las variables de decisión, cuyos valores son tales que satisfacen las restricciones, constituyen lo que se denomina el conjunto factible o alcanzable, mismo que estructura y que formaliza lo que se entiende por “posible”.

Determinar lo que se entiende por “mejor”, implica de forma natural el considerar las preferencias por parte del centro decisor. Se establece por tanto una función de criterio que debe reflejar de manera adecuada tales preferencias en relación con el cambio de los valores de las variables de decisión. Así, esta función de criterio, usualmente llamada función

de utilidad o función de valor, debe asociar de manera biunívoca un número real a cada solución factible.

Los valores de las variables de decisión, así como el valor propio de la función de criterio, permiten el empleo de las matemáticas para solucionar los problemas del tipo planteado. Recurriendo entonces, a técnicas matemáticas más o menos sofisticadas, se optimiza la función de utilidad sobre el subconjunto alcanzable, obteniendo de tal forma la solución óptima; es decir, la mejor a partir del conjunto de soluciones posibles.

Las técnicas matemáticas mencionadas en el párrafo anterior conforman parte de los métodos propios de la Ingeniería de Sistemas y son los conocidos como métodos de programación matemática.

4.1.2 *Decisión multicriterio*

La estructura paradigmática comentada en los párrafos anteriores posee una gran solidez desde un

punto de vista lógico, sin embargo, desde la óptica de lo empírico, el marco teórico anterior presenta importantes debilidades que le desvía considerablemente de los procesos reales de toma de decisiones. En la mayoría de los casos de la vida ordinaria, los centros decisores no desean ordenar las soluciones factibles en relación con un único criterio, sino que desean efectuar esta tarea con apego a más de un criterios diferentes que representen sus preferencias particulares. [10]

Otro problema empírico relacionado con el paradigma de toma de decisiones expuesto se debe a la definición y formalización de lo que se entiende por posible. La consideración de las restricciones que definen el conjunto factible como ataduras rígidas que no pueden violarse no es en muchos casos real. En efecto, en la mayoría de contextos de decisiones es más realista aceptar que una cierta relajación en el cumplimiento de las restricciones no afecta seriamente al marco real en que se define la toma de decisión, pudiendo obtenerse, gracias a dicha relajación, mejoras significativas en los resultados a lograr según algunos criterios.

Para lidiar con estas discrepancias, investigadores de diferentes áreas han desarrollado en los últimos treinta años un paradigma alternativo al tradicional, que permite acomodar con mayor precisión los procesos reales de decisión. Este enfoque paradigmático, conocido como de decisión multicriterio, junto con sus métodos y técnicas, constituye también una parte integral de la Ingeniería de Sistemas.

4.1.3 Clasificación de los problemas de decisión multicriterio

A modo de resumen de lo que se establece en el apartado anterior y de forma general, un problema de decisión multicriterio puede considerar además de varias alternativas de decisión; el que la decisión se realice en miras de más de un objetivo y que obedezca a más de un atributo y que; adicionalmente dicha decisión pueda ser tomada por más de un único centro decisor. Así, dentro de los problemas que la Ingeniería de Sistemas aborda al centrarse en el análisis multicriterio, es posible

encontrar casos diferentes según la variante particular de entre las anteriores que sea considerada.

De tal forma que la clasificación de los problemas de decisión multicriterio que han sido estudiados, considera la existencia, por un lado, de los llamados problemas de decisión multiobjetivo y, por el otro, la de los problemas de decisión multiatributo, considerando que ambos, objetivos y atributos componen el espacio de los criterios. [7]

Como clasificaciones de nivel inferior, una vez hecha la distinción entre los problemas multiatributo y multiobjetivo, se hallan clasificaciones que atienden a que la decisión sea tomada:

- ▶ por uno o por varios centros decisores;
- ▶ considerando un conjunto discreto o continuo de soluciones factibles;
- ▶ bajo condiciones de certeza o incertidumbre y,
- ▶ de ser hecha bajo condiciones de incertidumbre, se ataque de forma probabilística o empleando

lógica difusa

En el caso particular de la problemática que se aborda en este trabajo de investigación, se trata de un problema de decisión multicriterio del tipo multiatributo, siendo las causas de los accidentes de tránsito los atributos que han de encausar la decisión como más adelante se describe. No es un problema multiobjetivo pues obedece a una sola meta: minimizar la ocurrencia de accidentes de tránsito en las carreteras.

92

Adicionalmente, se asume que los accidentes de tránsito ocurren de forma muy similar sobre cada una de las carreteras y, al no contar con información más allá de un año en la base de datos de accidentes, se considera que la decisión se hace bajo condiciones de certeza. Lo anterior es válido dada la alta capacidad de los SIG para modificar las condiciones de análisis en poco tiempo y a muy bajo costo.

4.1.4 *Métodos de solución a los problemas de decisión multicriterio*

Dada la variedad de problemas de decisión multicriterio que existen, se han desarrollado al transcurrir el tiempo, diversos métodos y estrategias para dar solución a los distintos problemas. De cualquier forma, al revisar entre los métodos para dar solución a los problemas de decisión multicriterio es posible encontrar tendencias y por ende, autores como Bernard Roy han clasificado a los métodos multicriterio según tres grupos principales de procedimientos operativos: [8]

- 1) De aproximación a una síntesis bajo un único criterio, donde todas las soluciones son comparables;
- 2) De aproximación a una síntesis bajo un sistema jerarquización, en donde es posible llegar a comparar datos originalmente no comparables y
- 3) De juicio interactivo local con iteraciones de prueba y error

Los métodos que corresponden al tercer grupo son principalmente desarrollados bajo la óptica de los problemas de decisión multiobjetivo, y constituyen lo que se conoce como optimización multicriterio o programación matemática multiobjetivo. Las metodologías de este grupo son las más empleadas cuando se trata de problemas en los cuales los elementos en el espacio de soluciones no son discretos.

En estos métodos del tercer grupo, se produce una especie de diálogo entre los sistemas de cómputo encargados de la solución y los decisores, pues los primeros emiten resultados intermedios a la vez que los usuarios de los mismos indican en reiteradas ocasiones la pauta a seguir por el sistema según sus preferencias. De entre las metodologías más utilizadas que se incluyen dentro de este grupo se encuentran las que aluden a los conceptos de eficiencia, no dominación, aproximación por sumas ponderadas, algoritmos de vectores máximos, nivel de criterios de aspiración, programación por metas, la métrica de Tchebycheff y funciones escalables.

La diferencia básica entre los métodos del primer grupo con respecto de aquellos del segundo radica en la forma en que se introducen las preferencias del decisor o decisores.

Si bien en ambos métodos, las preferencias se indican a priori, en los métodos del primer grupo, las preferencias se agregan a una única función (de valor o de utilidad) que posteriormente ha de optimizarse. Las discrepancias internas entre estos métodos residen en las condiciones de agregación de las preferencias, formas específicas de la función de agregación y los procedimientos con los que dicha función se construye (local y globalmente). Los métodos más importantes dentro de este primer grupo, también conocidos como métodos de la escuela Americana, son los procedimientos MAUT, SMART, UTA, TOPSIS, AHP y G.P. [8, 14]

El segundo grupo, derivado de la llamada escuela Francesa o Europea, se encarga de construir relaciones binarias, conocidas como relaciones de

jerarquización, para representar las preferencias del decisor o los decisores en un principio. En algunos de los procedimientos multicriterio de esta categoría es posible que exista discriminación (indiferencia o preferencia) e incluso veto entre las opciones, a cualquier nivel de criterios, antes de establecer las relaciones de jerarquización. Comúnmente estas relaciones no son ni transitivas ni completas y son utilizadas para poder emitir una recomendación que puede resolver el problema de decisión. La formulación siempre se hace en función de una problemática dada y el apoyo a la decisión no implica necesariamente ni estrictamente resolver el problema de la mejor elección.

Este grupo de soluciones incluye a métodos que no tienen un muy buen fundamento axiomático, pero que en contraste ofrecen una alta calidad pragmática y realista de los resultados que arrojan. Entre los procedimientos principales o familias de métodos se encuentran las metodologías ELECTRE, PROMETHÉE, ORESTE, PRAGMA, REMBRANDT y QUALIFLEX. [7, 13]

4.2 ANÁLISIS ESPACIAL

El segundo conjunto de técnicas en que se fundamenta la propuesta de este trabajo de tesis es el Análisis Espacial, que, como se ha mencionado con anterioridad, parte del estudio de la Geografía.

El Análisis Espacial puede definirse como el conjunto de procedimientos de consulta, integración, análisis y modelado de los datos en función de su distribución geográfica. [12]

Las técnicas propias del análisis espacial son muy diversas y pueden variar desde ser inductivas hasta ser totalmente deductivas, desde probar nuevas teorías hasta comprobar la utilidad de modelos antiguos, e igualmente pueden variar desde ser procedimientos muy simples e intuitivos hasta ser métodos altamente técnicos y rigurosos matemáticamente.

Lo que se busca mediante las metodologías del análisis espacial es, a muy grandes rasgos, utilizar la información espacial para identificar fenómenos a investigar; enseguida modelar dichos fenómenos, luego investigar e interpretar los resultados de los modelos para finalmente llegar a una toma de decisión. Así, para llevar a cabo correctamente el análisis espacial, los pasos a seguir normalmente son los siguientes:

1. Establecimiento de los objetivos y criterios del análisis.
2. Preparación de los datos, tanto espaciales como de atributos para el análisis espacial.
3. Realización de operaciones espaciales (modelado espacial).
4. Aplicación de modelos matemáticos a los datos de atributos utilizando operaciones aritméticas y lógicas.
5. Evaluación e interpretación de los resultados
6. Afinación de los resultados al interpretar las limitaciones del análisis.
7. Producción de los mapas finales y de los reportes

tabulares con los resultados.

8. Toma de decisión

Las metodologías más comunes del análisis espacial son la superposición espacial, el análisis de proximidad, las mediciones espaciales, el modelado matemático principalmente de redes, la geocodificación, el modelado espacial y la geoestadística y, según se menciona en el segundo capítulo de esta tesis, la gran mayoría de los SIG son capaces de llevar a cabo operaciones relacionadas con los conceptos anteriores. [3,12,13]

Superposición Espacial

Se basa en las operaciones de superposición manual de mapas y es una de las funciones más características de los SIG. Se emplea para combinar espacialmente la información de distintos temas con miras a realizar consultas sobre la distribución conjunta de ciertos atributos.

Análisis de proximidad

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

Se crean búferes o zonas de influencia alrededor de los elementos de las capas. Dichas zonas de influencia se pueden generar tomando como base cualquier atributo relacionado con los elementos de las capas aunque, normalmente se emplea la distancia al tratarse de información espacial.

Mediciones espaciales

96

Se determinan las coordenadas de ubicación, se calculan distancias y áreas de los elementos de cada capa. Dentro de un SIG, los cálculos se pueden generar automáticamente para todos o algunos de los elementos de la base de datos espaciales, o bien, pueden ser realizados de forma interactiva por el usuario empleando las interfaces gráficas.

Modelado matemático

El propósito del modelado matemático consiste en

aplicar modelos matemáticos a los datos espaciales a fin de operar con ellos. Los modelos matemáticos a aplicar pueden ser propios de cualquier disciplina que tenga relación con las matemáticas y pueden ser de casi cualquier índole, esto es, desde los que consideran operaciones muy sencillas, hasta los que operan con funciones matemáticas avanzadas.

De entre los modelos matemáticos que se emplean en los SIG sobresalen los del modelado de redes, principalmente en los SIG vectoriales, pues estos se utilizan de forma recurrente para el análisis de rutas óptimas y de capacidades de flujo en las redes.

Geocodificación

Consiste en el uso de los valores de los atributos no espaciales para calcular la localización geográfica de uno o más elementos espaciales de interés. Entre los atributos más comúnmente empleados se encuentran las direcciones en calles y avenidas, así como los identificadores por coordenadas.

Modelado Espacial o Modelado Geográfico

El modelado espacial es el conjunto de reglas y procedimientos matemáticos que tienen en común el uso de información geográfica, a diferencia del modelado matemático que puede emplear datos no espaciales. El modelado geográfico es útil para simular un fenómeno con el objeto de entender una situación, o bien, predecir un resultado futuro.

Los principales tipos de modelado espacial son el modelado geométrico, los modelos de coincidencia y los modelos de adyacencia y puede tratarse de modelos bidimensionales, generalmente mediante el uso de mallas o cuadrículas, o de modelos tridimensionales al emplear modelos digitales de elevación o similares.

Geoestadística

Es la rama de la estadística que considera a las variables aleatorias como continuas, en contraste con la estadística tradicional en donde las variables aleatorias se asumen discretas. Surge a partir de la llamada primera ley de la Geografía enunciada por Waldo Tobler en 1970 y cuyo enunciado dice: “Todo está relacionado con todo y los elementos cercanos están más íntimamente relacionados entre sí.” De igual manera que en la estadística tradicional el objetivo es encontrar correlaciones, en este caso espaciales.

4.3 DESCRIPCIÓN TEÓRICA DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA

La metodología que se propone para mitigar algunos de los aspectos negativos de la problemática de los accidentes de tránsito en las carreteras consiste en el uso conjunto y adecuado de los preceptos del análisis espacial y del análisis multicriterio en ese orden de importancia, es decir, supeditando a la decisión multicriterio a ser parte del proceso del análisis espacial. [4, 5]

Según se hace mención en el apartado anterior, en el análisis espacial se trata de una serie de procedimientos a seguir dentro de una estructura que debe culminar con la obtención de resultados útiles en forma de mapas y reportes. La propuesta de la metodología que es objeto de este trabajo de tesis consiste en que el análisis multicriterio se integre como uno de esos procedimientos, más puntualmente, en los particulares que tienen que ver con los modelados geográfico y matemático.

98

La parte medular de la propuesta consiste en el hecho de que mediante la combinación, tanto de información espacial como de datos de atributos en las bases de accidentes de tránsito en las carreteras, es posible determinar patrones en los momentos de ocurrencia de los accidentes de tránsito y con ello conocer el grado de participación de cada una de las componentes que contribuyen en el suceso de los mismos, pudiéndose resaltar aquellos factores que contribuyeron de forma más notoria en cada uno de los eventos.

Una combinación exhaustiva de todos los atributos, incluyendo la información espacial, para un solo elemento o un solo accidente en este caso, en un único mapa de resultados, muy probablemente redundaría en resultados difíciles de interpretar y en discriminación de algunos factores que, si bien, pueden no tener el grado de participación de otros componentes de los accidentes, también son factores nocivos que quizá aparecen de forma recurrente siendo por ende necesarios de atacar.

La propuesta considera así que las combinaciones de atributos con resultados se hagan de forma gradual, es decir, combinando al principio únicamente dos atributos, después tres y así sucesivamente según los requerimientos de cada caso. Queda claro que se puede profundizar en la combinación de resultados tanto como se desee, sin embargo, la experiencia indica que en la mayoría de los casos, con combinar tres y rara vez hasta cuatro factores es normalmente suficiente.

Se propone entonces que primeramente se hagan mapas temáticos de cada uno de los atributos de la base de datos relacionados a los accidentes de la misma base, logrando con esto la combinación de la componente espacial con cada uno de los diversos atributos. Acto seguido, se propone realizar lo que puede denominarse un cruce de mapas, que bien puede llevarse a cabo por la simple superposición de las capas, o bien desarrollarse mediante modificaciones en las tablas de la base de datos correspondientes al aplicar a los datos de ellas modelos matemáticos con el fin de enfatizar los resultados. Una vez hecho esto, es posible visualizar la relación de la componente espacial con dos atributos. Si se continua con el cruce de mapas, el resultado será la capacidad de observar la relación que un cierto lugar del espacio geográfico guarda para con un conjunto de atributos, compuesto de tres o más de ellos.

Toda vez que se hayan realizado tanto los primeros mapas temáticos como todos los cruces de mapas subsecuentes se propone que se realice la

interpretación de los resultados que con certeza ha de conducir a conclusiones relevantes en las que incluso deben considerarse aspectos ajenos a los mapas en sí, como pueden ser cuestiones económicas, sociales, políticas y culturales dominantes en la zona del análisis. Algunos autores consideran que el objetivo del análisis espacial puede resumirse en: encontrar patrones o tendencias; cuantificar dichas tendencias y finalmente darles explicación. [14]

El análisis multicriterio participa al momento de seleccionar los atributos más importantes para el análisis, pues puede que no sea necesario considerar todos los atributos en el particular de cada caso de estudio. Igualmente, el análisis multicriterio ha de participar al momento de interpretar los resultados y determinar las acciones que son preponderantes en el momento correspondiente.

Cabe mencionar que el análisis multicriterio que se emplea en este trabajo es un análisis en un nivel bastante cualitativo y no tanto dentro de las

metodologías matemáticas, lo cual es válido si se considera la existencia de métodos como aquellos de la escuela Europea (Ej. ELECTRE, PROMETHÉE), mismos que a la postre rinden buenos resultados. Esto, sin embargo, no debe significar que métodos multicriterio más complejos, e incluso procedimientos de programación multiobjetivo, no sean susceptibles de ser implementados.

100

4.4 DESCRIPCIÓN PRÁCTICA DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA

Siguiendo los pasos del análisis espacial anteriormente descritos, se plantean los procesos a seguir para llevar a cabo el análisis de los accidentes de tránsito en carreteras, así, uno a uno se indican los eventos que deben cubrirse para lograr un resultado positivo.

4.4.1 *Establecimiento de los objetivos y criterios del análisis*

En este punto se debe poner especial énfasis en la parte que se desea atacar de la problemática de los accidentes de tránsito, pues si bien se pueden seguir muchos de los objetivos planteados por los diversos programas en materia de prevención de accidentes de tránsito, es necesario decidirse únicamente por algunos de ellos y que no estén en conflicto. Pueden elegirse objetivos en conflicto, como el minimizar total de accidentes por mal estado del camino y minimizar el costo de mantenimiento a la infraestructura por ejemplo, siempre y cuando se tenga en cuenta el empleo de metodologías multicriterio que colaboren a solucionar los conflictos.

Como criterios deben considerarse a los objetivos que sean establecidos así como aquellos con que se piense discriminar a los datos de la información disponible respecto de sus atributos.

Como objetivos particulares del análisis espacial de este trabajo de tesis se consideran la identificación

de los factores que contribuyen de forma más notoria al causar los accidentes de tránsito en una región determinada así como la identificación de las acciones a tomar una vez que se han hallado dichas causas, una de dichas acciones es lograr una clasificación de los caminos que explique su comportamiento ante los accidentes de tránsito.

4.4.2 Preparación de los datos, tanto espaciales como de atributos para el análisis espacial

Se deben considerar todos los procedimientos necesarios para contar con datos útiles dentro del SIG así como valiosos para los fines del estudio planteado.

