

## **Dinámica de los accidentes de tránsito en la Ciudad de México: un enfoque desde los Sistemas Complejos**

M. en C. Harvey Spencer Sánchez Restrepo, Dr. Luis Chías Becerril, Mtro. Héctor Resendiz López  
Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Acatlán  
División de Matemáticas e Ingeniería. Jefe de la sección de Matemáticas y Estadística  
Naucalpan, Estado de México, México. San Juan Totoltepec s/n. Sta. Cruz Acatlán.  
Tel. + (01) 55 5623 1746. Fax: + (01) 55 5623 1746. C.P. 53150. [harvey@apolo.acatlan.unam.mx](mailto:harvey@apolo.acatlan.unam.mx)

### **RESUMEN**

Los accidentes de tránsito pueden entenderse como el producto de una falta de coordinación para la realización de múltiples desplazamientos en un espacio escaso, lo cual provoca frustración en el sistema. Dicha carencia puede deberse a diversos mecanismos interactuando simultáneamente de manera no lineal y es posible clasificarlos distinguiendo entre: a) *la vía*, b) *el vehículo* y c) *el factor humano*. La existencia de puntos de concentración de accidentes (PCA) pone de relieve factores que superan tanto al factor humano como a las vialidades. Si en algunas vías emergen *zonas de inestabilidad* con mayor frecuencia y severidad en los siniestros, se deduce que hay elementos en la infraestructura vial y necesidades de transporte que dirigen la dinámica de los mismos en formas colectivas distintas de la simple adición de los eventos individuales. Lo anterior implica que existen una serie de factores que no necesariamente se deben a fallas del conductor sino al proceso de construcción, planeación, funcionamiento, distribución y necesidades de circulación de la población.

Los PCA en la Ciudad de México son identificados a través de este análisis. Se construyen indicadores tales como frecuencia, recurrencia, densidad y niveles de amenazas y riesgos, los cuales son utilizados para analizar la siniestralidad con base en estimaciones estadísticas. También se proponen métodos para diferenciar la realización de eventos estocásticos de la incidencia de dinámicas endógenas subyacentes a los siniestros. Así, el análisis cualitativo basado en magnitudes se vuelve indispensable para establecer las transiciones entre distintas fases que den cuenta de las características de cada delimitación territorial estableciendo clases de equivalencia dinámica difícilmente identificables desde perspectivas reduccionistas.

**PALABRAS CLAVE:** accidentes de tránsito, dinámica vial, riesgo.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los denominados accidentes de tránsito (AT) forman parte de las pandemias del presente y es una de las causas de muerte evitable más significativas. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido que las lesiones provocadas por los AT son, junto a las enfermedades mentales, los dos problemas de salud más importantes en los comienzos del siglo XXI (OMS, 2006).

La OMS reporta que en el mundo mueren poco más de un millón cien mil personas como consecuencia directa de AT, que de entre las lesiones de causa externa, ocupan el primer lugar como causa de muerte y es el noveno contribuyente a las enfermedades, lo que representa una carga muy pesada para los sistemas de salud, particularmente en los países con ingreso medio y bajo (OMS, 2006).

En México, entre las causas de mortalidad general, los accidentes ocupan el tercer lugar como causa de muerte, situándose como primer lugar en niños mayores de un año, adolescentes y adultos en edad productiva, siendo la edad promedio de muerte los 37 años y colocándose como la segunda causa de orfandad. Éste grave problema de salud pública es de tal magnitud que cada año se registran más de 30,000 casos de mexicanos que murieron a causa de un accidente, de esta cifra, aproximadamente la mitad de las defunciones fue debido a AT, es decir, una persona cada 28 minutos (Híjar, 2001).

Adicionalmente, los lesionados en eventos de tránsito demandaron más de tres millones de consultas y más de dos millones y medio de días-cama en las instalaciones hospitalarias del Sector Salud. Se estima que en hospitales particulares se tuvo una afluencia similar, lo cual dio como resultado 18,000 discapacitados permanentes y una repercusión económica por más de 63 mil millones de pesos cada año (Híjar, 2004).

La situación actual y el futuro inmediato no lucen más alentadores, el incremento en la adquisición de vehículos automotores magnifica la problemática de la sociedad y

sobredimensiona los riesgos asociados, ya que mientras que en un periodo de diez años éste se incrementó en cerca de 500 mil vehículos por año en promedio, a partir del año dos mil se duplicó a 1 millón de automóviles por año, siendo el Distrito Federal la de mayor concentración, con más de 4 millones de unidades (87% de ellos de uso privado), más del 25% del total registrados en el país.

## **2. MATERIAL Y MÉTODOS**

### **Población de estudio**

Se realizó un estudio sobre la población y el territorio de la Ciudad de México, México. El análisis estadístico, tanto el descriptivo como el inferencial, se llevó a cabo a partir de la base de datos de AT de la Secretaría de Seguridad Pública del Distrito Federal (SSPDF), la cual contiene los datos correspondientes a los AT reportados entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2005 en las 16 delegaciones de la ciudad. La base de la SSPDF presenta, a nivel de intersección para el año 2005, 85 campos en un total de 42 variables relacionadas con cada registro y posee un total de 33,950 registros. El estudio de la dinámica, los flujos vehiculares y los desplazamientos se basaron en la muestra censal 2000 del Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI).

Con el fin de evaluar si la misma proveería información útil para realizar inferencias de tipo estadístico se analizó la estructura, completitud y congruencia de cada una de las variables contenidas en la base, sobre los cuales se determinó cuales contenían información con calidad suficiente para ser utilizada para georreferenciación. Por falta de información en los campos de ubicación, no todos los datos fueron útiles y la base de datos tuvo que ser depurada para ser utilizada en el proceso de geodificación. Por lo anterior, las inferencias, los resultados y la discusión han sido soportadas en un total de 24,368 registros validados.

## **Análisis estadístico**

La primera fase del análisis estadístico se centra en la examinación de la cantidad y la calidad de los datos asentados para cada registro. La validación es un proceso fundamental para depurar y preparar la matriz de datos objeto de análisis. Como el propósito es obtener la máxima verosimilitud en las inferencias, se buscaron posibles mecanismos de alteración por datos incorrectos o indebidamente asentados. Entre las actividades del aspecto cuantitativo del diagnóstico se estableció la búsqueda y detección de patrones de falla y sistematización. Asimismo, se evaluó la correlación interna de la base con el fin de detectar dependencias estructurales en la ausencia de datos en cortes transversales a la dirección temporal.

## **3. RESULTADOS**

### **Diagnóstico**

Los tipos de accidente se han clasificado en 5 categorías: *colisión*, *atropellamiento*, *volcadura*, *derrapamiento* y *caída de pasajero*. El número total de los AT geocodificados es de 13,637, los cuales están concentrados en las categorías colisión y atropellamiento, agrupando el 95 % de las personas registradas. Las delegaciones con mayor número de personas involucradas son Cuauhtemoc, Gustavo A. Madero, Iztapalapa, Miguel Hidalgo y Benito Juárez con 6,194 (25.4%), 3,012 (12.4%), 2,482 (10.2%), 2,432 (10,0%) y 2,322 (9.5%), respectivamente. El número de personas involucradas en derrapamientos se concentra en la delegación Coyoacán, con 199 personas involucradas, 62.2% del total geocodificado.

El número de involucrados totales es predominantemente del sexo masculino con 17,194 (71%). El número absoluto de las personas del sexo masculino no cambia el orden del mayor número absoluto total de las personas involucradas por delegación (Cuauhtemoc, Gustavo A. Madero e Iztapalapa). Sin embargo, el número absoluto de las personas del sexo femenino resalta a Cuauhtemoc, Miguel Hidalgo y Gustavo A. Madero con 1,435 (24.1 %), 653 (10.9 %) y 577 (9.7 %), respectivamente, como las

más siniestradas. El número total de los involucrados en colisiones es de 19,583 (80.4%), lo cual muestra el mismo orden de ocurrencia del total involucrado: Cuauhtemoc contiene 4,836, Gustavo A. Madero 2,516 e Iztapalapa 2,043. Sin embargo, desde el cuarto lugar se muestra una diferencia de los tipos de siniestro y en la dinámica de los mismos.

El número de los involucrados en atropellamientos es de 3,833 (15.7%), presentando el mayor número de las personas involucradas en Cuauhtemoc con 1,223 (31.9 %), Gustavo A. Madero con 428 (11.1 %) y Miguel Hidalgo con 415 (10.8 %), lo cual muestra una tendencia normal de dicha ocurrencia. Mientras tanto, el menor número de los involucrados totales es Cuajimalpa, Milpa Alta y Magdalena Contreras, con 77 (0.3%), 85 (0.3%) y 172 (0.7%), respectivamente, lo cual muestra tendencias similares con índices menores en los tipos de accidente por colisión y atropellamiento.

### **Sobre las tasas de los involucrados en accidentes de tránsito**

La ordenación, en sentido descendiente, de la tasa de las personas involucradas totales por cada 100,000 habitantes en las 16 delegaciones del D.F. es: Cuauhtemoc con 1,361 (25.9%), Miguel Hidalgo con 787.8 (15%), Benito Juárez con 733.4 (14%), Venustiano Carranza con 510.7 (9.7%) y Azcapotzalco con 286.6 (5.5%), estas delegaciones están ubicadas en la “parte interior” del D.F. excluyendo las delegaciones con el mayor número absoluto de involucrados en accidentes como Iztapalapa y Gustavo A. Madero. La tasa de AT por colisión y atropellamiento muestran un orden muy similar: Cuauhtemoc, Miguel Hidalgo y Benito Juárez, con características comunes en los AT en los índices de personas involucradas totales. Asimismo, el orden de las tasas menores de accidentes por total de involucrado por cada 100,000 habitantes es: Cuajimalpa con 50.5, Xochimilco con 57.1, Tlalpan con 74 y Milpa Alta con 82.4, lo cual no altera el orden de la tasa de accidentes en colisiones y atropellamientos.

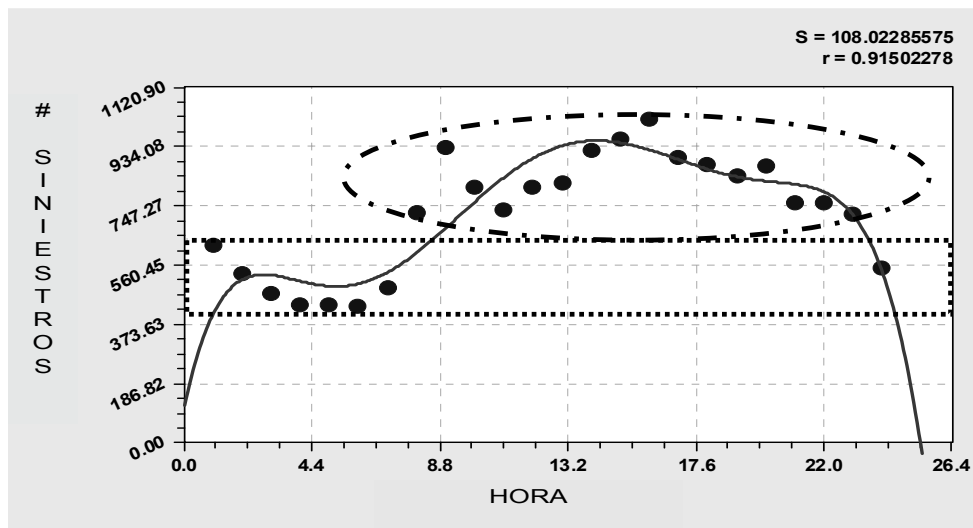
El orden de la tasa del accidente de tránsito por área (km<sup>2</sup>) en sentido descendiente, coloca a la delegación Cuauhtemoc con 192.2, Benito Juárez con 87.2, Venustiano Carranza con 59.8, Miguel Hidalgo con 52.4 Iztacalco con 36.7 y Gustavo A. Madero con 34.3. Por otro lado, las tasas más bajas se presentan en Milpa Alta con 0.29, Cuajimalpa con 1.24 y Tlalpan con 1.4. Lo cual es significativamente diferente de las delegaciones con altas concentraciones debido a que éstas son mayoritariamente áreas rurales. De especial atención, es la delegación Tlahuac la cual ocupa el tercer grado de las 16 delegaciones con el menor registro de vehículos y mayor número relativo de involucrados. Además, la tasa de accidentes de transporte por vehículos públicos registrados muestra un comportamiento diferente en las delegaciones Gustavo A. Madero e Iztapalapa debido al mayor número de registro de los vehículos públicos en estas delegaciones más que al número total de involucrados.