En lo referente a la información del SIG deben considerarse aspectos particulares de los datos geográficos como son los formatos de los archivos y su compatibilidad con los paquetes de cómputo, así como sus proyecciones geográficas, sus escalas de levantamiento de origen y los métodos con que

fueron obtenidos, en resumen, considerar los aspectos descritos en el capítulo 2 cuando se refiere a la calidad de los datos.

Igualmente para los datos de atributos se debe corroborar su validez espacial y temporal y si satisfacen los requerimientos del proyecto en cuestión en cuanto a formatos y contenido. Así, se debe considerar que la información de atributos sea realmente de utilidad y no resulte redundante o difícil de emplear, pues por posible que sea su empleo, en ocasiones es muy costoso en términos de tiempo.

En el particular de los accidentes de tránsito en carreteras se debe procurar contar con información de las carreteras, de los usuarios, operarios y facilitadores de las mismas y, desde luego, de los accidentes que han ocurrido en ellas.

En el caso de estudio de la presente tesis se cuenta con datos geográficos adecuados al formato del software del SIG ArcView 3.2 y a algunos otros

compatibles con él, sin embargo, para llevar a cabo un análisis como el que en esta tesis se plantea, puede emplearse cualquier software de SIG, preferentemente vectorial.

En este caso particular se cuenta con una base de datos espacial de accidentes y además con algunas otras bases de datos de atributos relacionadas con los accidentes como lo son las que incluyen información de tránsito en las carreteras y de accidentes en formato de hoja de cálculo.

102

4.4.3 Realización de operaciones espaciales (modelado espacial)

Luego de haberse comprobado que los datos disponibles para el estudio son útiles dentro del SIG, deben prepararse dentro de dicho programa para facilitar su análisis posterior. Así por lo general deben llevarse a cabo operaciones de combinación de datos, de simplificación al eliminar datos redundantes, de deducción de información espacial

a partir de la disponible, de generación de subrutinas accesorias a los datos y generalizando, procesos que faciliten las operaciones subsecuentes con los datos.

En la mayoría de los proyectos relacionados con la problemática de los accidentes de tránsito un problema común es la procedencia no única de los datos, es decir, es usual contar con datos que proceden de varias instancias, incluso ajenas al Transporte, y los datos deben ser re proyectados, pegados, depurados y ordenados para poder emplearles de forma simple y conjunta.

En el particular de la propuesta metodológica de este proyecto se recomienda preparar toda la información referente a los accidentes hasta que se pueda considerar apta para el análisis, esto es, con la información de todos y cada uno de los atributos y de todos los accidentes dentro una misma base de datos, con identificadores congruentes y compatible con otra base de datos, si no la misma, que debe contener la información de las carreteras y de los actores humanos relacionados con ellas.

4.4.4 Aplicación de modelos matemáticos a los datos de atributos

Una vez que los datos están listos para su análisis es factible comenzar con la aplicación de modelos matemáticos sobre ellos. Para ello, según se ha revisado, la mayoría de los SIG permiten exclusivamente el uso de funciones aritméticas y lógicas.

En el particular de la propuesta metodológica que se aborda, se recomienda aplicar sobre los datos modelos matemáticos que calculen parámetros importantes para el análisis de accidentes si es que no se cuenta con ellos. Como ejemplos el calcular el Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) en las vialidades, o bien la determinación de los totales de muertos y lesionados en cada tramo de las carreteras. De la misma forma se deben emplear procedimientos de análisis multicriterio para dar prioridad a algunos de los atributos o datos y

discriminar otros.

Es en ambos pasos, en el actual y en el anterior, en donde el cruce de mapas debe prepararse y realizarse, de tal forma que todas las variables que han de figurar en cada nuevo mapa resulten ser lo más explícitas posible. Explicar en detalle las operaciones para cada par o tercia de atributos, incluidos los espaciales, que deben realizarse resulta extenso y tal vez no tiene mucho sentido, pues las operaciones dependen siempre de los datos con que se cuenta.

Más adelante en el presente trabajo se presenta el caso de estudio, para el cual se indican las operaciones matemáticas que se llevan a cabo, con la información disponible, para realizar los mapas temáticos.

4.4.5 Evaluación e interpretación de los resultados

Una vez que ya se tienen los mapas temáticos es

posible detectar patrones mediante métodos intuitivos o mediante procedimientos más pragmáticos que permitan encontrar tendencias que afectan a los objetivos del proyecto.

Así, en el método que aquí se propone, la evaluación e interpretación de los resultados se hace en función de encontrar tendencias que lleven a explicar la participación de cada uno de los factores en la ocurrencia de los accidentes de tránsito, así como de tendencias que permitan llegar a una clasificación de los diversos tipos de carreteras según la forma en que ocurren los accidentes de tránsito en ellas.

104

4.4.6 Afinación de los resultados al interpretar las limitaciones del análisis

Generalmente, cuando ya se han obtenido resultados, es necesario validar los mismos. Es común la práctica de análisis de sensibilidad entre otros.

La particularidad en el caso de esta propuesta

metodológica radica en que una vez que se han detectado factores principales o tipos de accidentes, debe practicarse una segunda vez un análisis multicriterio que permita determinar los más sobresalientes de entre los primeros resultados.

4.4.7 Producción de los mapas finales y de los reportes tabulares con los resultados

Así, finalmente es posible trazar mapas y emitir reportes con datos concretos y comprobados que deben resultar de utilidad según los objetivos del estudio.

En el particular de la propuesta metodológica de esta tesis se plantea que es importante no solo el trazo de mapas finales, sino que también es importante considerar los mapas y los reportes con conclusiones intermedios pues en ellos se basa en buena medida el análisis.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ávila, R. M., *El AHP (proceso analítico jerárquico) y su aplicación para determinar los usos de las tierras. El caso de Brasil*, FAO, Proyecto regional "Información sobre tierras y aguas para un desarrollo agrícola sostenible", Santiago, Chile, 2000
- [2] Densham, P., *Unit 59 – Spatial Decision Support Systems*, en <http://www.geog.ubc.ca/courses/klink/gis.notes>, Department of Geography, University of British Columbia, Vancouver, Canadá, 2004
- [3] Domínguez, J., *Breve Introducción a la Cartografía y a los Sistemas de Información Geográfica (SIG)*, Informe Técnico No. 943 Ciemat, CIEMAT, Madrid, España, 2000
- [4] Hajar M. C., *Utilidad del análisis geográfico en el estudio de las muertes por atropellamiento*, Salud Publica de México, Vol. 42, No.3, Ciudad de México, México, 2000
- [5] Keller, P., *Unit 57 – Decision Making Using Multiple Criteria*, en <http://www.geog.ubc.ca/courses/klink/gis.notes>, Department of Geography, University of British Columbia, Vancouver, Canadá, 2004
- [6] Klinkenberg, B., *Apuntes de la asignatura "Graduate GIS Seminar"*, en <http://www.geog.ubc.ca/courses/geog516/notes/>, Department of Geography, University of British Columbia, Vancouver, Canadá, 2004
- [7] Malczewski, J. *GIS and Multicriteria Decision Analysis*, John Wiley & Sons, Inc., Nueva York, Estados Unidos de Norteamérica, 1999
- [8] Martel, J. M., *Multicriterion Decision Aid: Methods and Applications*. Faculté des sciences de l'admmistración, Université Laval, Quebec, Canadá, 1999
- [9] Mendoza, G. A. et al., *Guidelines for applying*

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

Multi-Criteria Analysis to the Assessment of Criteria and Indicators, C&I Tool No. 9. CIFOR, Bogor, Indonesia, 1999

[10] Monteiro, L. F. A. y Machado, A. M., *Da Informação à Tomada da Decisão: Agregando Valor Através dos Métodos Multicritério*, RECITEC – Revista de Ciência e Tecnologia, Vol. 2, No. 2, Recife, Brasil, 1998

106

[11] Romero, C., *Análisis de las Decisiones Multicriterio*, Isdefe, Madrid, España, 1996

[12] Sadahiro, Y., *Apuntes de la asignatura "Spatial Analysis and GIS"*, Department of Urban Engineering, University of Tokyo, Tokio, Japón, 2004

[13] Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, *Conceptos sobre SIG y geoprocesamiento*, en <http://www.medioambiente.gov.ar/geoinformacion>

/, Ministerio de Salud y Ambiente, Buenos Aires, Argentina, 2004

[14] Steuer, R. E., *Multiple Criteria Optimization and Computation*, Terry College of Business, University of Georgia, Atenas, Estados Unidos de Norteamérica, 2004

[15] Watson, S., *Spatial Analysis and GIS*, en http://www.centralcoastdata.org/public_html/, The Central Coast Joint Data Committee, California, Estados Unidos de Norteamérica, 2003

[16] Yagoub, M. M., *Apuntes de la asignatura "Introduction to Geographic Information System (GIS)"*, en <http://www.angelfire.com/mo/yagoub/>, College of Humanities and Social Sciences, United Arab Emirates University, Al-Ain, Emiratos Árabes Unidos, 2002

CAPÍTULO 5

CASO DE ESTUDIO

107

En el capítulo final del este trabajo se presenta el caso de estudio que consiste en la aplicación de la metodología propuesta en el capítulo anterior sobre una red de carreteras reales, utilizando además datos de la base de Accidentes en las Carreteras Federales de 1997. La citada base de datos fue levantada y organizada por la Policía Federal Preventiva (PFP) y, posteriormente, procesada para SIG por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT).

Al principio de este apartado se presenta la forma en que se hizo la selección del caso de estudio para después ofrecer una visión general de las principales características geográficas y de atributos del entorno vial del mismo. Posteriormente se dan a conocer las variables disponibles en la base de datos de la PFP,

así como en otras consultadas, y la manera en la que, de entre dichas variables, se seleccionaron aquellas a utilizar en el caso de estudio. Por último se presentan los resultados del caso de estudio en dos de sus fases: luego de realizar los mapas temáticos más simples y después de generar los mapas completos mediante el cruce de variables. Para la visualización de los mapas, estos se incluyen en un anexo al presente estudio.

5.1 SELECCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

La elección del grupo de carreteras a emplear dentro del caso de estudio, se hizo atendiendo a criterios

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

que permitieran contar con un conjunto de vialidades sencillas de analizar, pero que a la vez cubrieran la mayor cantidad de aspectos que pueden determinar en las vías distintos comportamientos ante el fenómeno de los accidentes de tránsito.

Una restricción en la selección del grupo se da por la base de datos disponible, pues en la misma no se incluyen sino carreteras federales, lo cual excluye a muchas vialidades, que si bien son importantes, son de jurisdicción estatal o municipal. Adicionalmente, se excluyen algunas carreteras que están dentro de la zona y dentro de la base de datos por resultar redundantes pues no diversifican de forma considerable la selección, es decir tienen características muy similares a aquellas que sí se analizan.

En otro orden de ideas, el caso de estudio, además de presentar un ejemplo didáctico de la aplicación de la metodología que en este trabajo se propone, pretende aportar un esbozo de lo que debe ser una

solución práctica de la problemática, para una de las zonas más marginadas de nuestro país con todo lo que ello implica, como lo son la existencia de una incipiente infraestructura médica para la atención de los accidentes de tránsito, elevados niveles de mortandad y morbilidad, así como importantes rezagos económicos y en materia de igualdad social.

Así, dada la información disponible y luego de sopesar las expectativas, restricciones y posibilidades reales de aplicación del método propuesto, el grupo de carreteras resultante para el caso de estudio está compuesto por las principales vías de enlace por modo carretero entre el sureste de México y el centro del país. A muy grandes rasgos, la comunicación entre tales regiones geográficas se realiza utilizando dos ejes carreteros principales: el primero corre sobre la llanura costera del Golfo de México y el otro por el litoral del océano Pacífico y posteriormente dentro del Estado de Oaxaca.

En el sureste mexicano, de los planes de desarrollo regional, el más importante es el llamado Plan Puebla

– Panamá (PPP), que a grosso modo consiste en una serie de estrategias para fomentar el desarrollo simultáneo y conjunto de las entidades federativas del sur – sureste de México y de las naciones centroamericanas.

Aún cuando dicho programa ha sido objeto de múltiples y severas críticas por no considerar en un principio cuestiones relevantes y particulares de la región, como la diversidad cultural y social de los pobladores de la misma o mecanismos garantes de la sustentabilidad en la explotación de los recursos naturales de la zona, los países involucrados han decidido apoyar el PPP, y adicionalmente llevar a cabo frecuentes enmiendas que resarcen las omisiones iniciales. Actualmente, el PPP es un programa más aceptado y que parece evolucionar con un ritmo más favorable que en sus inicios.

En el particular del transporte, uno de los ocho apartados principales del PPP, se considera entre otros aspectos la integración de la región mediante dos grandes ejes carreteros, denominados Corredor

del Atlántico y Corredor del Pacífico, respectivamente. Dichos ejes, coinciden en territorio de México con los referidos previamente. Una descripción más detallada del recorrido de dichos ejes carreteros en territorio mexicano es la que se presenta a continuación.

Corredor del Atlántico

El Corredor del Atlántico va desde México a El Salvador y en territorio mexicano corre como sigue: a partir de Puebla, se dirige hacia Veracruz en el este. Antes de llegar a la costa del Golfo de México, se desvía hacia el sur para tocar Coatzacoalcos en el Estado de Veracruz, se dirige al este pasando por Villahermosa en Tabasco, Escárcega en Campeche, y a través del Estado de Quintana Roo, hasta Chetumal en la frontera con Belice. [4]

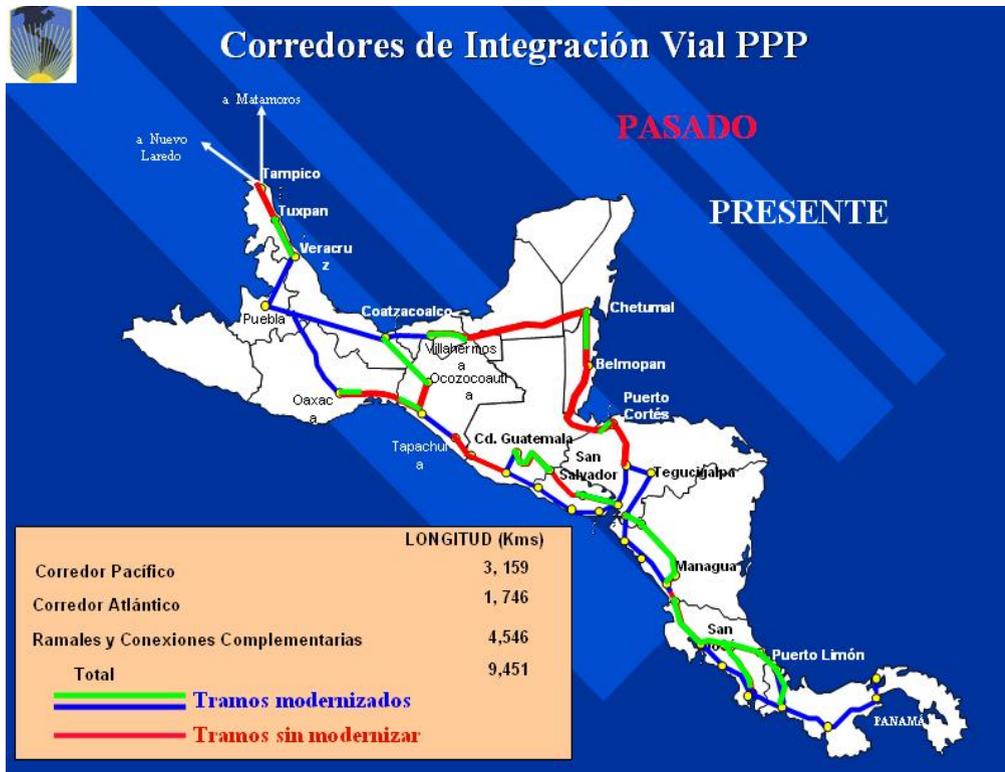
Corredor del Pacífico

El objetivo del Corredor del Pacífico, también

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

conocido como corredor Puebla – Panamá, es la rehabilitación y mejoramiento del corredor vial entre las ciudades de Puebla en México y Panamá en Panamá, siguiendo la ruta del litoral Pacífico.

110



Corredores del PPP
 Fuente: <http://ppp.sre.gob.mx>

En México, desde la ciudad de Puebla se dirige al sur a la ciudad de Oaxaca pasando previamente por Tehuacan. Continúa hacia el sureste y llega a Tehuantepec, en el Istmo del mismo nombre, desde donde parte al noreste hacia La Ventosa y luego al este hacia el Estado de Chiapas: pasa por Arriaga, Tapachula y Ciudad Hidalgo, localidad en la frontera con Guatemala. [4]

Para el caso de estudio de la presente tesis se consideran únicamente los tramos de los dos corredores que se localizan dentro de los Estados de Puebla, Veracruz, Oaxaca, Tabasco y Chiapas, es decir, no se consideran los tramos en Campeche y Quintana Roo.

Adicionalmente se toman en cuenta otros tramos carreteros que enlazan a los dos ejes carreteros, que para el PPP son considerados ramales. En este caso se incluye a los tramos: Oaxaca – Tuxtepec – Cosamaloapan, La Ventosa – Sayula a través del

Istmo de Tehuantepec y la red carretera principal del Estado de Chiapas a 1997, compuesta por varios tramos carreteros que a saber son: la carretera Panamericana desde Tapanatepec hasta Ciudad Cuauhtémoc y que pasa por Tuxtla Gutiérrez, San Cristóbal de las Casas y Comitán de Domínguez; así como dos tramos que enlazan la carretera Panamericana con el Corredor del Atlántico, uno desde un entronque entre Tuxtla Gutiérrez y San Cristóbal de las Casas hasta Villahermosa, Tabasco, y el otro que, partiendo desde cerca de San Cristóbal de las Casas, pasa por las ciudades de Ocosingo y Palenque antes de entroncar con el Corredor. Igualmente se considera el enlace entre la carretera Panamericana y el Corredor del Pacífico, consumado por el tramo vial entre las cercanías de Ciudad Cuauhtémoc y Huixtla en la costa de Chiapas.

En la siguiente figura se observan gráficamente los tramos del caso de estudio en su conjunto:



5.2 GENERALIDADES GEOGRÁFICAS DEL CASO DE ESTUDIO

Con el objeto de hacer una descripción de los elementos más importantes de la Geografía del caso de estudio, se presentan en este apartado de forma muy somera algunas de las principales características geográficas, tanto físicas como socioeconómicas de la región.

5.2.1 *Características Físicas*

Las carreteras de la región del caso de estudio corren sobre distintos tipos de relieve, los cuales se distribuyen según varios accidentes geográficos importantes. [5]

La región en cuestión ocupa partes de 5 Entidades Federativas que son: al noroeste Puebla, al norte Veracruz, al noreste Tabasco y al sur: Oaxaca y Chiapas, estando aquel más al oeste.