### **Inferencias y predicciones**

Una vez validadas las variables útiles y los estadísticos descriptivos, se elaboraron los modelos cartográficos y las categorías de información. Con base en lo anterior, se construyeron las ecuaciones predictivas para el número de AT por tipo (a excepción del Derrapamiento, debido a que presentaba muy pocos datos) que ocurren en cualquier franja horaria con el fin de reconocer posibles causas viales, sociales o de actividades de la población que dan cuenta del comportamiento siniestral. A continuación se presentan los modelos con las diferentes estructuras, como se trata de datos estacionarios, para evaluar el poder predictivo de cada modelo es suficiente el valor de la varianza explicada a través del coeficiente  $r$  estimado. A continuación se muestran los resultados para los diferentes tipos de accidentes.

#### **3.3.1. Colisión**

Este modelo cuenta con  $r = 0.915$ , lo que implica una explicación de la varianza de más del 84%, valor bastante alto para fenómenos sociales.



**Figura 1. Dinámica horaria de las colisiones.**

Como puede notarse en la concentración de los datos, desde las 8 de la mañana y hasta las 11 de la noche (elipse tramada), el número de colisiones permanece muy alto (alrededor de mil accidentes en cada hora) y después decrece a un promedio menor a 500 desde la media noche y durante la madrugada (cuadros punteados) hasta que comienza de nuevo el traslado de personas en las actividades cotidianas tales como escuela y trabajo.

### 3.3.2. Atropellamiento

El modelo obtenido para los atropellados es el que cuenta con mayor confianza ya que logra predecir más del 93% de las veces. La variabilidad asociada a la dinámica de la población evidencia que el número de atropellados es relativamente bajo y homogéneo desde las 12 de la noche y decrece hasta las 05:00AM, lo cual seguramente es debido a la falta de tránsito, comercio y el número de personas en actividad. A partir de las 06:00AM comienza a crecer a una gran velocidad conforme avanza la mañana hasta situarse en unas cinco veces del total registrado en el de las primeras horas del día (05:00AM). Algo crítico es que este nivel de atropellamientos se mantiene durante toda la tarde hasta las 23:00PM, hora en la que el tránsito vehicular y la actividad de la ciudad baja de intensidad.

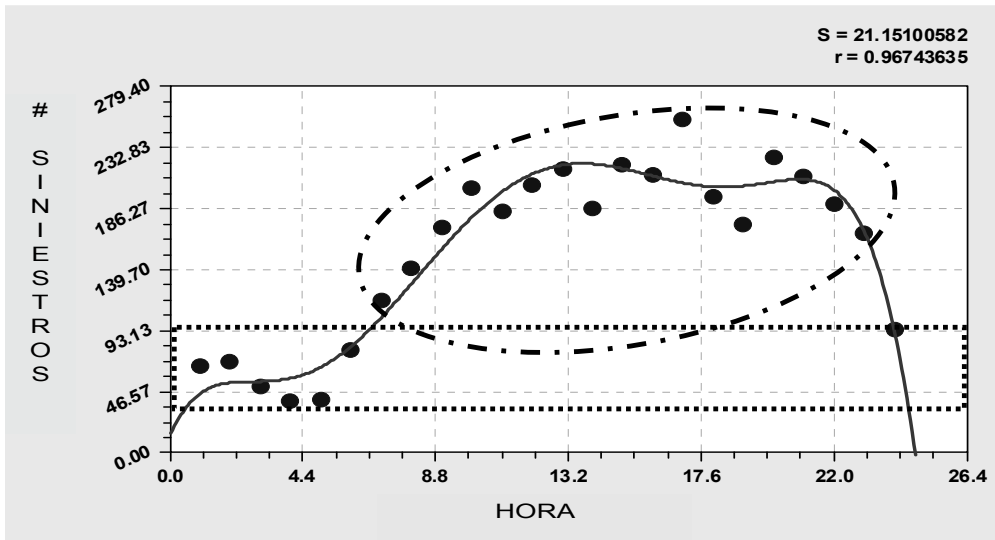


Figura 2. Dinámica horaria de los atropellamientos.

### 3.3.3. Volcadura

El modelo propuesto para volcadura tiene un buen nivel de ajuste y exhibe la dinámica temporal de la misma. Es predominante durante las horas de la madrugada en donde se presentan niveles de hasta seis veces el mínimo registrado durante el día.

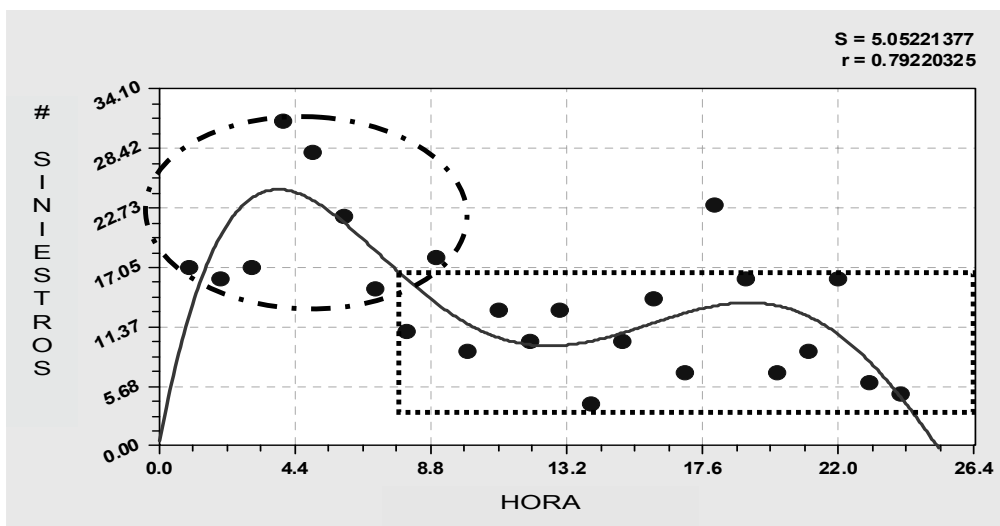


Figura 3. Dinámica horaria de las volcaduras.

La principal explicación de esta característica es que para que se realice este tipo de siniestro es necesario que se puedan obtener altas velocidades y esto sólo es posible en las horas de menor circulación de vehículos. Además, de acuerdo a la experiencia de los expertos en la materia, se sabe que de las 04:00AM a las 06:00AM es cuando las personas que se encuentran circulando regresan de las reuniones con mayor velocidad e ingesta de alcohol.