De la superficie ocupada por el caso de estudio en los estados de Veracruz y Tabasco, ambos con costas hacia el Golfo de México, el terreno es plano, es decir únicamente se presentan desniveles mínimos ya que dichas entidades Federativas se ubican sobre la planicie conocida como Llanura Costera del Golfo. Dado lo anterior, las carreteras dentro del caso de estudio, correspondientes al Corredor del Atlántico del PPP, corren de forma paralela al litoral del Golfo de México, sobre terrenos llanos.

Los tramos carreteros en Puebla, al norte, viajan a altitudes considerables pues el centro del ese estado en donde se ubica la ciudad de Puebla, su capital, pertenecen a terrenos de una meseta existente entre las dos principales cordilleras de México: la Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre Occidental.

El relieve en la mayor parte del estado de Oaxaca es accidentado dada la confluencia de la Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre Occidental. Por ello, los tramos del Corredor del Pacífico procedentes de Puebla, en su paso por dicho estado incluyendo el

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

paso por la capital del mismo, se mantienen en altitudes elevadas alrededor de los 2000 m. s. n. m. El Corredor del Pacífico prosigue hasta Tehuantepec, en el litoral del Pacífico, por lo que la carretera desciende gradualmente desde el centro de Oaxaca hasta llegar a muy pocos metros sobre el nivel del mar. El descenso comprende tramos sobre lomeríos y montañosos.

114

De manera similar ocurre con dos caminos que unen a los corredores Atlántico y Pacífico; el primero entre Puebla y Orizaba y el segundo entre Oaxaca y la zona de Tuxtpec; pues en ambos casos se debe atravesar la Sierra Madre Oriental para después bajar de forma abrupta hacia la llanura Costera del Golfo. Se presentan entonces tramos sobre terrenos montañosos y lomeríos, con pasajes por altitudes cercanas a los 3000 m. s. n. m.

Además de los dos caminos del párrafo anterior, descienden de la Sierra Madre Oriental al Golfo de México una gran cantidad de corrientes de agua, que llegan a ser en ocasiones ríos caudalosos como

el Papaloapan o el Coatzacoalcos.

La orografía del estado de Chiapas es complicada pues le atraviesan en dirección noroeste – sureste, dos sistemas montañosos: la Sierra Madre de Chiapas y la Sierra Norte de Chiapas, estando la primera más hacia el sur. Entre la Sierra Madre del Chiapas y el Pacífico se encuentre la llanura Costera del Pacífico e igualmente, al norte de la Sierra del Norte de Chiapas se encuentran el estado de Tabasco y la llanura Costera del Golfo. Entre ambas cordilleras existen dos accidentes importantes: los Altos de Chiapas la Depresión Central del Chiapas. Los Altos de Chiapas es en donde las montañas del norte de Chiapas presentan sus mayores altitudes y en donde también existe una meseta que abarca desde la zona de San Cristóbal de las Casas hasta la zona de Comitán de Domínguez casi limítrofe con Guatemala. A lo largo de la Depresión Central de Chiapas corre el Río Grijalva o Grande de Chiapas. La zona se caracteriza por la existencia de llanuras y terrenos inundados por las corrientes de agua o los embalses al Río Grijalva.



Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

Dado lo complejo del relieve de Chiapas, las carreteras que cruzan por este estado, generalmente lo hacen con fuertes cambios de elevación a través de terrenos montañosos, excepto el Corredor del Pacífico que viaja sobre la llanura costera del Pacífico y la Carretera Panamericana en un tramo sobre la meseta antes descrita.

Entre las serranías de Oaxaca y Chiapas se localiza el Istmo de Tehuantepec, que es una zona caracterizada por lomeríos y desniveles moderados. Sobre el Istmo de Tehuantepec corren dos de los tramos del caso de estudio; uno perteneciente al corredor del Pacífico y otro que comunica el corredor del Pacífico y el del Atlántico entre Tehuantepec en Oaxaca y Sayula en Veracruz.

Al estar ubicada toda la zona del caso de estudio en una región tropical, la vegetación es abundante y muy diversa, compuesta principalmente por pastizales y selvas en las zonas bajas, y por bosques en las zonas de mayor altitud. La zona noreste, entre Puebla y Oaxaca es la única porción árida dentro del

caso de estudio, pues se presenta vegetación de tipo semidesértico.

El clima es caluroso sobre casi toda la región, excepto en las zonas altas al oeste de la Sierra Madre Oriental y en el centro de Chiapas, en donde el clima es más templado. Respecto de las lluvias, en la totalidad de la región del caso de estudio se observan precipitaciones intensas durante la mayor parte del año, excepto en invierno. En Veracruz y Tabasco son frecuentes los nortes y esporádicamente se presentan huracanes. [5]

En invierno se presentan heladas en las zonas más altas, principalmente en Puebla y en los Altos de Chiapas.

5.2.2 Características Socioeconómicas

La gran variedad de relieves así como la diversidad climática favorecen la existencia de una serie amplia de actividades económicas en la zona, más aún si se consideran la extensión territorial y la diversidad

cultural de la misma.

En la región coexisten gran cantidad de grupos étnicos y mestizos, principalmente en los estados de Chiapas y Oaxaca. Algunos de los grupos étnicos conservan sus costumbres muy arraigadas, preponderantemente idioma y forma de gobierno; sin embargo, al igual que en todo el mundo, la tendencia es hacia la adopción, y en ocasiones imposición, de la llamada cultura occidental.

En el medio rural se practican extensivamente la agricultura y la ganadería. La pesca se realiza en menor escala. Los cultivos principales en toda la zona son el maíz y el frijol, pero también se cultivan arroz, café, otros cereales, caña de azúcar y frutales como cítricos, mango, piña y plátano.

Las actividades comercial e industrial se llevan a cabo en las ciudades con la característica de que el comercio de bienes y servicios es intenso y, a pesar de la riqueza en recursos de la región, la actividad industrial en la zona es escasa y de origen reciente.

Las zonas más industrializadas se encuentran cerca de la ciudad de Puebla y en la zona metropolitana de Córdoba y Orizaba en el estado de Veracruz.

Cabe mencionar que en el litoral del Golfo de México, tanto en el sur de Veracruz como en Tabasco, es de gran importancia la industria petrolera, extractiva y petroquímica. En el centro de Oaxaca y en el centro – norte de Chiapas son importantes las actividades turísticas.

En cuanto a los medios de transporte, además de las carreteras seleccionadas conforman la red vial algunas otras carreteras federales y un buen número de carreteras estatales y municipales. En la figura 5.3 se observa la red carretera completa y en la figura 5.4 se presentan algunas de las características importantes de las carreteras del caso de estudio.

Para el transporte aéreo existen aeropuertos importantes en las ciudades de Puebla, Veracruz, Minatitlán – Coatzacoalcos, Tuxtla Gutiérrez, Villahermosa y Tapachula; y de menor relevancia en

Palenque, Oaxaca, San Cristóbal de las Casas y Tuxtpec.

En la región existen puertos marítimos importantes en la ciudad de Veracruz y Coatzacoalcos en el estado de Veracruz, así como en Dos Bocas y Frontera en Tabasco. En el litoral del Pacífico el puerto más importante para la zona es Salina Cruz, cerca de Tehuantepec y, en mucho menor grado, Puerto Madero en el área de Tapachula en Chiapas.

118

5.3 DESCRIPCIÓN DE LA BASE DE DATOS Y VARIABLES A EMPLEAR

La base de datos “Accidentes en Carreteras Federales de 1997”, de la PFP contiene diversas variables o campos que se refieren a los atributos más importantes y directamente obtenibles relacionados con los accidentes de tránsito.

Dichas variables se pueden agrupar en cuatro grandes grupos:

- ▶ Factores de los accidentes
- ▶ Momento en el que ocurre el accidente
- ▶ Saldos
- ▶ Otros

Dentro del primer grupo de variables, quienes levantan la información de los accidentes estiman el factor que más contribuyó para desencadenar cada accidente, clasificando a los siniestros dentro de una de las 38 probables causas que se muestran en la tabla 5.1.

Respecto del momento en que se presenta el accidente, se recopilan la hora y la fecha. Como información adicional, la PFP ofrece en la base de datos, la información procesada del día de la semana para cada accidente, esto es, evitan la necesidad de referirse al calendario según la fecha.

Los saldos de los accidentes que son registrados al llevar a cabo un levantamiento son el del número de muertos y heridos, si los hubo, el de los daños

materiales, el del número de participantes y el del tipo de accidente acontecido. Naturalmente, los daños materiales son estimados y el tipo de

accidente acontecido se evalúa según la clasificación de la tabla 5.2.

CIRCUNSTANCIAS QUE CONTRIBUYERON			
DEL CONDUCTOR	DEL VEHICULO	DEL CAMINO	AGENTE NATURAL
1 Imprudencia o intención	15 Llantas	26 Irrupción de ganado	33 Lluvia
2 Velocidad excesiva	16 Frenos	27 Desperfectos	34 Nieve o granizo
3 Invadió carril contrario	17 Dirección	28 Falta de señales	35 Niebla o humo
4 Rebasó indebidamente	18 Suspensión	29 Objetos en el camino	36 Tolvaneras
5 No respetó señal de alto	19 Luces	30 Mojado	37 Vientos fuertes
6 No respetó semáforo	20 Ejes	31 Resbaloso	38 Otro
7 No cedió paso	21 Transmisión	32 Otro	
8 No guardó distancia	22 Motor		
9 Viró indebidamente	23 Sobrecupo o sobrecargado		
10 Mal estacionado	24 Exceso de dimensiones		
11 Estado de ebriedad	25 Otros		
12 Bajo efectos de droga			
13 Dormitando			
14 Deslumbramiento			

Tabla 5.1. Posibles valores de las variables de factores.

Fuente: [6]

Otros datos adicionales que complementan la información de la base de datos son el tipo de vehículos participantes en cada accidente, ver tabla

5.3 y, aunque dentro de la clasificación de la tabla citada, se cuenta con la posibilidad de levantar la información del tipo de licencia de los conductores así como del tipo de servicio que el vehículo presta, e

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

incluso su marca comercial, dicha información no se incluye dentro de la base de datos.

Por otra parte el IMT, al preparar la información para SIG, agrega a la base de datos información útil referente a las carreteras mediante dos de las capas. Se tienen los datos de los volúmenes de tránsito de vehículos de 1996 para tramos carreteros completos o para segmentos de 500 m de carretera. Tales valores de volúmenes de tránsito se encuentran también ya procesados y en la base de datos es posible consultar el valor del tránsito diario promedio anual (TDPA) de 1996. [6]

Información adicional que ofrece al estudio el Instituto de Geografía de la UNAM son: una capa de cabeceras municipales con nombres y población de cada una de las localidades y una capa con la información más esencial de los estados de la República Mexicana. [7]

Adicionalmente se cuenta con información acerca de la clasificación de las carreteras según el tipo de

camino que son y según el tipo de terreno sobre el que corren. [1, 5]

TIPO DE ACCIDENTE	
1	Salida del camino
2	Volcadura
3	Caída de pasajero
4	Incendio
5	Choque
6	Otro
7	Atropellamiento

Tabla 5.2. Posibles valores de la variable tipo de accidente.

Fuente: [6]

Dadas las diversas fuentes de datos, a continuación se presenta un resumen de las variables que se consideran útiles para el presente estudio. El número entre paréntesis representa la cantidad de posibles valores que puede adquirir cada variable.

1. Factores

Factor humano (14)

Factor vehículo (11)

Factor camino (7)

Factor agente natural (6)

2. Momento del accidente

- Día de la semana (7)
- Hora del día (8, se agrupan de 3 en 3 horas)
- Mes (6, por bimestre)

3. Saldos

- Participantes (∞)
- Muertos (∞)
- Lesionados (∞)
- Tipo de Accidente (7)
- Costos (∞)

4. Otros atributos

- TDPA (∞)
- Tipo de vehículo (25)
- Tipo de carretera (3)
- Tipo de terreno (3)

Como se puede observar, de entre las variables más importantes sobresalen las que aluden a los factores

que contribuyen a los accidentes, sin embargo también es posible notar que la estructura con que se recopila la información presenta ambigüedades, pues aparecen valores que no son específicos o hay dificultad para acotar entre dos o más de ellos, como entre tolvaneras y vientos fuertes o entre mojado y resbaloso.

Por otro lado, las variables han de emplearse en cada estudio con cautela ya que existen sesgos debido a quien levanta y reporta la información de los accidentes. Incluso, al revisar fuentes oficiales, se pueden encontrar sentencias como la del párrafo siguiente:

“Considerar que los accidentes en carreteras federales se deben primordialmente al exceso de velocidad es resultado de un análisis simplista de los hechos y a la carencia de cifras confiables. Con frecuencia éstas son modificadas a conveniencia del generador de los datos o a los sesgos que el usuario mismo les impone.” [2]

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

TIPO DE LICENCIA	TIPO DE SERVICIO	TIPO DE VEHÍCULO
1 Automovilista	1 S. P. F.	A Automóvil
2 Chofer	2 S. P. E.	B Bicicleta
3 Motociclista	3 Particular	C Camión hasta Thorton
4 "A" SCT	4 Oficial	CAJ Camión caja
5 "B" SCT	5 No reporta	FER Ferrocarril
6 "C" SCT		M Motocicleta
7 "D" SCT		MIC Microbús
8 "E" SCT		NR No reporta
9 Automovilista Ext.		O Omnibús
10 Chofer Ext.		P Pick Up (hasta 3 toneladas)
11 Motociclista Ext.		PE Peatón
12 Sin licencia		PLA Camión plataforma
		RED Camión redilas
		REF Camión refrigerador
		TC Trailer con semirremolque tipo caja
		TE Transporte Especializado
		TG Trailer góndola
		TOL Camión tolva
		TP Trailer con semirremolque tipo plataforma
		TR Trailer con semirremolque de redilas
		TT Trailer con semirremolque tipo tanque
		TTO Trailer tolva
		TV Trailer volteo
		VOL Camión volteo
		X Otros
CARGA		
1 Percederos		
2 Productos del campo		
3 Materiales para construcción		
4 Mudanzas		
5 Carga en general		
6 Carga especializada		
7 Materiales y sustancias peligrosas		
8 Derivados del petróleo		
9 Abarrotos en general		
10 Otros		
11 Vacío		
12 Pasajeros		

Tabla 5.3. Variables adicionales y posibles valores de la base de datos de la PFP.

Fuente: [6]

Dado lo anterior, es muy conveniente realizar un minucioso análisis de los pesos con que se evalúa cada una de las variables, e incluso conviene diferenciar entre los posibles valores de cada una de ellas. Justamente aquí es en donde resulta valioso una vez más el análisis multicriterio.

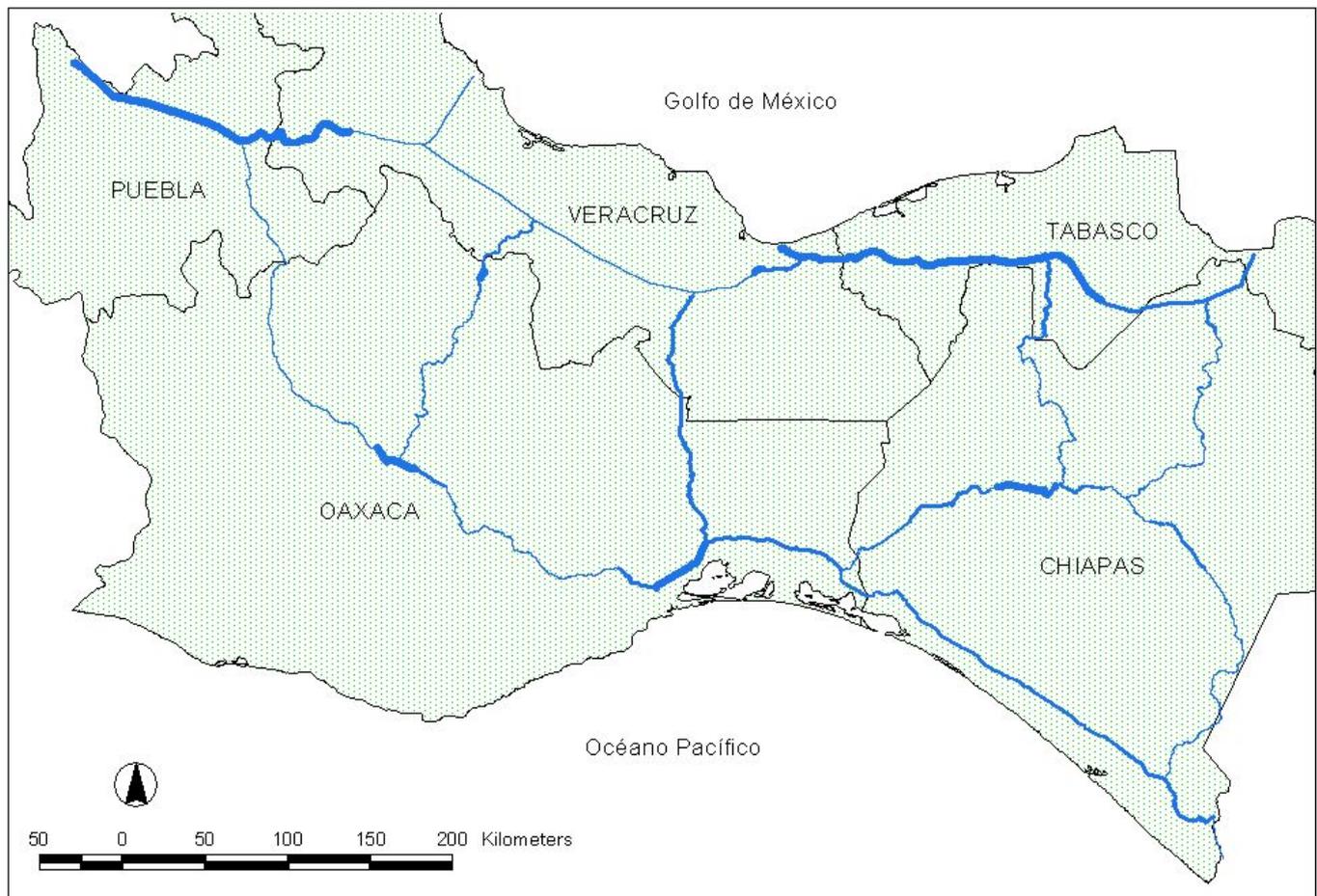
5.4 RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESPACIAL DE LOS MAPAS TEMÁTICOS A UNA VARIABLE

Luego de elaborar y revisar uno a uno los mapas temáticos y cada una de las variables es posible detectar ciertos patrones de comportamiento del fenómeno de los accidentes de tránsito en carreteras. Así, en esta sección se discuten los más importantes de los resultados que del análisis de cada uno de los mapas temáticos se obtienen.

Salvo el TDPA que se detalla antes que todos los otros grupos de variables, no se profundiza en la descripción de las variables del grupo 4), otros atributos, pues su comportamiento se describe anteriormente cuando se hace referencia a las características físicas geográficas de la región del caso de estudio. Inmediatamente después de describir el TDPA, se presenta una imagen que indica el tipo de carretera que se tiene en cada caso. El orden con que se presentan los demás grupos de variables antes descritos es el siguiente: 1) Factores, 2) Momentos de ocurrencia y 3) Saldos de los accidentes

5.4.1 *Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA)*

Las carreteras con valores más altos de TDPA son los



CASO DE ESTUDIO

Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA)

Propuesta Metodológica
de Aplicación de los SIG
para Prevención de
Accidentes en Carreteras
Ing. Raúl Espinoza Jiménez
Agosto 2004

tramos entre Puebla y Córdoba, entre Cárdenas y Villahermosa y en las cercanías de la ciudad de Oaxaca, en ese orden, con valores de TDPA de entre 9,000 y 17,000 vehículos. Se trata de tramos entre ciudades importantes y con una intensa actividad económica.

En el caso de Puebla – Córdoba cabe agregar que se trata de parte del eje troncal México – Veracruz, que enlaza la capital del país con el puerto más importante del litoral del Atlántico, lo cual contribuye de manera preponderante en los valores elevados de TDPA. Por otra parte, la gran mayoría de vehículos que viajan entre la Ciudad de México y el sureste de la República, lo hacen sobre este mismo tramo.

Con TDPA de entre 5,500 y 9,000 vehículos les siguen los tramos carreteros entre Tehuantepec y la Ventosa en Oaxaca, Tuxtla Gutiérrez y Berriozábal en Chiapas y entre Coatzacoalcos, Veracruz y Cárdenas, Tabasco, que son zonas con movimiento comercial importante.

Los tramos con valores medios de TDPA, entre 2,000 y 5,500 son la gran mayoría de los restantes, quedando con valores muy bajos de TDPA, menos de 2,000 vehículos en promedio al día, únicamente los tramos de montaña en Chiapas y Oaxaca, como lo son entre Palenque y San Cristóbal de las Casas, entre Comitán de Domínguez y Huixtla y entre Tuxtla Gutiérrez y Teapa, todos en Chiapas; así como en los tramos que parten respectivamente de Tuxtepec, Tehuacán y Tehuantepec y que tienen su destino en la ciudad de Oaxaca. Un caso excepcional es el tramo entre La Tinaja y Minatitlán en Veracruz.

Los comunes denominadores en las carreteras con TDPA muy bajo. son el que se trate de tramos largos, principalmente sobre terrenos montañosos, o bien el que se haga alusión a caminos de construcción reciente y cuya operación daba apenas inicio en 1997.



5.4.2 Factores

Se analizan mapas de cada uno de los cuatro grandes grupos de factores que principalmente se conjugan para ocasionar accidentes viales.

Dado que variables como la falta de visibilidad o los volúmenes de tránsito no se consideran en la base de datos como factores de los accidentes, sino que son atributos adicionales, se presentan como condicionantes de algunos factores, al igual que las características fisiográficas, en el texto de los apartados siguientes.

5.4.2.1 Factores humanos

1. Imprudencia o intención. Los accidentes causados por imprudencia o intención se concentran en los pasos por zonas urbanas y en los entronques relacionados con ellas. Como ejemplos las ciudades de Puebla, Oaxaca, Tapachula, Tuxtepec, Villahermosa, Córdoba –

Orizaba y Tuxtla Gutiérrez.

2. Velocidad excesiva. Se presenta una distribución uniforme y continua sobre casi toda la red. La excepción se da en tramos montañosos. Esto se explica si se considera que es una causa fácilmente atribuible a casi cualquier accidente, así como la conveniencia de tal práctica para muchos de los responsables del Sistema Vial.
3. Invasión de carril. Los accidentes por esta causa son más raros en las autopistas pues generalmente éstas presentan carriles separados. Se concentran varios de ellos en las zonas colindantes del centro – norte de Chiapas y Tabasco, dado que las carreteras de la zona son de dos carriles y además estrechas.
4. Rebasó indebidamente. Se presentan muy pocos casos por lo que es complicado detectar una tendencia. En carreteras de dos carriles es sencillo comprender la mecánica de estos accidentes, sin embargo resulta difícil entender

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

aquellos casos que se presentan en autopistas. Los tramos más peligrosos son aquellos entre Coatzacoalcos y Villahermosa, probablemente por tratarse de terrenos planos y muy transitados en donde es fácil que un vehículo que no rebase con suficiente aceleración, se encuentre con otro a alta velocidad en el carril contrario.

128

5. No respetó señal de alto. Muy pocos casos y, por ende, sin una tendencia clara. Naturalmente se localizan en zonas urbanas y su prevención tiene que ver con la aplicación efectiva de las leyes y reglamentos de tránsito.
6. No respetó semáforo. Existe un solo caso dentro de la base de datos. Posiblemente indique que un semáforo puede ser una medida adecuada para prevenir accidentes en entronques, sin embargo, se debe considerar el posible efecto adverso si no se avisa oportunamente a los conductores de la presencia del semáforo.
7. No cedió el paso. Se concentran en zonas

urbanas, por ejemplo aquellas de Puebla, Córdoba – Orizaba, Tuxtla Gutiérrez y Oaxaca, así como en tramos con altos niveles de actividades humanas, no necesariamente urbanas, a sus orillas, como en el tramo Cárdenas - Villahermosa en Tabasco. Se presentan dada la aglomeración de vehículos y el deseo por parte de los conductores de no interrumpir ni retardar su tránsito. Para su prevención se deben considerar los factores psicológicos y socioeconómicos de la conducta anterior.

8. No guardó distancia. Los accidentes por esta causa se presentan principalmente en tramos en donde la velocidad y el tránsito son ambos relativamente altos y provocan aglomeraciones de vehículos como entre Coatzacoalcos y Villahermosa y los pasos por las zonas urbanas de Puebla, Córdoba – Orizaba y Oaxaca. Se presenta también un número considerable de ellos en la carretera La Ventosa – Sayula.

Para atacar este tipo de siniestros se debe ir

contra los factores mencionados; es decir, reducir la velocidad o disminuir el tránsito, siendo lo segundo mucho más conveniente para evitar la concentración de muchos vehículos en poco espacio vial, dados los propósitos del Sistema de Transporte. El tránsito se disminuye al construir o ampliar vialidades alternas o bien, la que se encuentre en cuestión; así como al ofrecer alternativas eficaces de transporte mediante otros modos como el ferroviario, el aéreo, el autotransporte masivo, etc.

9. Viró indebidamente. Dentro del caso de estudio, estos accidentes se concentran de forma importante en las autopistas y en los pasos por zonas urbanas. Se presentan al tratar los conductores de cambiar el sentido o la dirección de su viaje. Además de a realizar el viraje en mal lugar, pueden deberse a exceso de velocidad por parte del conductor de otro vehículo, a falta de visibilidad, o a carencia de infraestructura adecuada para realizar virajes. Resulta conveniente asociar con el exceso de velocidad,

únicamente aquellos en autopistas, pues en zonas urbanas, si se desean prevenir este tipo de accidentes, debe existir la infraestructura adecuada para la maniobra.

10. Mal estacionado. El único lugar en el que se presentan de forma recurrente este tipo de siniestros es el tramo Esperanza – Orizaba, en los linderos de Puebla y Veracruz. Los demás accidentes con este factor se encuentran dispersos en carreteras muy diversas por lo que resulta complicado determinar un patrón. En el caso de Esperanza – Orizaba, se trata de un tramo muy transitado de autopista en el que se libra un desnivel de casi 2000 m de altitud en 25 km de carretera, en el que es común que los conductores se detengan con varios fines, que pueden ser observar el paisaje, enfriar sus motores o frenos, por cansancio o por fallas mecánicas. Se trata además de un tramo en donde la visibilidad es complicada pues hay varias curvas con grado de curvatura alto y, frecuentemente, lluvias copiosas y neblina.

Ante la dificultad para mejorar el trazo de la carretera dada la orografía de la zona y las condiciones climatológicas imperantes, lo más conveniente es la provisión de zonas adecuadas para estacionarse.

11. Estado de ebriedad. Dentro de la base de datos del caso de estudio, solamente se encuentran 6 accidentes cuya principal causante se asocia con el estado de ebriedad. Dichos accidentes se localizan en puntos cercanos a entronques. Lo sobresaliente de que aparezcan tan pocos siniestros en este particular es la discrepancia entre las campañas publicitarias y la realidad, o bien, la discrepancia entre el acontecimiento real de accidentes de tránsito por conducir en estado de ebriedad y aquellos que se asocian con ese factor por quienes generan los datos de los accidentes.

12. Bajo efectos de droga. De forma similar al apartado anterior ocurre en este particular, pues

para el caso de estudio, no hay accidente alguno que se asocie con las drogas. Una posible explicación radica en las imputaciones y agravantes legales de que puede ser objeto el conductor en caso de manejar su vehículo bajo los efectos de drogas o del alcohol, por lo que es necesario considerar además el fenómeno de corrupción que se presenta al respecto entre usuarios de las vías y las autoridades.

13. Dormitando. Los accidentes por conducir dormitando se presentan principalmente en las autopistas y en tramos carreteros con trazos muy rectos. Además de aquellos motivos psicológicos y socioeconómicos relacionados con conducir cansado, se deben principalmente a que los conductores generan confianza en su vehículo, en el camino y en el medio y no se sienten en riesgo de un accidente, preponderantemente por cruzar por caminos rectilíneos y cómodos o, por circular a muy baja velocidad. Como ejemplos, por lo primero se concentran muchos accidentes en los tramos La Tinaja – Coatzacoalcos –

Villahermosa y por el factor baja velocidad, en tramos con desniveles considerables como Orizaba – Esperanza.

14. Deslumbrado. Aparecen únicamente 3 accidentes en donde se ha considerado el deslumbramiento como el factor principal, por lo que no es posible detectar una tendencia.

5.4.2.2 Factores del vehículo

15. Llantas. Los accidentes que se atribuyen a falla de las llantas de los vehículos se concentran en tramos de autopistas y en la carretera entre La Ventosa y Sayula. Se deben principalmente a que los neumáticos estallan por sobrecalentamiento dadas las altas velocidades que los caminos permiten. También son comunes las fallas de las llantas en tramos con un nivel de conservación precario, como en La Ventosa – Tapanatepec, sin embargo, la muy baja velocidad con que se puede circular en tramos mal conservados

permite que no figuren como tramos de alta accidentalidad.

16. Frenos. Son comunes los accidentes por falla de los frenos de los vehículos en tramos montañosos. Generalmente se deben a la falta de mantenimiento de los mismos, o bien, a la falta de pericia de los conductores al abusar del uso de los frenos en tramos de pendientes fuertes y pronunciadas, ocasionado sobrecalentamiento en las balatas y con ello su inoperancia. Pueden también deberse a sobrepeso en los vehículos.
17. Dirección. Se concentran principalmente en los tramos Orizaba – Córdoba, Tehuantepec – Cd. Hidalgo y Coatzacoalcos – Cárdenas. Se trata de tramos en donde es posible circular a altas velocidades y, a pesar de ser tramos con un trazo adecuado, presentan en ocasiones cambios repentinos de dirección.
18. Suspensión. Los accidentes por fallas de la suspensión de los vehículos, según el reporte de

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

la PFP, son muy escasos y sin una tendencia definida.

19. Luces. Al circular los vehículos sin luces son potencialmente peligrosos en cualquier tipo de carretera, sin embargo, esto se acentúa en tramos con valores altos de tránsito y en los que además la visibilidad es difícil, como en los tramos entre Esperanza y Orizaba y entre Coatzacoalcos y Cárdenas. En el primero la visibilidad es difícil dado el trazo del camino por estar ubicado sobre terreno montañoso y las condiciones climáticas antes descritas. En el segundo es importante considerar la barrera visual que la copiosa vegetación circundante a la vialidad crea.

20. Ejes. Los siniestros por falla de los ejes de los vehículos se concentran en tramos con muchas curvas, esto es, en tramos montañosos, sin importar el tipo de carretera de que se trate. Como ejemplos, varios tramos en el estado de Oaxaca y, de nuevo, Esperanza – Orizaba.

21. Transmisión. Por fallas de la transmisión los accidentes son escasos y sin una tendencia definida.

22. Motor. Los accidentes por fallas de los motores de los vehículos son muy pocos pero la tendencia indica que se concentran en tramos montañosos, probablemente por esforzar de forma excesiva a las máquinas.

23. Sobrecupo o sobrecarga. En la base de datos se presentan muy pocos accidentes por sobrecupo o sobrecarga en los vehículos por lo que es complicado detectar una tendencia, sin embargo, bien puede asociárseles con un factor que propicia la falla de algún otro sistema mecánico de los vehículos como los frenos, los ejes, el motor o la suspensión.

24. Exceso de dimensiones. Únicamente se presentaron dos accidentes por exceso de dimensiones en los vehículos, por lo que al no haber en la práctica una vigilancia correcta de las

dimensiones de los vehículos por parte autoridades y algunos usuarios de las vías, se presume el mal registro de los datos.

25. Otros. Se concentran en tramos bien definidos como Puebla – Córdoba y Tuxtla Gutiérrez – Cintalapa, por lo que es necesario revisar la forma en que los encargados de levantar los accidentes en esos caminos consideran los factores de la problemática en sus reportes.

En general, es posible prevenir los accidentes por fallas de los vehículos mediante la correcta revisión de los sistemas mecánicos de los mismos, especialmente si se piensa viajar por caminos montañosos o con velocidades elevadas; sin embargo, disposiciones que prevén revisiones obligatorias de los vehículos difícilmente son aceptadas y por tanto, lo más conveniente es generar conciencia del riesgo entre los usuarios de los caminos.

5.4.2.3 Factores del camino

26. Irrupción de ganado. Desde luego, se ubican principalmente en zonas en donde se practica de forma extensiva la ganadería, como lo son la costa de Chiapas, el Istmo de Tehuantepec, la zona de Cintalapa, Chiapas y la costa del Golfo de México entre la Acayucan, Veracruz y Palenque en Chiapas. En general, la actividad ganadera requiere de terrenos llanos y fértiles

27. Desperfectos. Se deben al mal estado de conservación de las carreteras, sin embargo es muy raro que las instituciones que recopilan y emiten la información de los accidentes acepten este factor como una causa importante de accidentes por ser u hecho contrario a su conveniencia. Así, en la base de datos se encuentran muy pocos accidentes asociados con desperfectos de las vialidades aún cuando algunas de las vialidades del caso de estudio se encuentran mal conservadas.

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

28. Falta de señales. De forma similar ocurre con los accidentes por falta de señales, pues únicamente se presentan dos de ellos en la base de datos.

29. Objetos en el camino. Los accidentes por este factor se concentran en los tramos Orizaba – La Tinaja y Tehuacán – Oaxaca. En el primero de los casos, la razón de objetos en el camino es principalmente la caída de carga de vehículos que transportan mercancías, normalmente bienes no industrializados, hacia y desde el centro de la República.

En el segundo de los tramos, los accidentes que aquí se atribuyen, bien deben considerarse como desperfectos de la carretera, dado que los objetos en este camino son principalmente rocas producto de deslaves por falta de estabilización de los taludes que circundan tramos de la carretera.

30. Mojado. Los accidentes por camino mojado son comunes dentro del caso de estudio al tratarse

de una zona muy lluviosa. Se concentran de forma importante en zonas montañosas y principalmente en las curvas, lo que presumiblemente ocasiona problemas para mantener los vehículos dentro de los caminos. Ante la dificultad de los tramos montañosos, en segmentos no montañosos como La Ventosa – Matías Romero, es importante revisar las condiciones de diseño y en que opera el drenaje de la carretera.

31. Resbaloso. En la base de datos se encuentran pocos accidentes por camino resbaloso, sin embargo resaltan de nuevo algunos accidentes en el tramo La Ventosa - Matías Romero en Oaxaca.

32. Otros. Aparecen únicamente 3 accidentes por otras causas del camino, por lo que es difícil determinar algún patrón de comportamiento.

33. Lluvia. Aún cuando se trata de una región muy lluviosa, únicamente se atribuyen de forma directa 3 accidentes a la lluvia. En general, los efectos de los factores medioambientales influyen en la pérdida de visibilidad y en la pérdida de control de los vehículos dada la acción de fuerzas externas a los mismos.
34. Otros. Se presentan 7 accidentes por factores del medio ambiente no determinados y de los otros factores ambientales definidos, no se presentan casos. A este respecto se puede objetar dado que en la región del caso de estudio se presentan zonas frecuentemente cubiertas por niebla, otras en donde las granizadas son comunes, así como la zona del Istmo de Tehuantepec que es conocida por los fuertes vientos que presenta y que, en varias ocasiones propician accidentes en los tramos que confluyen en la localidad de La Ventosa.

5.4.3 Momentos de ocurrencia

De forma general en cuanto a la distribución temporal de los accidentes es posible detectar una tendencia que indica que se concentran de forma directamente proporcional en los tramos con mayor TDPA. Lo anterior es normal y confirma que a mayor TDPA, mayor ocurrencia de accidentes, aún cuando se cuente con caminos más adecuados.

Así, los accidentes se concentran principalmente en los tramos Puebla – Veracruz, Coatzacoalcos – Villahermosa, Tehuantepec – La Ventosa, Huixtla – Cd. Hidalgo y en las cercanías de zonas urbanas como la de Oaxaca.

Dado lo anterior, en los únicos tramos que es posible encontrar tendencias definidas según los momentos de ocurrencia es en aquellos que corren sobre terrenos poco transitados como lo son algunos caminos montañosos.

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

5.4.3.1 *Días de la semana*

0. Domingo. Se concentran, además de en los sitios de alto TDPA, en tramos montañosos como Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas y San Cristóbal de las Casas – Palenque, y sobresale de entre los otros días la ocurrencia de accidentes en el tramo Tehuantepec – Juchitán en Oaxaca. Posiblemente se deba al incremento del tránsito local en esos caminos para los domingos, aunque empleando el TDPA, es imposible corroborar la hipótesis.
1. Lunes. Sobresalen además los tramos La Ventosa – Tapanatepec y Comitán – La Trinitaria. Se trata de tramos con tránsito por actividades comerciales.
2. Martes. Únicamente sobresalen los tramos con alto TDPA.
3. Miércoles. Además es importante considerar el tramo La Tinaja – Sayula y de forma especial la

zona cercana a la ciudad de Oaxaca.

4. Jueves. Resaltan de nuevo tramos con actividad comercial relevante como Villahermosa – Palenque y La Ventosa – Matías Romero.
 5. Viernes. En este caso, sobresalen de forma positiva varios tramos montañosos, dada la presencia de pocos accidentes en tramos como Ixtlán – Chiltepec en la carretera Oaxaca – Tuxtepec, San Cristóbal de las Casas – Comitán de Domínguez, Ciudad Cuauhtémoc – Huixtla y Oaxaca – Tehuacán; todos ellos, tramos en donde normalmente hay más accidentes en cualquier otro día de la semana.
- Los accidentes se concentran en las cercanías de zonas urbanas, probablemente por actividades nocturnas de fines de semana.
6. Sábado. Sobresalen el tramo Puebla – Oaxaca y las zonas urbanas. En el caso de Puebla – Oaxaca posiblemente se trate de un incremento del

TDPA dado el turismo de fin de semana hacia la ciudad de Oaxaca.