### 3.3.4. Caída de pasajero

Para este caso se tiene un modelo con más de 80% de efectividad relativo a la frecuencia de la ocurrencia de este tipo de eventos. Al igual que en los atropellamientos, en el transcurso de las primeras horas (hasta de las 06:00hrs.) el nivel es mínimo. Sin embargo, a partir de las 07:00hrs. comienza a subir hasta niveles de 10 veces la incidencia del mínimo. De hecho, desde el medio día y hasta las 23:00hrs. la frecuencia permanece alta y con poca variabilidad, que es justo el horario de mayor movilidad de la población por el regreso a casa y el conjunto de actividades que dejan de realizarse. Más aún, a las 22:00hrs. el número de caídas se separa de la tendencia de manera sobresaliente, lo que valdría la pena estudiar de manera más profunda en la parte cualitativa.

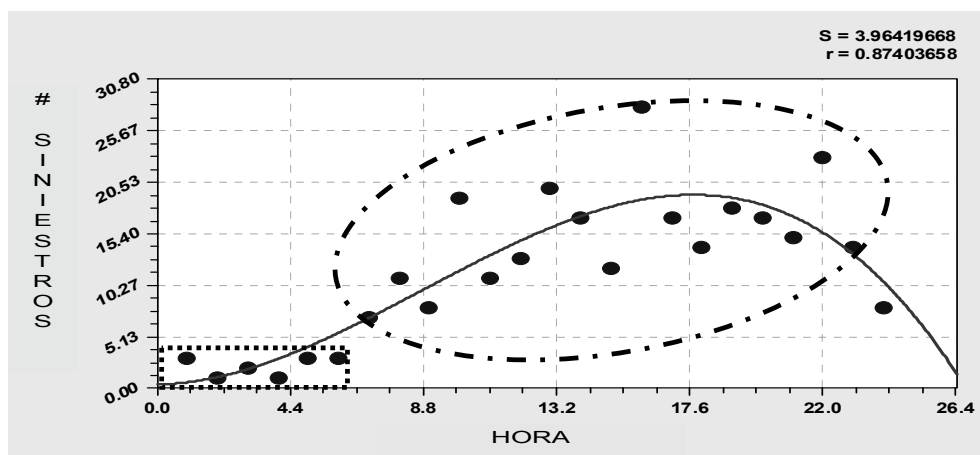


Figura 4. Dinámica horaria de las caídas de pasajero.

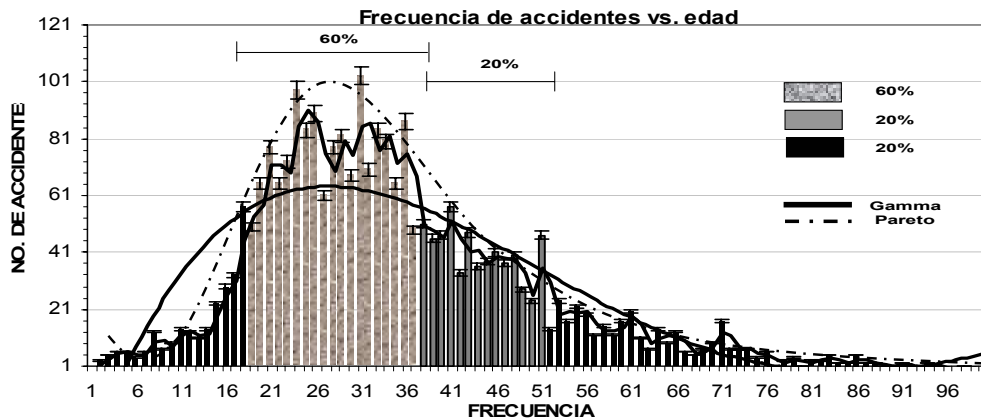
### **Vulnerabilidad: distribución de los siniestros por edades**

Después de analizar la dinámica de los diferentes tipos de siniestro, es importante saber lo que pasa con la distribución de las edades para responder preguntas relacionadas con los grupos vulnerables, evaluar el impacto de los accidentes en la productividad y los costos indirectos asociados a las edades productivas y los años de vida potencialmente perdidos.

Un planteamiento que ha permeado a últimas fechas la fenomenología de los AT son las hipótesis en cuanto a leyes de distribución. Con el fin de estimar probabilidades y establecer los grupos de vulnerabilidad se contrastaron diversas leyes, siendo la Gamma y la Pareto la del mejor *p-value*, 82% y 91% respectivamente, según la Chi-cuadrada estimada. Cuándo se presentan ciertas características en una población, si las interacciones entre los elementos no son independientes y si existen altas concentraciones e incidencias (sesgo) en sectores muy marcados, se vuelven necesarios los contrastes respecto a la densidad del fenómeno.

En particular, se ha propuesto que, tanto temporal como espacialmente, la ley de Pareto podría modelar dichas densidades y que de ser así, los AT son entonces previsible debido a que los mismos se concentran de manera no aleatoria y su incidencia se debe a la latencia de amenazas y conductas modificables volviendo a los riesgos dependientes de las actividades, los factores humanos y la administración de los elementos de riesgo. Las distribuciones con kurtosis alta y sesgo fuerte son características de dinámicas intrínsecas, en la presencia de azar puro no puede existir predominancia de estas características.

Con base en los resultados anteriores, se realizaron pruebas de hipótesis sobre la densidad de Pareto siendo positiva para una relación de 60% de los eventos concentrados en menos del 20% del rango de edad de la población.



**Figura 5. Distribución de los AT de acuerdo a la edad de los involucrados.**

En la figura 5 es fácil apreciar cómo los siniestros se agrupan en la población con edades entre los 18 y los 37 años. También resulta interesante que la kurtosis es bastante elevada.