5.4.3.2 *Horas del día*

Con la finalidad de hacer más simple el análisis por horas del día, es válido dividir al día en grupos de horas, dentro de los cuales se observen comportamientos similares; así en el caso de este estudio se proponen 8 horarios.

1. 0 a 3 hrs. Al igual que en todos los horarios, se conserva la tendencia general de más accidentes en las zonas con mayor TDPA. A este mismo respecto, bajan mucho los accidentes en zonas montañosas con tramos largos, dado que los volúmenes de tránsito disminuyen drásticamente en caminos con esas características.
2. 3 a 6 hrs. En todos los caminos se conserva la tendencia pero con muchos menos accidentes pues el TDPA decrece. Como ejemplo, no se

presentan accidentes en tramos montañosos y normalmente transitados, como Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas.

3. 6 a 9 hrs. No se presenta sino la distribución temporal antes descrita.
4. 9 a 12 hrs. La ocurrencia de accidentes aumenta en general. Sobresalen además los accidentes en tramos montañosos, que no son tan importantes durante la madrugada ni de 6 a 9 hrs. Esto se debe a que, aún cuando los vehículos partan temprano sobre tramos montañosos, es hasta este horario que se presenta interacción entre los vehículos que partieron de distintos sitios dados los grandes tiempos de recorrido sobre los arcos en montañoso.
5. 12 a 15 hrs. En este horario la tendencia se conserva y el número de accidentes que ocurren es alto
6. 15 a 18 hrs. Se presentan también un alto

número de siniestros. Sobresale el tramo Cosamaloapan – Sayula dentro de la autopista La Tinaja – Coatzacoalcos. Probablemente se debe a las frecuentes lluvias en este horario.

7. 18 a 21 hrs. De nuevo la ocurrencia de accidentes es muy alta en general. Hay un incremento considerable de accidentes en la autopista de la costa de Chiapas, probablemente por la orientación de la misma, ya que en ocasiones los conductores ven de frente el sol, mucho más en la tarde que en la mañana dado lo plano del terreno, con lo que pierden visibilidad.

En general, los resultados de varios estudios indican que en las horas del crepúsculo, las carreteras son especialmente peligrosas.

8. 21 a 24 hrs. Se conserva la distribución hacia las zonas de alto TDPA, sin embargo, el número de accidentes en general decrece y lo hace de forma más notoria en zonas montañosas.

5.4.3.3 *Meses del año*

De igual manera que en el apartado anterior, en cuanto a meses del año se divide el año en 6 grupos, esto es, por bimestres.

1. Enero – Febrero. En cuanto a los meses del año, la distribución de los accidentes es similar a la que se describe para los demás momentos de ocurrencia de accidentes.

En este bimestre sobresalen los accidentes en varios caminos del estado de Chiapas como Comitán – La Trinitaria, la autopista de la costa y el tramo de Tuxtla Gutiérrez a Bochil, en la carretera que va hacia Villahermosa. Resalta también la carretera Oaxaca – Tehuantepec. Probablemente se debe a la orientación de los caminos ya que es especialmente intensa la luz solar.

2. Marzo – Abril. De nuevo sobresalen los tramos Tuxtla Gutiérrez – Bochil y la costera de Chiapas, lo cual corrobora en cierta medida la hipótesis.
3. Mayo – Junio. La tendencia se conserva en los caminos de todos los estados, excepto dentro del territorio de Chiapas, en donde la base de datos reporta prácticamente sin accidentes para este bimestre. Presumiblemente es un error en la base de datos.
4. Junio – Julio. La tendencia se conserva y el número de accidentes aumenta en general. Se notan incrementos considerables en la autopista La Tinaja – Coatzacoalcos y en los tramos La Ventosa – Sayula y San Cristóbal las Casas – Palenque. Una posible explicación del fenómeno es el incremento de TDPA por las actividades turísticas de verano en la zona, con la particularidad de que quienes circulan por los caminos son conductores poco familiarizados con ellos. También es importante considerar el apogeo de la temporada de lluvias, aunque los

accidentes decrecen hasta cierto punto en algunas zonas montañosas.

5. Septiembre – Octubre. La tendencia se observa cabalmente, incluso en zonas montañosas.
6. Noviembre – Diciembre. Se observa un mayor número de accidentes en todos los arcos de la red, debido al incremento del TDPA por otra temporada vacacional. Sobresalen los tramos de las autopistas costera de Chiapas y La Tinaja – Coatzacoalcos.

5.4.4 Saldos

Respecto de los saldos negativos de la problemática de accidentes se tienen mapas del número de muertos, del número de heridos, del número de accidentes totales, del número de participantes en cada uno de los accidentes y del tipo de accidentes acontecidos.

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

También se cuenta con mapas de los daños materiales de los accidentes, sin embargo, no se conoce el modo en que los datos fuente de los mapas se estimaron. En el análisis de dos variables se pueden hacer inferencias al respecto.

De los números de muertos, lesionados, total de accidentes y de los daños materiales, se tienen además capas que agrupan los saldos de todos los accidentes por segmentos carreteros de 500 m, esto por ser relevante para detectar tramos más peligrosos en función de los saldos.

140

5.4.4.1 Muertos

En el mapa de segmentos de 500 m se observa que los segmentos con más muertos se concentran cerca de las zonas urbanas; como el paso por la Z. M. de Puebla, los segmentos entre Córdoba y Orizaba y aquellos en la zona de la ciudad de Oaxaca; así como en puntos particulares de tramos montañosos. La diferencia radica que en las zonas urbanas se trata

de muchos accidentes con pocos muertos que coinciden en el segmento y en las zonas de montaña, generalmente se trata de uno y a lo más dos accidentes en el segmento, alguno de ellos con varios muertos en un solo percance.

De las capas de puntos para uno hasta ocho muertos, que es el número máximo de decesos que en un solo accidente reporta la base de datos, se obtiene que el número de muertos sigue una tendencia similar a la descrita al mencionar los momentos de ocurrencia de los accidentes, esto es de forma general, a más TDPA mayor número de accidentes y por tanto mayores saldos negativos.

La gran mayoría de accidentes con muertos son de un solo deceso, siendo más escasos los de dos muertos y más.

En cuanto a los accidentes con dos muertos y más llaman la atención, los accidentes en tramos montañosos como aquel entre Oaxaca y Tuxtepec y el tramo Esperanza – Orizaba.

Los tramos no montañosos que merecen atención especial son Villahermosa – Palenque, pues se presentan 5 accidentes con dos muertos, probablemente por las altas velocidades y volúmenes de tránsito; Córdoba – La Tinaja por dos accidentes con 5 muertos cada uno y; por último, el tramo La Ventosa – Matías Romero por dos accidentes con saldo de cuatro decesos cada uno.

5.4.4.2 *Lesionados*

Los resultados del análisis espacial a los mapas de lesionados son similares a los de los temas del número de muertos, con la diferencia de que el número de lesionados es de alrededor de 3 lesionados por cada muerto, en los lugares en los que se presentan muertos. Adicionalmente, en muchos sitios que no se presentan muertos se presentan con frecuencia uno y dos lesionados.

Del mapa de segmentos, además de los tramos

montañosos y las zonas urbanas, destacan el tramo Sayula – Coatzacoalcos, lo cual indica cierto nivel de funcionamiento como zona metropolitana del eje Coatzacoalcos – Minatitlán – Acayucan – Sayula. En esa zona se observan 3 accidentes con entre 6 y 10 lesionados.

En cuanto a las capas de puntos, los accidentes con saldos altos por número de lesionados se concentran en las zonas montañosas.

Como un tramo no montañoso y sobresaliente por presentar una distribución continua de lesionados se distingue de la autopista Puebla – Veracruz dentro del estado de Puebla, es decir, Puebla – Esperanza. Sobre casi todo el tramo son comunes los accidentes de uno y dos lesionados y relativamente alto el número de accidentes con 3 a 6 lesionados como saldo. Cerca de la ciudad de Puebla hay tramos que acumulan hasta más de 20 lesionados, producto de varios accidentes.

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

5.4.4.3 Daños materiales

Los resultados que se obtienen de los mapas de daños materiales son muy similares a los de los apartados anteriores, con la diferencia de que los segmentos con daños materiales elevados se concentran únicamente cerca de las zonas urbanas y no tanto en tramos montañosos. Por ende, es posible considerar que los daños materiales se estiman sin tomar en cuenta los saldos por pérdida de vidas humanas o por lesiones.

Los accidentes con daños materiales bajos se distribuyen de forma uniforme sobre toda la red carretera del caso de estudio y los accidentes con daños materiales elevados se cargan hacia las autopistas. Sobresale el tramo entre Esperanza y Córdoba.

Los accidentes con saldos materiales más elevados se presentan cerca de la ciudad de Puebla.

5.4.4.4 Total de accidentes

En este caso, únicamente se tiene la capa de total de accidentes por segmentos de 500 m, ya que las capas puntuales reportan solamente accidentes uno a uno.

El comportamiento de los segmentos con más accidentes es similar a lo que acontece con los segmentos y los saldos en términos de lesionados, es decir, la relación es directamente proporcional con los valores de TDPA. En las autopistas se concentran un buen número de segmentos con 2 a 3 accidentes y en el tramo Cárdenas – Villahermosa se presentan una cantidad considerable de segmentos con 4 a 6 accidentes.

Los segmentos en donde más accidentes se concentran en las cercanías de Puebla, Puebla.

5.4.4.5 Total de participantes

Al contrario del caso anterior, en cuanto al total de participantes únicamente se tienen capas de puntos para 1 a 7 participantes. Sumar los participantes en un segmento de 500 m es poco práctico pues el resultado es difícil de interpretar.

Los accidentes de un participante están distribuidos prácticamente sobre la totalidad de la red carretera en cuestión, sin embargo, a partir de dos participantes hay tramos montañosos y otros con bajo TDPA que comienzan a no reportar eventos.

Algunos tramos de montaña que presentan varios accidentes de 2 participantes se caracterizan por ser tramos angostos, lo cual muy probablemente ocasiona colisión entre vehículos por invasión de carril. Esta hipótesis se confirma más adelante con el análisis espacial a dos variables.

Los accidentes en los que se ven involucrados 4 o más participantes se localizan muy puntualmente en zonas urbanas y, desde luego, se deben a la aglomeración de vehículos.

5.4.4.6 *Tipo de accidente*

Según se indica en párrafos anteriores, la base de datos distingue entre accidentes de 6 tipos definidos y un tipo indefinido, bajo la categoría de “otro”.

1. Salida del camino. Los accidentes en los que se presenta la salida del camino se encuentran distribuidos de forma uniforme sobre todas las carreteras del caso de estudio, esto es, no hay una tendencia fácilmente detectable.
2. Volcadura. Se presentan principalmente en autopistas y en curvas cerradas de tramos montañosos. En las autopistas, casi con seguridad estos accidentes se deben en mucho a las altas velocidades, pero sin duda se deben considerar factores adicionales como objetos en el camino, desperfectos de los mismos o factores del medio ambiente.

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

3. Caída de pasajero. Se presentan muy pocos accidentes, sin embargo es posible hallar una tendencia que apunta a usos y costumbres, pues la mayoría de estos accidentes ocurren en Chiapas y Oaxaca, que es en donde es común el transporte de pasajeros en camionetas de redilas o pick up.

4. Incendio. Aunque hay pocos siniestros cuyo saldo es un vehículo incendiado, se puede decir que se presentan con más frecuencia en las zonas más cálidas como en las costas de Tabasco y Chiapas. Se observan un cierto número de ellos en zonas con subidas prolongadas, lo cual indica que algunos incendios posiblemente se deben a sobreesfuerzo de los motores.

5. Choque. Se presentan sobre casi toda la red, sin embargo, son raros en tramos como San Cristóbal de las Casas – Comitán de Domínguez, en donde el TDPA es bajo y la visibilidad buena. De forma similar sucede en tramos montañosos con bajo TDPA; sin embargo, de las carreteras en

terreno montañoso, los choques se ubican por lo general en segmentos rectos, en donde normalmente se presentan rebases.

La tendencia anterior se confirma en tramos no montañosos, como entre Coatzacoalcos y Cárdenas.

6. Otro. En la base de datos se encuentran muchos accidentes bajo esta categoría principalmente en cuatro zonas: entre Puebla y La Tinaja, entre Coatzacoalcos y Villahermosa, entre Huixtla y Tapachula en Chiapas y en las zonas aledañas a Tuxtla Gutiérrez. En este caso es necesario revisar con mayor minucia los reportes de cada uno de los accidentes y en su caso, procurar encontrar los criterios que llevan a considerar de esta forma a los accidentes.

7. Atropellamiento. Se encuentran de una forma muy clara localizados en zonas urbanas, en donde la competencia por los espacios viales es considerable. Deben considerarse los aspectos socioeconómicos de la conducta en el particular

de cada aglomeración urbana, pues pueden estar en juego muy diversos factores.

5.4.4.7 *Tipo de vehículo*

En la clasificación por tipo de vehículos participantes en cada uno de los accidentes, es complicado obtener resultados dado que se debe considerar que en accidentes de dos o más participantes pueden presentarse uno o más tipos de vehículos.

De tal forma, los resultados que son factibles de encontrar, como se describe más adelante, tienen relación con el número de víctimas. En general, cuando hay un alto número de muertos o de lesionados, o bien, altos daños materiales se trata de vehículos grandes involucrados, como autobuses o trailers.

Los vehículos con más accidentes son los automóviles.

5.5 RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESPACIAL DE LOS MAPAS TEMÁTICOS A DOS VARIABLES

En esta sección se presentan los resultados que se obtienen al hacer el cruce de la información de los mapas de cada una de las variables con todas las otras con las que es posible confrontarle.

Se presentan así los resultados de 10 grupos de mapas, correspondientes al cruce de los temas de los grupos de variables entre sí y dentro del mismo grupo. Cabe mencionar que también por simplificar el análisis, los temas del grupo de variables de factores de los accidentes se agruparon en únicamente dos subgrupos: factores humanos y factores no humanos.

Dado que el número de variables consideradas es grande y si además se consideran todos los valores que puede tomar cada una de las variables, enumerar uno a uno los cruces resulta demasiado

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

tedioso y poco didáctico. Adicionalmente, no todos los cruces de valores de las variables presentan resultados. Por estas razones, en cada uno de los 10 grupos de mapas que se describen, se presentan simplemente los resultados más importantes y a partir de los cuales se pueden obtener conclusiones valiosas para la prevención de los accidentes.

Para determinar el grado en que se deben tomar en cuenta los resultados de una variable antes de proceder a su cruce, se realiza un nuevo análisis multicriterio, con miras a desechar algunos valores de algunas variables, basado en los siguientes criterios aplicados a sus posibles valores:

- ▶ **Precisión.** Capacidad de describir de forma puntual un fenómeno, esto es, sin ambigüedades como en el caso de valores redundantes o para variables que toman el valor “otro”.
- ▶ **Confiabilidad.** Medida en que los valores de la variable no presentan sesgos debidos a la manipulación de la información, ya sea por

voluntad o por descuido de quienes le manipulan.

- ▶ **Tendencia.** Capacidad de las variables para mostrar una distribución geográfica que obedezca a una lógica detectable incluso a larga distancia espaciotemporal. Hay varias variables que pueden presentar buenos valores de tendencia si quien aplica la metodología se encuentra familiarizado en buena medida con su caso de estudio.

Dado el análisis multicriterio anterior, como ejemplo, entre otros se consideran menos relevantes los valores “NR No reporta”, “25 Otros”, “32 Otro” “33 Lluvia” y “38 otros” del grupo de variables de factores por ser ambiguos; “1 Imprudencia o intención”, “2 Velocidad excesiva” y “ 28 Falta de señales”, por ser poco confiables; y los valores “11 Estado de ebriedad”, “12 Bajo efectos de droga”, “21 Transmisión”, “24 Exceso de Dimensiones” y “37 Vientos Fuertes”, por no mostrar tendencias útiles.

5.5.1 Factores vs Factores

Se evalúa la correlación entre factores humanos y no humanos. En este caso es muy complicado encontrar correlaciones dado que cada uno de los accidentes se relaciona con una y solo una de las causas y, además, la mayoría se relacionan con variables no relevantes como el exceso de velocidad o la imprudencia.

Se encuentran correlaciones fuertes entre los accidentes por invasión al carril contrario y los accidentes que se atribuyen a camino resbaloso. Esto lleva a concluir que en ciertos tramos, por camino resbaloso o mojado se invade, voluntaria o involuntariamente el carril contrario provocando accidentes. En este caso, se debe corregir el drenaje de la carretera para prevenir accidentes.

Existe correlación entre los accidentes por no guardar distancia y aquellos que se atribuyen a los frenos del vehículo. Resulta de lo más lógico que

quienes circulan sin frenos no puedan guardar distancia y finalmente hagan colisión con otro vehículo.

En algunos tramos se encuentra una correlación, ciertamente no muy estrecha, entre accidentes por estar mal estacionados y por llantas. Puede ser que, en caso de tener una avería en una llanta, los acotamientos de la carretera no son adecuados para detenerse a efectuar la reparación, o bien, como en zonas de pendiente fuerte, resulta difícil mover el vehículo averiado hacia un lugar de buena visibilidad para cambiar la llanta. En este caso, programas eficientes de auxilio vial, con seguridad previenen una cantidad considerable de accidentes.

5.5.2 Factores vs Momentos

El cruce de las capas de factores humanos con la de horas del día reporta que hay correlación entre los valores de invasiones al carril contrario y las horas entre las 15.00 y las 18.00 horas . De forma similar

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

ocurre con los accidentes por no guardar distancia y el horario entre las 3.00 y las 6.00 horas. También entre 3.00 y 6.00 se presentan accidentes relacionados con conductores dormitando.

Las invasiones al carril contrario en ese horario se pueden relacionar con deslumbramiento por el Sol o bien, por conductas sociales.

Los accidentes por no guardar distancia y los accidentes por circular dormitando están de por sí interrelacionados. Resulta sencillo imaginar que en altas horas de la madrugada un buen número de conductores cansados dormiten y se accidenten.

Los accidentes por llantas y por suspensión se presentan de forma más alta los días viernes, sábados y domingos. Se puede entrever relación con las actividades de tiempo libre y fallas mecánicas. Es posible explicar que quien viaja ocasionalmente es más propenso a ignorar las condiciones en las que revienta una llanta que quien viaja a diario; igualmente sucede con las revisiones al vehículo.

Existe correlación entre los accidentes por objetos en el camino y el horario de 12.00 a 15.00 horas, probablemente por problemas en la visibilidad y por los horarios en que se da mantenimiento a las vialidades.

Una correlación singular se presenta entre los accidentes por camino mojado y los meses de Noviembre y Diciembre. Los lugares en donde se observa de forma más intensa la correlación son aquellos con terrenos planos o lomeríos y en los que la velocidad que puede desarrollarse es alta; así pues, probablemente se trata de fallas en el drenaje de las carreteras ya que las lluvias no son tan intensas en noviembre y diciembre, salvo en las regiones más tropicales de la zona.

5.5.3 Momentos vs Momentos

En casi todos los días de la semana las horas con más accidentes son entre las 9.00 y las 15.00 horas, a excepción de los jueves que son entre las 21.00 y las

24.00 horas y los sábados entre las 0.00 y las 3.00 horas. Con seguridad el sesgo se debe a actividades nocturnas y de fines de semana. Es conveniente revisar la participación de accidentes por conductores en estado de ebriedad.

Entre los meses de Enero y Agosto, el horario con más accidentes es el de 18.00 a 21.00 horas que coincide con el horario del atardecer. Entre los meses de Noviembre y Diciembre el horario más peligroso es entre las 15.00 y las 18.00 horas, pues oscurece más temprano.

5.5.4 Momentos vs Saldos

Existe correlación entre los accidentes por salidas del camino y los sábados, según el cruce entre los mapas de tipo de accidentes y días de la semana, probablemente por el incremento de los volúmenes de tránsito y los viajes en que conducen conductores menos experimentados. Igualmente sucede con el horario de 18.00 a 21.00 horas, por las condiciones

de luz anteriormente referidas.

Tanto salidas del camino como choques, volcaduras y atropellamientos tienen relación con los bimestres de noviembre y diciembre y de enero y febrero.

En este caso de cruces de mapas entre los grupos de momentos de ocurrencia de los accidentes y los saldos de los mismos es valioso detectar los momentos en los que mayores o menores daños se presentan. Así es posible detectar los momentos del día, de la semana o del año en que más o menos muertos, lesionados o accidentes hay, ya sea para prevenir en el caso de más eventos o tratar de reproducir las condiciones favorables en los casos de menos eventos.

5.5.5 Factores vs Saldos

Además de los accidentes por imprudencia o intención, y los accidentes por velocidad excesiva, que son aquellos a los que se atribuyen la mayor cantidad de accidentes con lesionados o muertos o

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

con los mayores daños materiales, es posible, por su número y distribución geográfica asociar una buena cantidad de muertos, lesionado y daños materiales con otros factores, que presentan una distribución, si no continua sobre la red, si algo extendida, como lo son: por llantas, por frenos, por fallas en la dirección; por circular dormitando, por no ceder el paso y por invadir el carril contrario.

150

Son principalmente peligrosos, pues coinciden con los sitios en donde hay muertos, los accidentes por no guardar distancia. Generalmente un choque frontal con otro vehículo detenido o a menor velocidad es de graves consecuencias.

Desde luego hay correlación entre los accidentes de dos participantes y las invasiones de carril así como entre los accidentes de dos participantes y los que se producen por no ceder el paso. Igualmente ocurre con accidentes por virar indebidamente, por no guardar distancia y por estar mal estacionado.

Hay correlación entre accidentes de tres

participantes y rebases indebidos. Generalmente quien rebasa mal involucra al vehículo rebasado y a algún otro en el carril contrario. Hacer conciencia de tal hecho resulta prioritario.

Los accidentes de dos participantes tienen correlación además con los accidentes que se atribuyen a los frenos y la dirección de los vehículos, así como a desperfectos del camino. Con seguridad los desperfectos del camino ocasionan la invasión del carril contrario al tratar de evadirlos, o la detención del vehículo en un lugar inadecuado.

Los accidentes por salidas del camino se encuentran fuertemente asociados con rebases indebidos y conductores dormitando, entre los factores humanos. Asimismo se encuentran relacionados con casi todos los accidentes por fallas mecánicas de los vehículos, con los desperfectos y los objetos en las carreteras y con el camino mojado o resbaloso y, en menor medida con la irrupción de ganado.

Existe una correlación no muy estrecha entre

volcaduras y virajes indebidos. Probablemente por virajes a muy alta velocidad o por evadir vehículos virando en lugares inadecuados.

Cuando el saldo del accidente es un incendio, hay correlación con fallas mecánicas del vehículo como motor o luces, lo cual tiene sentido pues una falla en el flujo del combustible y/o en el sistema eléctrico puede ocasionar que el vehículo se incendie. Si se presenta derrame de combustible y el clima es muy caluroso, puede igualmente presentarse un incendio.

Los choques se relacionan de forma contundente con las invasiones de carril, con los rebases indebidos, con el desacato a la señal de alto, a no ceder el paso ni guardar distancia, a los virajes indebidos, y a estar mal estacionado, entre los factores humanos.

De la misma forma se relacionan con casi todos los factores del vehículo que son relevantes: llantas, frenos, dirección, suspensión y ejes, así como con irrupción de ganado, objetos en el camino y camino mojado.

Existe correlación entre los atropellamientos y no respetar las señales de alto así como con los lugares en los que no se cede el paso. En principio, la mecánica y los motivos psicológicos y socioeconómicos de un accidente por no ceder el paso y un atropellamiento son casi los mismos.

5.5.6 Saldos vs Saldos

Los daños materiales son directamente proporcionales al número de lesionados en el segmento, únicamente en los lugares de bajo TDPA. De forma similar acontece en la relación con el número de muertos. Sin embargo, los daños materiales son totalmente correlativos al número de participantes. En cuanto a los tipos de accidente que más daños materiales causan se ubican los choques en primer lugar, seguidos por las salidas del camino.

Los daños materiales tienen relación con el número total de accidentes en el segmento, sólo cuando este es pequeño.

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

Los números de muertos y lesionados son directamente proporcionales, excepto en puntos muy específicos en donde pueden haber muchos muertos y pocos lesionados o viceversa; es decir, lugares en los que, de accidentarse, pocos sobreviven, o en un caso más alentador, pocos fallecen.

152

La relación entre el número de participantes y el número de muertos indica que en casi todos los lugares en los que se presentan accidentes con 2 o más participantes, también ha habido muertos. Esto es poco menos notorio en zonas montañosas. Así, la ocurrencia de accidentes de dos o más vehículos debe ser un indicador de la necesidad de actuar en ciertos puntos para no tener muertes por lamentar.

En cuanto a los muertos y el tipo de accidentes, se encuentra que los accidentes por salidas del camino ocurren sobre casi toda la red, incluyendo los puntos en los que hay decesos. Esto indica que una salida del camino normalmente tiene consecuencias fatales.

Las volcaduras se relacionan con accidentes de pocos muertos y los choques son los accidentes que más muertos producen, ya sean pocos o varios en un mismo evento. El saldo de los atropellamientos normalmente es de un muerto.

Casi de forma similar ocurre con los tipos de accidentes y el número de lesionados, salvo que los atropellamientos coinciden con lugares de alto número de lesionados.

El análisis de la relación entre las capas de tipos de accidentes y el tema de accidentes totales en los segmentos de 500 m, indica que en casi todos los lugares en los que se presentan salidas del camino, ocurre un único accidente. No así en los sitios en donde se han dado volcaduras, choques o atropellamientos. Normalmente estos eventos son el segundo evento, o bien, se presentan de forma recurrente y son parte de la problemática a atacar con prontitud.

La correlación entre total de accidentes en un tramo

y el número de decesos en el mismo es proporcional únicamente en valores medios de ambas escalas. A valores bajos de total de accidentes como en tramos montañosos no hay correlación, pues en tramos montañosos suelen haber puntos con varios fallecidos.

Al igual que con el número de muertos, los lugares con accidentes de 2 o más participantes indican propensión a un alto número de lesionados. Además, en casi todos los lugares con al menos un participante, es decir, en todos los accidentes, hay lesionados.

La relación entre el número de participantes en los accidentes y el tipo de accidentes que resultan es muy sencilla de entender. Las salidas del camino, las volcaduras y los incendios son generalmente accidentes de un vehículo. Los choques y los atropellamientos involucran, por definición, dos o más participantes. La correlación se corrobora cabalmente al hacer el análisis espacial.

Uno de los resultados más importantes del presente caso de estudio se obtiene al analizar la correlación entre número de participantes y el total de accidentes en el segmento. Todos los lugares con accidentes de 2 o más participantes, son lugares en donde ocurren un alto número de accidentes, es decir, los lugares de 2 o más participantes son un indicador altamente preciso de los llamados puntos negros.

Por último en lo relativo al cruce entre temas de saldos, los totales de accidentes en cada segmento y el número de lesionados en el mismo son proporcionales únicamente en las autopistas; esto es, a altas velocidades en carreteras cómodas, normalmente hay lesionados y no necesariamente muertos dadas las observaciones anteriormente expuestas. Por otro lado, en carreteras más modestas, no siempre que hay accidentes hay lesionados, pero pueden haber muertos, lo cual implica ventajas y desventajas simultáneamente de las autopistas y de las carreteras de dos carriles.

5.5.7 *Saldos vs Otros atributos*

La primer observación indica que el TDPA y los daños materiales son directamente proporcionales, lo cual tiene sentido si se recuerda que el TDPA y la ocurrencia de accidentes también son directamente proporcionales.

El comportamiento de los daños materiales es muy similar en todos los tipos de carretera, excepto en la supercarretera Puebla – Oaxaca, en donde son menores, sin embargo se presume que se debe a los bajos volúmenes de tránsito en 1997. De forma semejante ocurre para dicha carretera en cuanto a los números de muertos, lesionados y accidentes totales.

Los números de muertos y lesionados son altos en algunos puntos de tramos montañosos, es decir, en ciertos puntos de montaña, un error de cualquiera de los componentes del Sistema de Transporte resulta en consecuencias graves.

Si bien la correlación entre el número de lesionados y el TDPA no es tan marcada, la del número de muertos y TDPA sí lo es. Igualmente el número de participantes en los accidentes y el TDPA son directamente proporcionales a partir de 3 participantes y más, lo cual se explica si se considera que entre más vehículos existan en la vía, más factible es un encuentro entre ellos. Para valores de 2 participantes y menos, la correlación no es tan sólida.

Para los accidentes de 4 participantes y más, la tendencia indica que se concentran en los tramos de autopista.

Respecto de los tipos de accidentes que son proporcionales con los valores del TDPA se encuentran las salidas del camino, excepto en tramos como Oaxaca – Ixtlán y San Cristóbal de las Casas – Palenque, en los que aún con bajo TDPA las salidas del camino son frecuentes. Lo anterior probablemente por tratarse de tramos muy sinuosos y de caminos estrechos. Es importante considerar

también el hecho de las temporadas vacacionales en estas carreteras.

Los choques también son directamente proporcionales al TDPA, excepto en la misma carretera San Cristóbal de las Casas – Palenque, en el tramo Tuxtla Gutiérrez – Bochil y en el tramo Minatitlán – Coatzacoalcos. Los primeros dos caminos son caminos poco transitados, a la vez que son sinuosos y angostos y, en el tramo Minatitlán – Coatzacoalcos se menciona anteriormente su muy probable funcionamiento como tramo metropolitano.

Los atropellamientos son frecuentes en las zonas de más alto TDPA y muy raros en las demás zonas, es decir en aquellas con valores medios y bajos de volúmenes de tránsito.

Un resultado peculiar radica en el hecho de que todos los accidentes por caída de pasajero se presentan en lomeríos. Probablemente se debe a la velocidad relativamente alta que los vehículos

adquieren y a la existencia de un trazo que posiblemente genera confianza entre los pasajeros, siendo que es más peligroso que en terrenos planos. En tramos montañosos dicho factor de confianza seguramente desaparece.

Finalmente, se corrobora que el número total de accidentes en cada segmento de 500 m y el TDPA son directamente proporcionales, excepto en carreteras con bajo TDPA que resultan ser peligrosas. En ellas se debe poner especial atención. Se trata de los caminos entre San Cristóbal de las Casas y Palenque, y el que corre entre Tuxtla Gutiérrez y Bochil, todos en Chiapas; así como de algunos puntos en la supercarretera de Oaxaca.

En cuanto al tipo de terreno y el total de accidentes en cada segmento, se observa que estos son menos en lomeríos, excepto entre Córdoba y Orizaba. Probablemente la relación entre la velocidad con que se recorren y el trazo de los caminos es la más adecuada.

5.5.8 Momentos vs Otros atributos

El cruce de capas de momentos contra el tema con el TDPA indica que los accidentes en tramos de mayor TDPA son más frecuentes los días sábados, de igual forma para el horario de 9.00 a 12.00 horas e idénticamente para los meses de marzo y abril. Resulta claro que en esos momentos son especialmente altos los volúmenes de tránsito.

156

Sin embargo, al no considerar la componente del TDPA, sino los tipos de terreno o carretera, el bimestre álgido es el de noviembre y diciembre. La tendencia hacia los días sábados se conserva y la correlación con los horarios se desplaza hacia momentos más tardíos según el tipo de carreteras y terreno. Así, los accidentes más tempraneros, entre las 12.00 y las 15.00 horas ocurren en autopistas, principalmente sobre terrenos planos.

Los accidentes entre las 18.00 y las 21.00 son más comunes en carreteras de dos carriles, con tendencia

muy marcada hacia las zonas montañosas.

Se observa que en los accidentes con elevadas cifras de muertos y lesionados participan vehículos pesados como autobuses o trailers y que son ligeramente más comunes en tramos de montaña. En Chiapas y Oaxaca son frecuentes los autobuses o camiones de redilas que transportan pasajeros que presentan salidas del camino o choques; en un buen número de ocasiones por fallas en los frenos y en otras tantas por errores del conductor. Como medida preventiva, la correcta observancia de una reglamentación al respecto de este tipo de transporte es de utilidad.

Las explicaciones de las correlaciones anteriores con seguridad tienen que ver con aspectos como la visibilidad, los tiempos de viaje y las actividades económicas de cada una de las zonas que definen la función de los caminos.

5.5.9 Factores vs Otros atributos

Se observa correlación con valores altos de TDPA y los siguientes factores humanos: no cedió el paso, no guardó distancia y viró indebidamente. Ello se explica si se considera que generalmente se trata de accidentes en los que hay dos o más participantes dada la concentración de vehículos en zonas de alto TDPA.

Existe una ligera correlación entre los tramos de alto TDPA y los accidentes por falla de las luces de los vehículos. Si un vehículo circula sin luces, es más propenso a resultar accidentado en donde una mayor cantidad de conductores no le ve.

En tramos con valores medios de TDPA hay correlación con factores como camino mojado o resbaloso, mismos en los que se recomienda revisar el drenaje de las carreteras. Aún cuando la atención a este tipo de vías es prioritaria, es altamente probable que no se invierta en proyectos de tal tipo si el TDPA y el número de accidentes no son muy sobresalientes.

Los accidentes por invasión al carril contrario y por desperfectos del camino presentan correlación con valores bajos de TDPA. Los primeros, que son más comunes en tramos montañosos, probablemente se deben a que los conductores no consideran muy factible encontrar un vehículo en el carril contrario, normalmente al cortar las curvas, dado lo desierto del camino. Los accidentes por desperfectos en zonas poco transitadas pueden tener su razón de ser en la escasa vigilancia y mantenimiento de los caminos.

Una correlación adicional existe entre tipo de terreno plano y accidentes por conductores dormitando. En caminos planos, con trazos muy rectos es muy probable que los conductores dormiten, máxime si circulan a baja velocidad y cansados, ya que en la zona del caso de estudio las temperaturas en las regiones planas son muy altas y provocan cansancio adicional.

De igual forma, otros factores que se presentan de

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

forma recurrente en zonas planas son las fallas de las llantas de los vehículos y la irrupción de ganado. Se menciona en párrafos anteriores que la ganadería, como actividad económica, se practica de forma más extensiva en zonas planas. Asimismo se indica que las velocidades y temperaturas que se conjugan para propiciar que las llantas de los vehículos revienten son características de zonas planas, principalmente sobre autopistas.

158

También hay correlación entre el terreno plano y los accidentes por no guardar distancia, en los que la explicación seguramente radica en las altas velocidades por quienes no guardan distancia y las detenciones repentinas de los vehículos a que se da alcance, que bien pueden ser por ganado, desperfectos del camino, otras fallas mecánicas e incluso lluvias o vientos.

En terreno plano puede considerarse válido asumir la ocurrencia de accidentes por imprudencia o intención de los conductores, dado que el trazo de los caminos, seguramente genera confianza en

quienes son usuarios de ellos.

En los lomeríos se observa una fuerte correlación con los accidentes por fallas en la dirección de los vehículos. Si se circula sobre terrenos planos, los problemas con la dirección en las curvas son raros y si se circula sobre terrenos montañosos, los conductores normalmente revisan oportunamente la dirección de sus vehículos. En los lomeríos se está entre ambas situaciones.

Correlaciones adicionales y no tan evidentes entre los lomeríos y factores a los que se atribuyen accidentes, existen con los siguientes valores: conductores dormitando, llantas, no guardar distancia y ganado; casi con certeza, por factores similares a aquellos que se describen para terrenos planos.

La correlación entre terreno de lomeríos y los factores del camino, objetos en el camino y camino resbaloso, con seguridad se deben efectivamente a la velocidad que se piensa se puede desarrollar en

caminos con mal mantenimiento o diseño.

Para terreno montañoso existen correlaciones, marcada con los accidentes por falla de los frenos de los vehículos y, no tan evidente, con los accidentes por invasión de carril. Es claro que en tramos montañosos, de pendiente pronunciada, es muy factible el sobrecalentamiento de los frenos y la pérdida de control de los vehículos. Por otro lado, en tramos montañosos, generalmente los caminos son estrechos y los conductores invaden frecuentemente el carril contrario para cortar las curvas y con ello tratar de sostener un promedio de velocidad más alto.

Respecto del tipo de carretera, se presenta correlación entre los accidentes por virajes indebidos y autopistas. Con seguridad se trata de vehículos que cambian de carril súbitamente o en lugares inadecuados, muchas veces por la inexistencia de la infraestructura adecuada para ello salvo en sitios muy distantes entre sí, y muy frecuentemente, hasta cruzar por puestos de cobro del peaje.

Las autopistas muestran correlación, en menor grado, con los accidentes por conductores dormitando, posiblemente por los factores de confianza antes descritos.

En las carreteras de dos carriles se corrobora la correlación con accidentes por invasión de carril contrario. La separación de sentidos de viaje en las autopistas evita prácticamente dicho patrón negativo de accidentes, sin embargo los costos de una autopista generalmente las hace no factibles en zonas de pocos recursos económicos como la del caso de estudio.