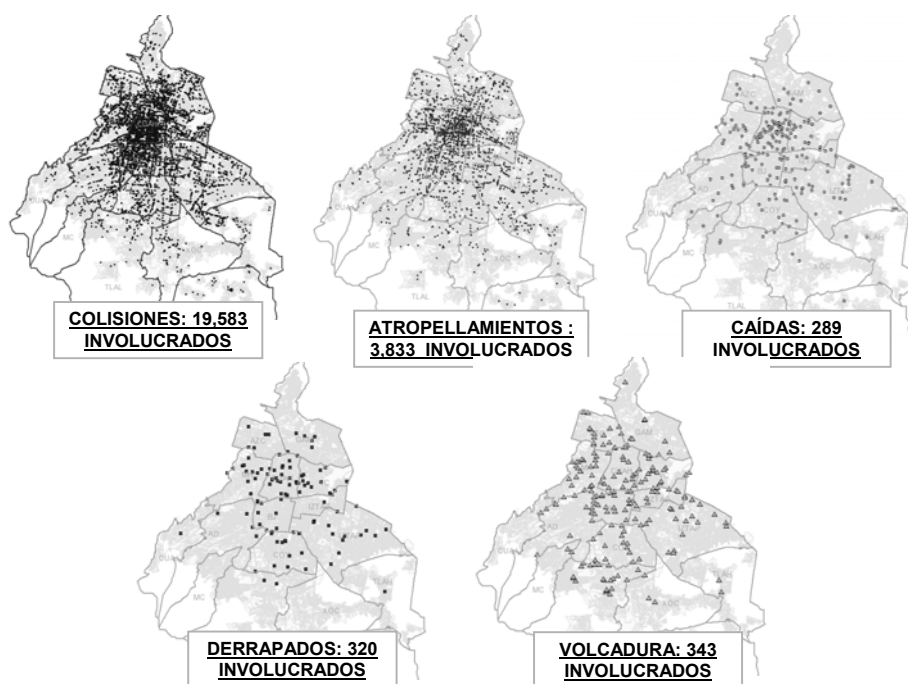
Después de realizar el análisis, la gráfica que representa la frecuencia contra la edad nos revela que 6 de cada 10 involucrados en eventos de tránsito pertenecen al rango de edad 18-37 años, es decir, se encuentran en edad altamente productiva y que la consecuencia en los costos indirectos tales como años de vida perdida y productividad potencial puede ser incluso más alta de lo que se ha señalado, ya que el promedio de edad es de tan solo 26 años y la desviación estándar es de 28 años.

La gráfica anterior también revela que si se desea ampliar el rango de edad de los involucrados, ésta extensión sigue afectando directamente a la población activa ya que, en magnitud, de los 38 a los 55 es la categoría que sigue siendo más vulnerable. Es decir, la concentración del 80% de los accidentes es en las edades productivas.

### **El indicador de riesgo**

En general, los AT pueden entenderse como el producto de una falta de coordinación para la realización de múltiples desplazamientos en un espacio escaso. Dicha falta de

coordinación puede deberse a múltiples causas simultáneamente. Sin embargo la existencia de PCA pone de relieve otra variable: el espacio como lugar específico en que se sitúan los encuentros y se producen conflictos irresueltos; este concepto supera tanto al de factor humano cuando refiere a deficiencias meramente individuales, como al de vía como simple espacio físico.



**Gráfica 6. Distribución de los accidentes de tránsito en el D.F.**

Como se puede observar, el número total de los agentes individuales registradas en los AT está distribuido espacialmente en las 16 delegaciones del D.F. de manera no aleatoria, lo anterior es resultado de la identificación espacial de Puntos de Alta Concentración (PCA) obtenidos, la densidad en dichos puntos invalida la hipótesis de aleatoriedad en la distribución de los siniestros reportados y evidencia mecanismos distintos del azar para la realización de los AT. Al unir dichos puntos a través de sus áreas de influencia se obtuvieron las denominadas *zonas de inestabilidad*, lo que

sugiere un cambio en el paradigma tradicional de los AT, incluso es recomendable que el término “accidente” sea sustituido para indicar la realización de los riesgos.

En efecto, si en un punto dado se producen accidentes con mayor frecuencia que en otros esto implica que, más allá de las conductas individuales de los usuarios que por allí circulan, hay factores de la infraestructura vial y necesidades de desplazamiento que contribuyen a producir desacuerdos y conflictos de tráfico. Cuando estos desacuerdos no pueden resolverse mediante una acción evasiva de alguno de los expuestos al riesgo se producen colisiones y atropellos. Lo que demuestra que hay una serie de factores que no necesariamente se deben relacionar como errores humanos sino con el proceso de construcción y funcionamiento de la circulación y los riesgos asociados y derivados de los flujos dirigidos.

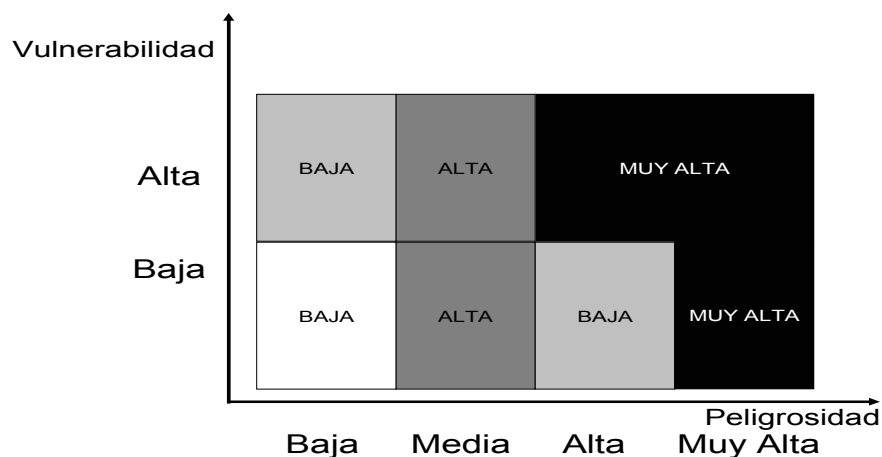
Los PCA en la Ciudad de México son localizados a través de este análisis con base en la georreferenciación de los accidentes registrados. A partir de la identificación de los mismos se ha realizado una exploración con el fin de conocer qué factores físicos, prácticas y costumbres de los transeúntes se combinan en cada caso para producir accidentes.

La infraestructura, en tanto entorno de desplazamiento de los agentes del riesgo, conforma un sistema de señales al que éstos adaptan su movilidad. Si bien se supone que la señalización apunta a generar un tránsito coordinado, se entiende que cuando es defectuosa puede favorecer la producción de desacuerdos produciéndose los AT.

Para inferir la dinámica de los AT, deben realizarse las siguientes preguntas: ¿cuáles son los conflictos típicos que se producen en los PCA?, ¿cuáles son las deficiencias típicas que se presentan en la infraestructura?, ¿cuáles son las formas en que factores de infraestructura y prácticas de circulación se combinan para producir siniestros?

El análisis permitió identificar las intersecciones con alta concentración de accidentes así como los de mayor gravedad. Algunas intersecciones se caracterizan por el conflicto

vehículo-vehículo y otras por el conflicto vehículo-peatón. El *Indicador de Riesgo* que se ha generado es el resultado de una función que pondera los distintos tipos de AT, la frecuencia y periodicidad de los mismos combinando la fatalidad, los atributos de los participantes, la frecuencia y las tasas de afluencia, de acuerdo a los criterios de la gráfica 7, en la cual se exhiben los diferentes estados del Índice de Riesgo basado en los índices de Peligrosidad y Vulnerabilidad.