5.5.10 Otros atributos vs Otros atributos

Los tramos con altos valores de TDPA, se ubican principalmente en zonas planas y de lomeríos, pues son en las que la gran mayoría de actividades humanas encuentran las condiciones propicias para desarrollarse; los tramos con alto TDPA que se

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

encuentran sobre zonas montañosas, cruzan por ese relieve dada la necesidad de conectar polos importantes de actividad humana lejanos entre sí.

En el caso opuesto, normalmente existe correlación entre carreteras de bajo TDPA y zonas montañosas. Las características del paso por zonas sinuosas, lento y riesgoso, es un desalentador importante del tránsito sobre ese tipo de terreno.

160

En zonas de TDPA bajo, generalmente en montaña, los caminos son de dos carriles y en zonas de TDPA más alto se construyen supercarreteras o autopistas. Los caminos más inadecuados según su volumen de tránsito y tipo de carretera son aquellos con TDPA medio a alto y que son vialidades de dos carriles en un solo cuerpo. Así, existe rezago en la mayoría de los caminos del Istmo de Tehuantepec y en algunos del centro de Chiapas y Oaxaca, principalmente en las zonas aledañas a las capitales estatales, Tuxtla Gutiérrez y Oaxaca de Juárez, respectivamente.

Aún cuando se trata de autopistas se debe revisar la

adecuación de la carretera Puebla – Veracruz dados los muy elevados volúmenes de tránsito. De forma similar entre Coatzacoalcos y Villahermosa, pues si bien hay tramos de autopista, hay otros de carretera de dos carriles. En los dos tramos antes mencionados la ocurrencia de accidentes es muy alta.

En el caso contrario, de vías de comunicación probablemente excesivas para los volúmenes de tránsito que manejan se encuentran la autopista entre La Tinaja y Coatzacoalcos y la supercarretera a Oaxaca. Un factor de manejar menos tránsito del que se supone es factible para este tipo de carreteras, puede ser el peaje en desacuerdo con las características socioeconómicas de los habitantes de la zona que comunican y, adicionalmente con la esperanza de nivel de servicio que los mismos generan. Cabe considerar también que en 1997 estas carreteras apenas han iniciado su operación.

Sin embargo, el tener la capacidad de mantener en buenas condiciones vías de este tipo, con bajos niveles de TDPA, resulta muy conveniente para

quienes transitan por ellas mismas y en relación con su comportamiento ante los accidentes de tránsito; en otras palabras, de no ser por la dificultad económica, lo ideal sería contar con autopistas en todos los casos.

La facilidad de construir autopistas en terrenos planos o lomeríos también se refleja en correlación con el tipo de terreno sobre el que se ubican dichas vías. La inversión y la dificultad técnica para construir autopistas en zonas montañosas es muy elevada y por ello el único tramo con esas características que se presenta dentro del caso de estudio es el del tramo Esperanza – Orizaba, que como se observa en resultados anteriores es un tramo por demás complejo en cuanto a su comportamiento ante la problemática de los accidentes de tránsito.

5.6 RESUMEN DE RESULTADOS

En este apartado se plantean, de forma muy general, los resultados más importantes y las conclusiones

particulares de la aplicación de la metodología al caso de estudio. Es oportuno considerar que el análisis espacial, tanto a una como a dos variables, se lleva a cabo tomando en cuenta la totalidad de carreteras del caso de estudio y que, estudios a escala de un subgrupo o de una carretera en particular, seguramente arrojan resultados más claros y específicos; más aún si se conocen a ciencia cierta la mayor cantidad de atributos de la zona por la que cruzan las vías a estudiar.

A grandes rasgos, se observa que uno de los factores que más influyen en la ocurrencia de accidentes en las carreteras es el volumen de tránsito. Resulta obvio pensar que si se está ante vialidades saturadas, velocidades no necesariamente muy altas constituyen exceso de velocidad. Lo anterior resalta con claridad en el análisis cercano a zonas urbanas.

Otro aspecto de riesgo a considerar en zonas urbanas radica en la mezcla de los flujos de tránsito local y foráneo, pues la percepción de las vías es distinta para quienes constituyen uno y otro flujos.

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

Se recomienda así, separar en la medida de lo posible a ambos tipos de usuarios, mayormente mediante infraestructura propicia como pasos a desnivel, libramientos y carriles exclusivos.

El comportamiento de los patrones de accidentes depende en buena medida de la percepción que el usuario tenga de la carretera que se dispone a emplear, así las carreteras cómodas en terrenos planos o de lomeríos, pueden propiciar que el conductor genere excesos de confianza.

162

En tramos de montaña, de carreteras de dos carriles o de un precario estado de conservación los conductores generan menos excesos de confianza, salvo por lo poco transitado de algunos caminos, sin embargo, es en estos caminos en los que la falta de pericia o de conocimiento acerca del funcionamiento de los elementos adicionales del Sistema de Transporte, por parte de un buen número de los usuarios, resulta en accidentes de tránsito.

Tanto como afecta la percepción por parte del

usuario, afecta la percepción que de las carreteras se tenga por parte de quienes proveen las vialidades, pues según indican los resultados del caso de estudio, un buen número de accidentes se debe a errores en el diseño o en el mantenimiento de las vías así como a la falta de infraestructura adecuada.

En autopistas y en zonas planas, el nivel de conservación de las carreteras así como la correcta vigilancia de los reglamentos de tránsito deben ser tan congruentes como sea posible para no discrepar con las altas velocidades que las vías permiten.

Si bien en zonas montañosas o de carreteras estrechas, las velocidades no son tan altas, considerar aspectos como un buen trazo en función de minimizar grado de curvatura y pendientes, así como un buen mantenimiento dados los problemas de visibilidad, tienen con seguridad efectos positivos.

Es posible establecer entonces cierta diferencia entre lo que ocurre en caminos muy transitados con caminos de volúmenes de tránsito bajos; lo que

sucede en carreteras muy cómodas y carreteras estrechas de dos carriles y; lo que acontece en caminos sobre terrenos planos o lomeríos y aquellos en zonas montañosas.

Así el óptimo respecto de la prevención de accidentes, se encuentra en buscar la forma de que en los caminos de cada tipo, según se establece en el párrafo anterior, se minimicen las conductas que llevan a los accidentes, sin que aparezcan aquellos comportamientos nocivos de los tipos de caminos ajenos a ellos.

Lo anterior se logra al proveer de infraestructura adecuada y de generar conciencia en los usuarios acerca de la problemática de los accidentes de tránsito; la aplicación de la metodología de la presente tesis debe servir sino como un hilo conductor acerca de la infraestructura y de las acciones y programas de prevención adecuados en cada caso.

Por último, es recomendable que las bases de datos,

producto del levantamiento de accidentes minimicen variables del tipo de las que en este caso de estudio deben ser no consideradas, pues entre menos ambiguos y manipulados son los reportes que se reflejan en las bases de datos, más sencillo y preciso resulta el encontrar tendencias.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Instituto Mexicano del Transporte, *Sistema de Información Geográfica de Accidentes en las Carreteras de México*, 1997, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, México, 1998
- [2] Secretaría de Salud, *Programa de Acción: Accidentes*, Secretaría de Salud, Ciudad de México, México, 2002
- [3] Sitio de Internet de la Secretaría de Relaciones Exteriores de México, en <http://ppp.sre.gob.mx>, Ciudad de México, México, 2004

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

[4] Sitio de Internet del Banco Interamericano de Desarrollo, en <http://www.iadb.org/ppp/>, Washington, Estados Unidos de Norteamérica, 2004

[5] Sitio de Internet del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática de México, <http://www.inegi.gob.mx>, Aguascalientes, México, 2004

164

[6] Policía Federal Preventiva, *Base de Datos de Accidentes en Carreteras*, 1997, México, 1998

[7] Chías, L. et al, *Capas de cartografía temática de México en formato digital*, Departamento de Geografía Económica, Instituto de Geografía, UNAM, México, 1998-2003

CONCLUSIONES

En este último apartado del presente trabajo de tesis se presentan los hallazgos más importantes, producto de la investigación desarrollada.

Dadas las dimensiones de la problemática de los accidentes de tránsito, tanto sociales como económicas, el combate a ella es un asunto prioritario en la agenda de las distintas naciones y, aún cuando los esfuerzos por abordarle con éxito son pródigos, generalmente los frutos que rinden son poco relevantes.

La razón de ello radica en la existencia de errores conceptuales y paradigmáticos al momento de considerar la problemática de los accidentes de tránsito.

Si a los accidentes de tránsito se les ve bajo la óptica de sistemas e incrustados en su justo lugar

dentro del Sistema de Transporte, se pueden comenzar a atacar de una forma más ordenada y fructífera pues, buscar un orden para atacar con éxito la problemática es indispensable, para evitar problemas adicionales que obstaculicen su solución, principalmente en los países en vías de desarrollo.

Por otro lado, es necesario disponer del continuo avance de las ciencias en pos de atacar aspectos particulares de la problemática de los accidentes de tránsito, de tal forma que, en este trabajo de tesis se propone encausar la aplicación de los sistemas de cómputo en conjunción con la Ingeniería y la Geografía para tales fines.

Un grupo de sistemas computacionales que sobresale por su rápido crecimiento, mismo que se explica si se enfatizan su versatilidad y alcances en

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

contraste con su sencillez y bajo costo, es el de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Un aspecto que ha permitido la veloz expansión del uso de los SIG, es su utilidad inherente para el análisis de fenómenos que tienen relación con el medio geográfico, como el Transporte. Por tal motivo, en esta tesis se presenta una de las recopilaciones más completas que de los SIG existen en español, y se consideran sus aspectos desde un punto de vista más semiótico y menos técnico.

166

Como parte de las funciones de los SIG, estos permiten la aplicación de metodologías propias de otras disciplinas; por lo que es posible aplicar a la información, procedimientos propios de la Ingeniería, así como de la Geografía y de otras Ciencias.

Sin embargo, si bien en los países desarrollados también se ha generado una amplia serie de estrategias para intentar atacar la problemática de

los accidentes de tránsito, basadas en SIG; los resultados siguen siendo dependientes de la forma en que se lleve a cabo la aplicación, misma que a su vez depende del marco conceptual en que se plantee.

Dado lo anterior, se debe revisar el marco conceptual de los programas de prevención de accidentes. A nivel mundial se encuentra que son dos los programas más exitosos y más viables de prevención de accidentes, que a la postre marcan la pauta en cuanto al combate de la problemática en el mundo: el programa “Visión Cero” de Suecia y el programa de los Países Bajos denominado “Seguridad Vial Sustentable”.

De los puntos en común que tienen ambos programas, sobresalen:

- ▶ El considerar a los accidentes de tránsito como errores en el Sistema de Transporte, por lo que los distintos actores del Sistema comparten la responsabilidad.

- ▶ La propuesta de adecuar los caminos, al grado de que el menos apto de los conductores, no peligre ni ponga en peligro la integridad de los otros usuarios de las vías.
- ▶ Si se hace del conocimiento del usuario, de forma innata mediante el entorno que se le presente, el tipo de vialidad en el que se encuentra y con ello, el comportamiento que de otros usuarios puede esperar así como el que de él se espera, es posible prevenir una buena cantidad de accidentes.
- ▶ De igual forma, proveer al usuario de información respecto de la vialidad en la que transita, así como de los peligros más frecuentes en ella y de las prácticas que de que puede valerse para minimizar riesgos, es muy útil en la prevención de accidentes.

Extrapolando lo anterior a la realidad de nuestro país, se propone y se demuestra en este trabajo de

tesis, que es posible llegar a una clasificación de los caminos, al aplicar los SIG sobre datos que describen las carreteras y la forma en que ocurren los accidentes de tránsito en ellas. Los caminos se pueden clasificar a grandes rasgos en: a) tramos alta y bajamente transitados; b) tramos sobre terreno plano, sobre lomeríos o sobre montañas y c) tramos de autopista, de supercarretera o de carretera estrecha de dos carriles.

Para llegar a tal clasificación se emplean el análisis multicriterio y el análisis espacial dentro de un SIG.

El análisis multicriterio, es útil para problemas en los que, por el número de variables, cada una con diversos atributos, que se tienen, es difícil tomar decisiones. De tal forma, en la propuesta de esta tesis el análisis multicriterio se emplea para descartar o considerar variables en las bases de datos que se manejen dentro del SIG.

Son propios del análisis multicriterio diversos procedimientos, los más de ellos con reglas y

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

objetivos bien definidos, de tal forma que se puede emplear cualquier método que se adecue a los requerimientos del problema planteado en cada caso particular de estudio y a las habilidades de quien de él haga uso.

El análisis espacial es útil para encontrar tendencias entre series de datos geográficamente o espacialmente distribuidos en un territorio. Así, en la propuesta se plantea hacer uso del análisis espacial sobre los datos de la base, para detectar tendencias que relacionen a los registros con atributos inherentes a la zona geográfica en donde los datos se originan, o bien, con otros atributos de los mismos.

En el caso de estudio se muestra el modo en que, mediante la aplicación de la metodología propuesta, es posible obtener resultados y conclusiones que de alguna forma contribuyen a la solución de aspectos de la problemática de los accidentes de tránsito en las carreteras.

Algunas de las conclusiones más importantes del caso de estudio son:

- ▶ De forma casi inmediata se pueden localizar los sitios o tramos más peligrosos en una red de caminos.
- ▶ Uno de los factores que más propicia la ocurrencia de los accidentes de tránsito reside en los altos volúmenes de tránsito por la consecuente interacción de vehículos y no tanto en la velocidad excesiva.
- ▶ Es posible detectar y diferenciar entre los distintos patrones de comportamiento, por parte de usuarios y proveedores del Sistema vial, que resultan en el acontecimiento de accidentes de tránsito, según se trate de: caminos alta o bajamente transitados; caminos sobre tramos planos o lomeríos, o bien, de caminos sobre terrenos montañosos y; de carreteras cómodas como autopistas o supercarreteras, o bien, de carreteras estrechas

de dos carriles.

- ▶ Dado lo anterior, mediante los valores que toma un atributo para un cierto tipo de camino, es posible detectar tramos potencialmente peligrosos respecto de segundos atributos.
- ▶ Una cantidad considerable de accidentes se puede prevenir con pocos recursos y a bajo costo.

ANEXO 1

ANEXO CARTOGRÁFICO

170

En esta sección se presentan 5 mapas seleccionados del caso de estudio, que muestran distribuciones interesantes de algún atributo, relaciones importantes entre las variables del proyecto, o bien, son buenos ejemplos que contribuyen a un mejor entendimiento de la metodología propuesta.

Por razones de espacio, se presentan únicamente 5 mapas de un total de 106 mapas generales, de los cuales 15 corresponden a mapas temáticos de una variable y 91 a mapas temáticos de 2 variables. Lo anterior se refiere al caso de considerar una sola escala geográfica y sin separar los distintos valores de las variables. Dado que se trata de un SIG, el número de escalas a manejar es ilimitado y, de emplear uno a uno los posibles valores de las

variables, tal como se manejaron para el análisis, se tendrían cerca de 5,500 mapas.

Así el problema crece prácticamente de forma exponencial y, de imprimir toda la información, el manejo resulta muy poco práctico. Por lo anterior, se anexa a este trabajo impreso, un disco compacto con proyectos cartográficos separados para cada uno de los mapas temáticos del caso de estudio.

ASPECTOS IMPORTANTES A CONSIDERAR ANTES DE USAR EL DISCO COMPACTO

La información se encuentra en formato de SIG para

ArcView 3.X y los proyectos se identifican por ser aquellos con la extensión .apr, bajo alguna de las siguientes rutas, dependiendo del tipo de mapa del cual se trate:

- ▶ Mapas a una variable:
Unidad de CD:/Landkarten/Mapas temáticos a una variable
- ▶ Mapas a dos variables:
Unidad de CD:/Landkarten/Mapas temáticos a dos variables

Los datos fuente de los proyectos, se encuentran dentro de la carpeta: *Unidad de CD:/Landkarten* o en sus subdirectorios, a excepción de las extensiones de ArcView, que se identifican como archivos con la extensión .avx.

Las extensiones no son importantes al emplear los datos; su uso corresponde a la etapa de preparación del material, por lo que, de aparecer mensajes de

error por no encontrar el software las extensiones (archivos .avx) al abrir los proyectos, basta con dar “Cancelar” para que acto seguido continúe abriendo el proyecto.

Para utilizar los mapas se recomienda leerlos directamente del disco compacto dentro de ArcView si no se piensa editarlos. En caso contrario, lo conveniente es copiarlos a una unidad de disco duro, en el nivel de raíz, es decir, sin colocarlos en subdirectorios para conservar la ruta a los datos fuente y no tener que especificar ésta de nuevo dentro de ArcView.

Una vez copiados los datos, si a los proyectos se les aplica la opción de “guardar” dentro de ArcView, se crea una nueva ruta, por lo que se recomienda tener en cuenta que, el cambiar de directorio los datos fuente en lo sucesivo, es motivo de pérdida del acceso directo a ellos, debiendo especificarse de nuevo la ruta para encontrarlos.



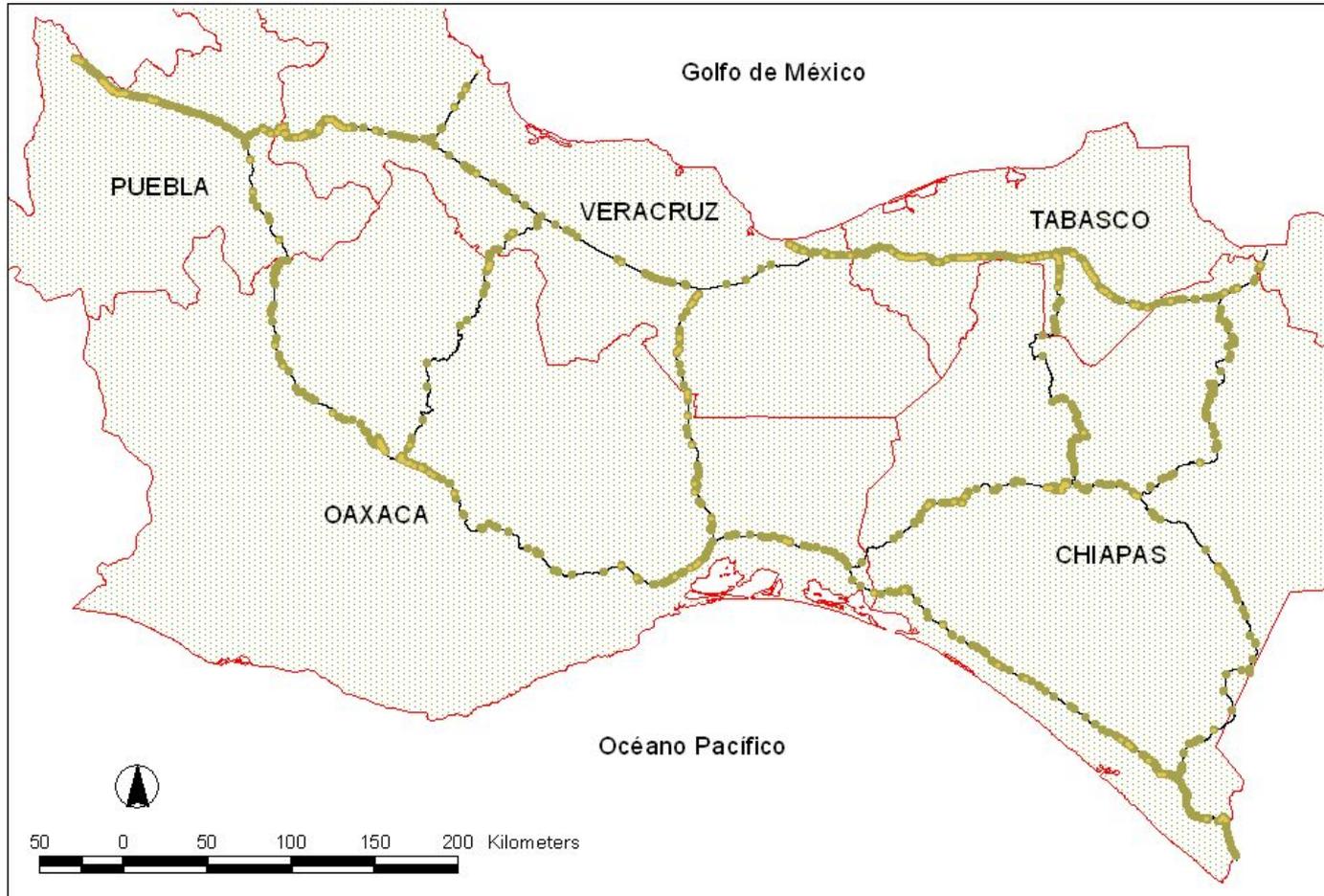
- Ce_seg500gu2.shp
- 0 - 2
- 3 - 5
- 6 - 10
- 11 - 20
- 21 - 36
- Dm68000 - 240000.shp
- Ce_seg500gu2.shp
- Ce_estados.shp

CASO DE ESTUDIO

Saldos de los accidentes

2 variables

Propuesta Metodológica
de Aplicación de los SIG
para Prevención de
Accidentes en Carreteras
Ing. Raúl Espinoza Jiménez
Agosto 2004



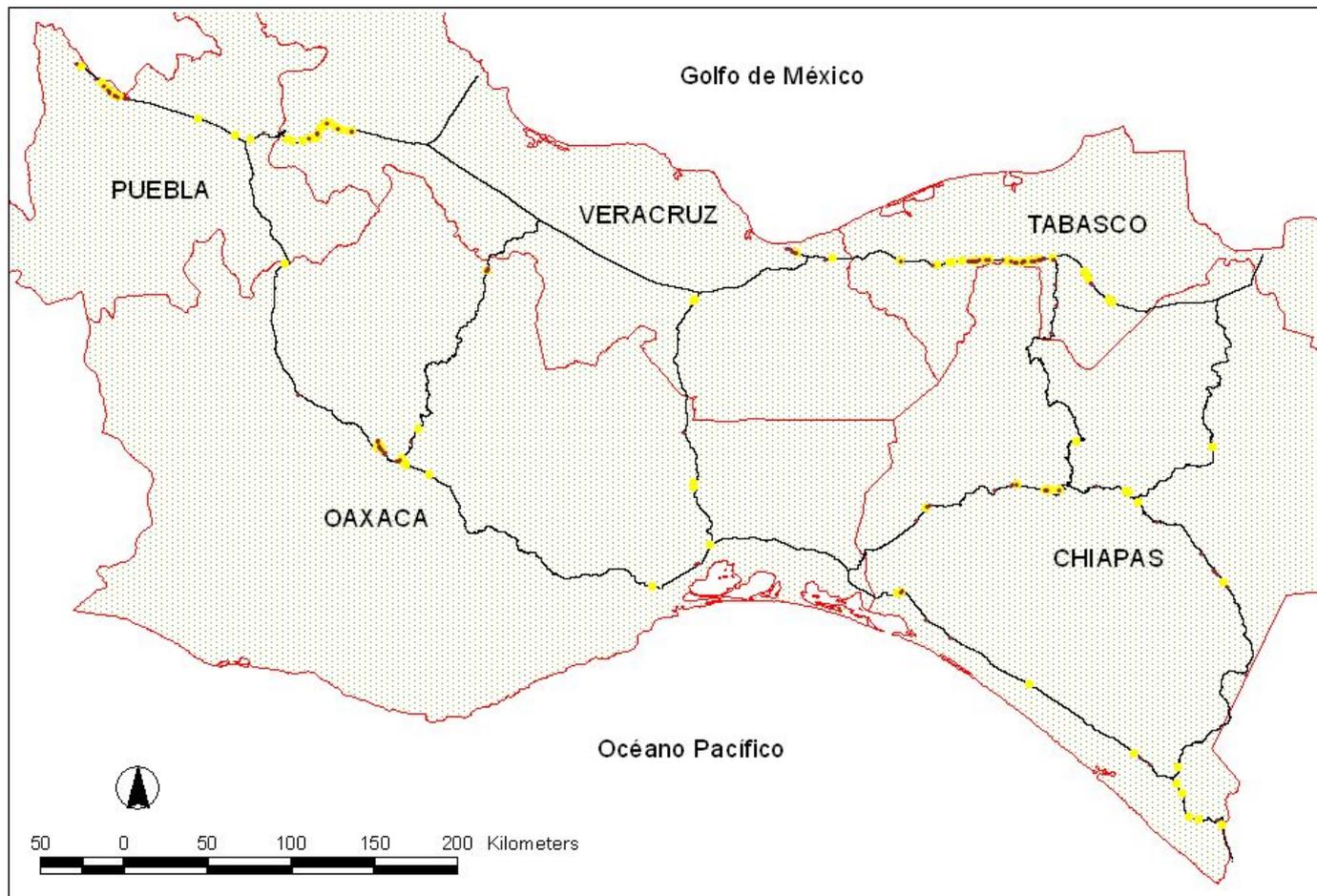
- 8 no guardó distancia.shp
- T5 choque.shp
- Ce_seg500gut2.shp
- Ce_estados.shp

CASO DE ESTUDIO

Factores y saldos de los accidentes

Propuesta Metodológica
de Aplicación de los SIG
para Prevención de
Accidentes en Carreteras

Ing. Raúl Espinoza Jiménez
Agosto 2004

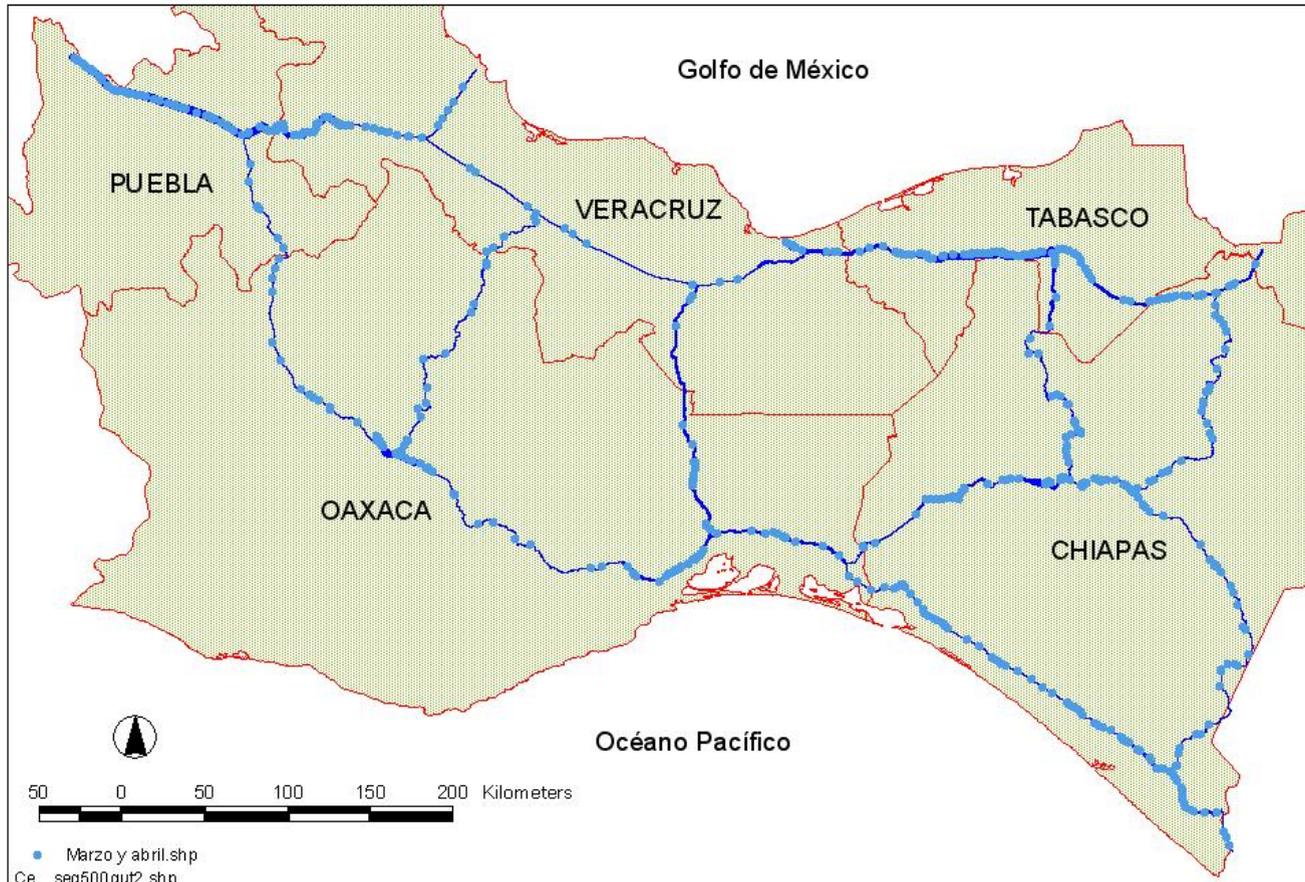


- 7 no cedió el paso.shp
- T7 atropellamiento.shp
- △ Ce_seg500gut2.shp
- ▨ Ce_estados.shp

CASO DE ESTUDIO

Factores y saldos de los accidentes

Propuesta Metodológica
de Aplicación de los SIG
para Prevención de
Accidentes en Carreteras
Ing. Raúl Espinoza Jiménez
Agosto 2004

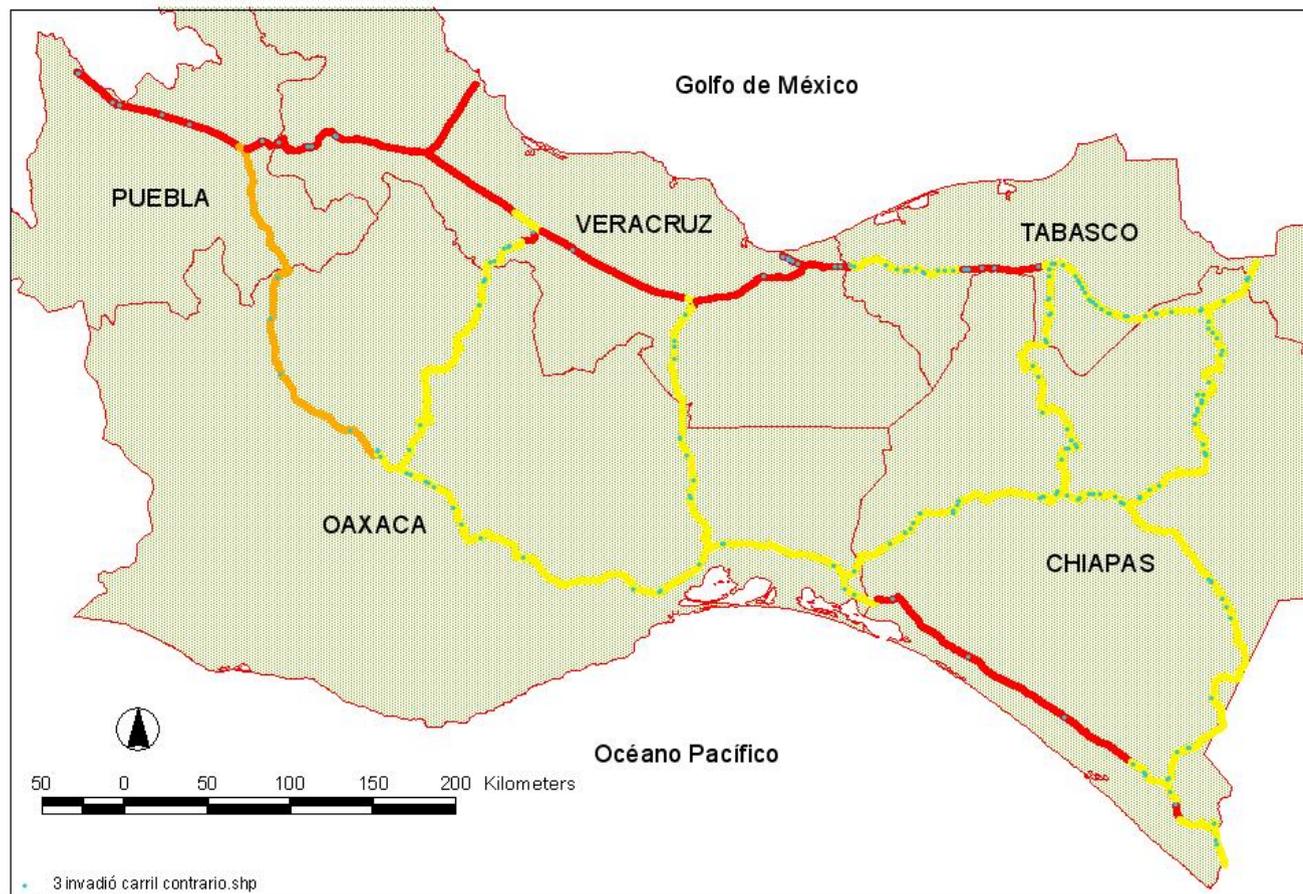


- Marzo y abril.shp
- Ce_seg500.gut2.shp
- 0 - 3416
- 3416 - 6832
- 6832 - 10248
- 10248 - 13664
- 13664 - 17080
- Ce_seg500.gut2.shp
- Ce_estados.shp

CASO DE ESTUDIO

Momentos y otros atributos de los accidentes

Propuesta Metodológica
de Aplicación de los SIG
para Prevención de
Accidentes en Carreteras
Ing. Raúl Espinoza Jiménez
Agosto 2004



- 3 invadió carril contrario.shp
- Ce_seg500gut2.shp
- ▲ AUTOPISTA 4 CARRILES (A4)
- ▲ CARRETERA 2 CARRILES (C2-)
- ▲ CARRETERA 2 CARRILES ALTAS ESP. (C2)
- ▲ CARRETERA 4 CARRILES (C4)
- ▲ Ce_seg500gut2.shp
- ▲ Ce_estados.shp

CASO DE ESTUDIO

Factores y otros atributos de los accidentes

Propuesta Metodológica
de Aplicación de los SIG
para Prevención de
Accidentes en Carreteras
Ing. Raúl Espinoza Jiménez
Agosto 2004

ANEXO 2

REPORTES TABULARES

Al igual que en el anexo cartográfico, en esta sección se presenta una selección de 5 tablas, procedentes del universo de tablas producto de los análisis a una y dos variables, que es posible obtener.

Dentro de algunos de los proyectos (archivos .apr) de ArcView, es posible acceder a tablas de resúmenes elaboradas en este trabajo de tesis, además de a las tablas de la base de datos accesibles en todo proyecto. Las tablas se identifican por ser archivos con la extensión .dbf.

No en todos los proyectos hay tablas elaboradas, pero sí en todos es posible visualizar las tablas de la base de los datos fuente.

La ruta de acceso directo a las tablas de resúmenes elaboradas es:

Unidad de CD:/Landkarten/Tabellen

Se recomienda el mismo nivel de precaución al mover las tablas de directorios que el que se especifica para con los datos fuente.

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

Carretera	Kilometraje	Total de Muertos
199	032+950	8
190	052+000	8
175	160+000	5
150-D	026+200	5
200	264+300	4
185	210+980	4
185	233+800	4
175	211+950	4
180	115+800	4
180	143+500	4
150-D	235+750	4
190	108+920	3
190	195+050	3
190	031+600	3
190	112+000	3
190-D	118+100	3
150-D	127+000	3
180	080+800	3
180	094+950	3
180	117+500	3
180	162+000	3

Tabla 1. Segmentos con mayor número de muertos

Carretera	Kilometraje	Total de accidentes
150-D	123+000	36
150-D	127+500	28
150-D	127+000	20
150-D	123+500	20
180	122+500	18
150-D	125+900	17
180	084+150	17
175	119+800	15
150-D	235+750	14
180	051+800	13
150-D	120+000	13
150-D	124+200	13
150-D	270+000	13
150-D	286+400	13
180	122+020	12
150-D	120+750	12
150-D	126+800	12
150-D	268+000	12
150-D	268+100	11
190-D	116+600	11
190-D	117+000	11

Tabla 2. Segmentos con mayor número de accidentes

Aplicación de los SIG en la Prevención de Accidentes en Carreteras

180

CAUSAS		Total de Accidentes
0		2
1	Imprudencia o intención	307
2	Velocidad excesiva	2471
3	Invadió carril contrario	226
4	Rebasó indebidamente	26
5	No respetó señal de alto	9
6	No respetó semáforo	3
7	No cedió paso	143
8	No guardó distancia	272
9	Viró indebidamente	117
10	Mal estacionado	29
11	Estado de ebriedad	18
13	Dormitando	119
14	Deslumbramiento	3
15	Llantas	135
16	Frenos	46
17	Dirección	41
18	Suspensión	8

CAUSAS		Total de Accidentes
19	Luces	11
20	Ejes	32
21	Transmisión	11
22	Motor	18
23	Sobrecupo o sobrecargado	5
24	Exceso de dimensiones	3
25	Otros	67
26	Irrupción de ganado	62
27	Desperfectos	26
28	Falta de señales	2
29	Objetos en el camino	36
30	Mojado	51
31	Resbaloso	8
32	Otro	3
33	Lluvia	3
38	Otro	8
NR		203

Tabla 3. Resumen de accidentes por factores asociados en la base de datos

MUERTOS	No. de Accidentes
0	4229
1	256
2	24
3	7
4	4
5	2
7	1
8	1

Tabla 4. Total de accidentes sin muertos, con un muerto, con dos muertos, etc.

Horario	Total de accidentes
00.00 a 03.00	496
03.00 a 06.00	267
06.00 a 09.00	600
09.00 a 12.00	633
12.00 a 15.00	577
15.00 a 18.00	647
18.00 a 21.00	778
21.00 a 24.00	526

Tabla 5. Total de accidentes en cada horario