**Figura 7. Estados de Riesgo con base en zonas de peligrosidad y vulnerabilidad.**

En general, cuando convergen la vulnerabilidad y la peligrosidad a puntos bajos, el índice de riesgo tenderá a ser bajo, lo mismo sucede para valores altos, sin embargo, la vulnerabilidad, incluso siendo alta, no es suficiente para elevar la calidad del riesgo, las amenazas son la parte sustantiva del riesgo, es decir, la peligrosidad, cuyos criterios para calificarla se han definido de la siguiente forma:

- *Baja*: amenaza pequeña, es baja porque las condiciones de infraestructura, la frecuencia y los accidentes fatales son nulos o mínimos;
- *Media*: el entorno posee características que suscitan AT de manera constante pero sin periodicidad, no hay fatalidad ni predominancia horaria;

- *Alta*: concentración de AT combinando los fatales y no fatales, existe ligera periodicidad, la frecuencia no es predominante pero si las categorías de los involucrados;
- *Muy alta*: amenaza muy incipiente, hay periodicidades fuertes, predominancia horaria, especialmente en los accidentes fatales y la actividad de los involucrados.

Como una medida base para la construcción del Indicador de Riesgo se ha utilizado una combinación de los indicadores de vulnerabilidad y de peligrosidad.

Para construir el Indicador de Riesgo (IR) se han utilizado las variables  $IR_i(j)$  en cada periodo  $t$  para la categoría  $j$  como:

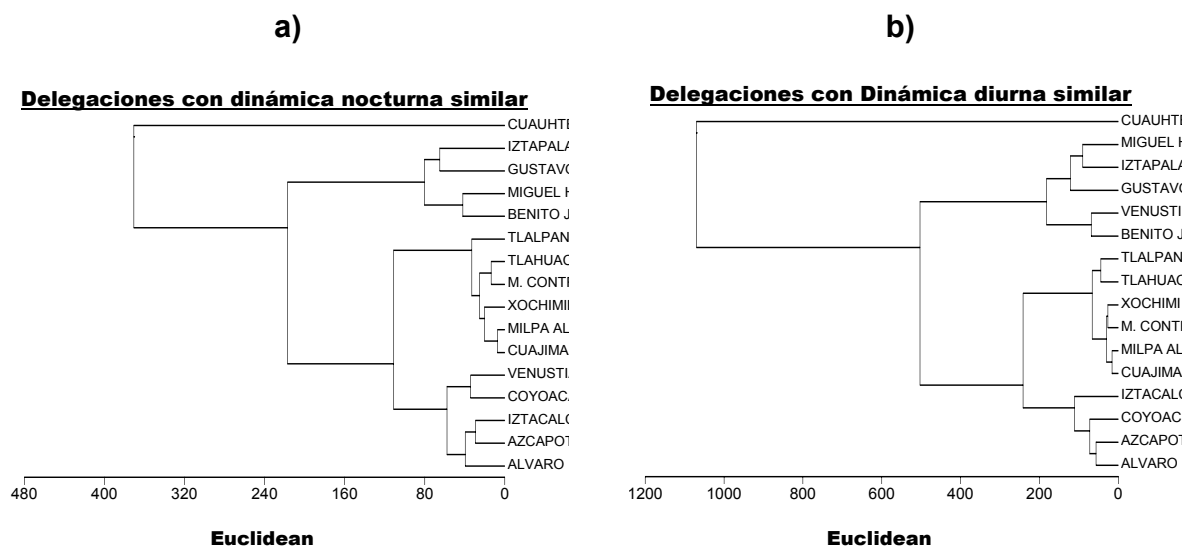
- Vulnerabilidad: sexo, edad, ocupación.
- Peligrosidad territorial: frecuencia en la realización de las amenazas, tipo de accidente, predominancia horaria, persistencia.
- Severidad: magnitud de las lesiones.

A partir de lo anterior, se obtuvo el Indicador de Riesgo para cada una de las delegaciones así como su evolución a lo largo del año. También se tiene un índice de amenazas para los atropellamientos y las colisiones en cada delegación y de todo el Distrito Federal. El interés primordial es saber cuáles son los individuos y las delegaciones que ofrecen la mayor exposición a las diferentes amenazas que concluyen con un AT. Por la razón geográfica y administrativa, el tamaño de delegación, la concentración de la flota vehicular, la diferencia estructural y las características peculiares de afluencia, festejos, presión turística y demás magnitudes relevantes de cada demarcación geográfica, se vuelve difícil la comparación del comportamiento de los accidentes vehiculares de las 16 delegaciones de la zona del estudio.

Para lograr medidas que evalúen este fenómeno tomando en cuenta dichas diferencias se ha construido a los diferentes indicadores de riesgo, los cuales constituyen una

herramienta para la toma de decisiones y el punto de partida para la evaluación de la evolución temporal de las políticas públicas en esta materia.

Por supuesto, para lograr este cometido es importante conocer la estructura de la población que concentra el mayor número de siniestros, así como realizar hipótesis sobre la distribución de probabilidades y correlaciones para saber si existen patrones temporales o espaciales e interacciones de largo alcance que impacten la dinámica de los mismos. En la figura 8 se muestra la similitud en la dinámica de las delegaciones de acuerdo a las características mencionadas, las tasas de participación y la distribución de los AT registrados en su demarcación. La misma es relevante en el marco de estudio de la peligrosidad ya que inmediatamente revela los patrones de concentración, flujos, horarios y otras características relevantes en los AT.



**Figura 8. Clasificación de las delegaciones con base en los indicadores de riesgo.**

Como se observa en las figuras 8a y 8b, se reconocen tres grupos de delegaciones que son homogéneas al interior de su estructura en cuanto a frecuencia y severidad de AT.

En la tabla 1 se presentan datos de frecuencia de involucrados por ocupación utilizados en la construcción del índice de vulnerabilidad.

**Tabla 1. Defunciones por AT según grado de ocupación.**

OCUPACIÓN (solo mayores de 12 años)		
Ocupación	Frecuencia	Porcentaje
No especificado	15	18.1
No ocupados	20	24.1
Profesionales	5	6.0
Técnicos	1	1.2
Trabajadores de la educación	2	2.4
Trabajadores del arte, espectáculos y deportes		
Funcionarios sector público	2	2.4
Trabajadores agrícolas, ganadería, silvicultura o sin		
Trabajadores fabriles, reparto y mantenimiento		
Operador de maquinaria, fija o en movimiento	2	2.4
Ayudante, peon y similar de la industria	1	1.2
Conductor o ayudante en medio de transporte	1	1.2
Jefes o supervisores actividades administrativas	1	1.2
Trabajador de apoyo administrativo		
Agente de ventas y similar	9	10.8
Vendedor ambulante	17	20.5
Trabajador de servicios personales establecido	2	2.4
Trabajador del servicio doméstico	3	3.6
Protección y fzas armadas		
No clasificada o insuficientemente especificada	2	2.4
Total	83	100.0

Fuente: Defunciones, 2005. INEGI

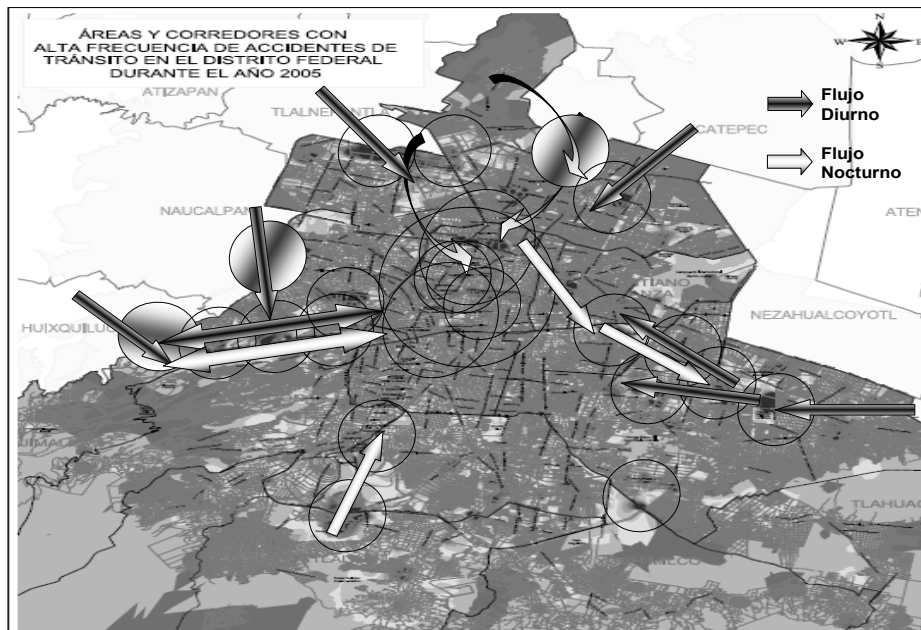
Las categorías sombreadas son los grupos más vulnerables. Como se puede observar, los *No ocupados*, los *vendedores ambulantes* y los *agentes de ventas y similares* son los predominantes, siendo diferentes de los demás grupos y estadísticamente equivalentes entre ellos, lo que invita a una investigación más profunda en este sentido ya que estos grupos resultan ser también los más vulnerables desde otras ópticas y medidas.

Los índices  $\{I_k\}$ , donde  $k=1,2$  indica la categoría (vulnerabilidad o peligrosidad) y  $t$  se corresponde con cada mes, se basan en la siguiente ecuación:

$$I_k = \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=0}^{12-i} \gamma_{t+i} \alpha^j + \sum_{j=1}^{12} W_t \alpha^j = \sum_{t=1}^{12} \left( \frac{1 - \alpha^{(12-i+1)}}{1 - \alpha} \right) \gamma_{t+i} + \left( \frac{\alpha - \alpha^{(12+1)}}{1 - \alpha} \right) W_t \quad (1)$$

donde la primera suma aporta al índice de peligrosidad a través de ponderar los pesos específicos  $\alpha^j$  por las tasas de cada uno de los tipos de accidentes  $\gamma_{t+i}$ , mientras que la

severidad de los mismos se integra por la segunda suma a través de  $W_i$ . El resultado de esta estimación en cada zona de inestabilidad nos ayuda a reconstruir la dinámica del sistema urbano. Lo que da como resultado el modelo cartográfico de la figura 9.



**Figura 9. Dinámica vehicular de la ciudad de México.**

En la lámina se puede observar que varias de las presiones vehiculares provienen de “fuera del sistema”, de hecho, la frontera presenta varios PCA en las vías primarias de acceso a la zona centro. Las zonas de inestabilidad marcadas en círculos representan los corredores de mayor peligro y el área de influencia. Como puede apreciarse, estas se conforman principalmente a través de horarios diurnos, principalmente en las primeras horas del día. Lo que confirma la predominancia de la dinámica cotidiana sobre eventos extraordinarios.

#### **4. DISCUSIÓN**

El tráfico vehicular es uno de los sistemas más peligrosos y complejos al que las personas se enfrentan cada día, por lo que el riesgo de participar en un AT es latente en toda la población independientemente de sus características individuales.

En general, los errores humanos (en lo individual) han sido utilizados en el paradigma tradicional para explicar, o mejor dicho, culpabilizar al humano de la ocurrencia de los AT. Sin embargo, como se ha visto, la dinámica propia del sistema (lo colectivo) es la responsable de la inseguridad vial y no los agentes individuales que participan en las diferentes categorías de riesgo que concluyen en AT.

Algunos análisis fundados en el paradigma clásico estiman que la mayoría de los accidentes tienen como causa determinante el factor humano. Este factor está relacionado con las características del conductor o las condiciones físicas y mentales del mismo, sin embargo, esto provocaría que los AT sucedieran con igual probabilidad en todas las vialidades de manera proporcional a los flujos, como hemos visto, este no es el caso. Por ello, la hipótesis de azar debe sustituirse por la de caos intrínseco del sistema vial establecido a partir del conjunto de subdinámicas y necesidades de transporte, así como sustituir al error humano por los factores humanos.

También es posible afirmar que el D.F. tiene una geometría convexa, es decir, que la ruta utilizada para ir de un punto a otro de la ciudad pertenece al conjunto de las delegaciones, a estos los hemos llamado *puntos interiores*. Con base en lo anterior, a los registros objeto de estudio se les ha denominado interior del sistema y, estadísticamente es un conjunto convexo. A las delimitaciones territoriales del sistema, de manera natural se les ha denominado *frontera espacial*. En este sentido, la energía que se utiliza en la ciudad puede ser conocida en cantidad y flujos por todas las magnitudes medidas sobre el sistema o sus subsistemas.

Las variables asociadas a los recorridos (origen-destino) junto con las restricciones sobre los sistemas viales (corredores), la eficiencia de los sistemas de transportación de pasajeros y mercancías (el vehículo) y la relevancia de los factores humanos al interactuar con estos complejos subsistemas son la base para explicar la aparición de PCA.

Al estudiar la movilidad vial, o mejor dicho, la dinámica vial, la ciudad no puede ser considerada un sistema cerrado, debido al intercambio neto de autos y energía a través de vías que se reproducen de manera auto-semejante a lo largo de los corredores principales. Así, la cantidad de autos que circulan diariamente impactando a las comunidades y al medio ambiente sujeto a dicho tránsito no son campos conservativos, ni los flujos de autos mantienen dinámicas proporcionales a magnitudes asociadas a los variables extensivas medidas en términos absolutos.

Más aún, la forma en cómo se relacionan las variables, los flujos y las características de la red de conducción de los sistemas de transportación, dan lugar a dinámicas propias que no se dirigen unívocamente por principios de tasas sino por la transición de una fase a otra y la magnitud de los contrastes que esto provoca.

Por último, debe destacarse que la prevención de los AT debe provenir de la redirección de las necesidades que provocan los puntos atractores de accidentes y los corredores peligrosos. Los grupos más vulnerables son, como siempre, los más marginados (desempleados, vendedores ambulantes, niños, mujeres, etc.). Seguramente, los parámetros de control más eficientes deben provenir de políticas económicas o sociales que contemplen a éste como un problema de salud que, por su complejidad, no puede ni debe ser aislado de otras problemáticas sociales. Así, debe promoverse el cambio a una fase de menor accidentalidad a partir del reconocimiento de la ciudad y de toda el área metropolitana como un sistema integrado y que, a pesar de las complicaciones administrativas, sea visto como un sistema en el que sus componentes interactúan de manera no lineal para dar emergencia a fenómenos que se explican en lo colectivo y nunca en lo individual, es decir, pensarlo como un Sistema Complejo.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

1. Bingham CR, Shope JT. 2004. **Adolescent developmental antecedents of risky driving among young adults.** Journal of Studies on Alcohol. No. 65(1), p. 84-94.
2. Campbell D, Stanley J. 2001. **Diseños experimentales y cuasiexperimentales en la investigación social.** Buenos Aires. Argentina.
3. Castillo, M., Reyes, S., 1997. **Problemas emergentes de la Zona metropolitana de la Ciudad de México.** UNAM, Consejo mexicano de Ciencias Sociales A.C., México.
4. Doll L, Bantendfeld T, Blinder S. 2003. **Evaluation of interventions designed to prevent and control injuries.** Epidemiological Review. No. 25. p. 51-59.
5. Cross D, Stevenson M, Hall M, Burns S, Laughlin D, Officer J, *et al.* 2000. **Child pedestrian injury prevention project: student results.** Prevention Medical. No. 30, p. 179-187. New York, USA.
6. Germinal Cocho, José L. Gutiérrez y Pedro Miramontes. 2003. **Ciencia y humanismo, capacidad creadora y enajenación.** Universidad Autónoma de la Ciudad de México. México D. F., México.
7. Hair JF *et al.* 1999. **Análisis multivariante.** 5a. edición. Prentice Hall Iberia, p. 79-142. Madrid, España.
8. Híjar M, Chu LD, Kraus J. 2000. **Cross national comparison of injury mortality: Los Angeles County, California and Mexico City.** Int. J. Epidemiol. 29(4), p. 715-721.
9. Híjar-Medina MC. 2000. **Utilidad del análisis geográfico en el estudio de las muertes por atropellamiento.** Salud Publica de México, p. 188-193. México.
10. Híjar M, Kraus J, Tovar V, Carrillo C. 2001. **Analysis of fatal pedestrian injuries in Mexico City 1994-1997.** Int. J. Care. Injur. p. 32:279-284.
11. Híjar M, Arredondo A, Carrillo C, Solorzano L. 2004. **Road traffic injuries in an urban area in Mexico. An epidemiological and costs analysis.** Accident Analysis and Prevention, p. 37-42. San Diego, USA.
12. Híjar M. 2002. **Foro Nacional sobre Accidentes de Tránsito en México. Enfrentando los retos a través de una visión intersectorial.** Ciudad de México, México.
13. Híjar, M. M., Vázquez V. E. Compiladores. 2004. **Foro Nacional sobre accidentes de tránsito en México. Enfrentando los retos a través de una visión intersectorial.** CONAPRA.
14. Inclán C, Híjar M, Tovar V. 2005. **Social capital in settings with a high concentration of road traffic injuries.** The case of Cuernavaca. Social Science and Medicine. Oxford. Reino Unido.
15. Instituto Nacional de Geografía y Estadística. **II Censo de Población y Vivienda 2005 para el Estado de Morelos.** Obtenido el día 20 de febrero de 2007. Sitio web: <http://www.inegi.gob.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/Boletines/Boletin/Comunicados/Especiales/2006/Mayo/comunica20.pdf>. Secretaría de Salud. Dirección de Información en Salud. México. Consultado el día 18 de julio de 2006. Disponible en: [www.salud.gob.mx](http://www.salud.gob.mx).
16. Langton, C.G. 1990. **Computation at the edge of chaos: phase transitions and emergent computation.** Physica D No. 42, p. 12-37. Londres, Inglaterra.
17. Miramontes, Octavio. 2004. **Orden y caos en la organización social de las hormigas.** Departamento de Sistemas Complejos, Instituto de Física, UNAM. México D.F. México.
18. Secretaría de Salud. 2004. **Consejo Nacional para la Prevención de Accidentes.** Secretaría de Salud. México. Sitio web: [www.ssa.gob.mx](http://www.ssa.gob.mx)
19. Tunaru, R. 1999. Hierarchical Bayesian models for road accident data. *Traff. Engineering Control*, 40.
20. Office of the Deputy Prime. 2003. **Best Value Performance Indicators.** London. Office of the Deputy Prime Minister. Sitio web: [www.odpm.gov.uk](http://www.odpm.gov.uk)
21. Organización Mundial de la Salud. 2006. Sitio web: [www.oms.org](http://www.oms.org)
22. Vasconcelos EA. 2000. **Strategies to improve traffic safety in Latin America. Workshop on Urban Transport Strategy.** World Bank. Santiago de Chile, Chile.
23. WHO-The World Bank; 2004. **World Report on Road Traffic Injury Prevention. Informe mundial sobre prevención de los traumatismos causados por el tránsito: resumen.** En: Peden M, ed. 1. Accidentes de tránsito - prevención y control 2. Accidentes de tránsito – tendencias 3. Seguridad 4. Factores de riesgo 5. Política social 6. Salud mundial.