

Higiene y Sanidad Ambiental, **11**: 759-764 (2011)

Aplicación de un planteamiento causal en la epidemiología de las lesiones a consecuencia del tráfico: Una revisión

CAUSAL APPROACH APPLICATION TO ROAD TRAFFIC INJURIES EPIDEMIOLOGY: A REVIEW

Eladio JIMÉNEZ MEJÍAS, Rocío OLMEDO REQUENA, María del Carmen OLVERA PORCEL, Carmen AMEZCUA PRIETO, Elena ESPIGARES RODRÍGUEZ y Pablo LARDELLI CLARET

Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública. Universidad de Granada. Avda. de Madrid 11, 18071. Granada (España). Telf. 958249616. Correo-e: lardelli@ugr.es

RESUMEN

A lo largo de la historia han sido varios los modelos explicativos empleados para tratar de analizar las causas de los accidentes de tráfico, desde los que los concibieron como sucesos totalmente aleatorios hasta el propuesto por la teoría epidemiológica que analiza el papel causal de elementos como el vehículo, el conductor y el ambiente. En la actualidad las lesiones a consecuencia del tráfico se entienden, no como hechos fortuitos y no prevenibles, sino como el resultado final de una serie de eventos secuencialmente ordenados que pueden ser modelizados en una cadena causal constituida por cinco eslabones: persona; exposición al riesgo, accidentalidad, lesividad y desenlace (incapacidad o muerte). Bajo esta asunción, el estudio por parte de la epidemiología analítica de los diferentes factores o marcadores de riesgo que actúan sobre cada uno de los mencionados eslabones resulta determinante a la hora de diseñar estrategias preventivas de este importante problema de salud pública en todo el mundo.

ABSTRACT

Throughout history there have been several explanatory models used to try to analyze the road crashes causes, from which they conceived them as totally random events to the proposed by epidemiological theory which analyzes the causal role of elements such as vehicle, the driver and the environment. Nowadays road traffic injuries are conceived not as fortuitous and not preventable events but as events that they are final results of different events sequentially ordered in an epidemiological chain. This chain is composed by five links: population, risk exposure, road crashes, injuries and consequences (disability or death). This assumption allows by analytic epidemiology the study of risk factors associated with each link in the epidemiological chain above. Knowledge of these factors is key point to effective prevention of road crashes.

Palabras clave: Accidentes de tráfico, epidemiología, accidentabilidad, marcadores de riesgo.

CAUSALIDAD DE LAS LESIONES CONSECUENCIA DEL TRÁFICO

El estudio de las causas de los Accidentes de tráfico (AT) se remonta a comienzos del siglo XX cuando Bortkiewicz estudió la frecuencia de muertes por coces de caballo, concluyendo que los accidentes

eran sucesos totalmente aleatorios sobre los que los humanos no podían tener ningún control.¹ Con el paso del tiempo, se fueron sucediendo otros planteamientos causales en la producción de accidentes, que defendían el análisis racional de los diferentes factores o circunstancias involucrados en su producción, lo que condujo, a partir de 1939, a desarrollar

diferentes modelos con los que identificar el origen de los mismos y en última instancia, reducir su número o evitarlos.²

Desde el ámbito de la seguridad vial, uno de los mayores logros residió en el cambio en la forma de concebir el “accidente” como hecho fortuito y casual, por un hecho predecible y prevenible. Esto permitió incorporar el enfoque científico al problema de los AT y a reducir la siniestralidad de los países con mayores tasas de motorización a partir de 1960.^{3,4}

CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS CAUSALES DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO
I. MODELOS GENERALES
<ul style="list-style-type: none"> - Modelos secuenciales - Modelos epidemiológicos - Modelos de transferencia de energía - Modelos de sistemas - Modelos de procesamiento de información humana - Modelo de errores humanos
II. MODELOS DE ERRORES HUMANOS Y COMPORTAMIENTOS INSEGUROS
<ul style="list-style-type: none"> - Modelos de comportamiento - Modelos de toma de decisión
III. MODELOS SOBRE MECANISMOS LESIVOS
<ul style="list-style-type: none"> - Modelos sobre aplicación de técnicas

Fuente: Adaptado de Lehto y Salvendy (1991)

Tabla 1. Modelos Causales de Accidentes.

Las Lesiones a Consecuencia del Tráfico (LCT) son el resultado final de la transferencia de distintas formas de energía (térmica, cinética o mecánica) liberada en el momento del accidente al cuerpo humano. Entre las posibles causas de su elevada morbimortalidad destaca la pervivencia de un modelo causal obsoleto e ineficaz que atribuye las “causas” de las LCT a la conducta humana en exclusiva.⁵ Sin embargo, el comportamiento humano está regido no sólo por nuestros conocimientos y capacidades, sino también por el entorno. El entorno se compone a su vez de una compleja interacción de características

físicas, sociales, económicas y demográficas.⁶ Factores dependientes del entorno, como el diseño y trazado de la calzada, el tipo de vehículo, las normas de tránsito y los medios para hacerlas cumplir, ejercen, entre otros factores, una gran influencia sobre nuestra conducta al volante.

Así, desde hace ya varias décadas, se ha impuesto la necesidad de construir modelos explicativos de los AT y sus consecuencias, que sean capaces de identificar los distintos factores causales que intervienen en su producción, así como las interrelaciones existentes entre ellos. Lehto y Salvendy (1991), recopilaron de diferentes autores hasta 54 diferentes modelos explicativos de las LCT, que agruparon en 3 grandes grupos: Modelos Generales, Modelos dependientes del Factor Humano y Modelos sobre los Mecanismos Lesionales (Tabla 1).

Elvik propone una clasificación más simplificada de los modelos causales que diferencia cinco teorías que se sucedieron cronológicamente en el último siglo:

1) *Teoría de los accidentes como sucesos aleatorios*: Fue una primera aproximación explicativa al fenómeno de los accidentes en general. Tuvo su máximo exponente en Bortkiewicz, quien en su libro “La ley de los pequeños números”, concluyó que los AT eran un fenómeno azaroso cuyo control no está al alcance del ser humano.

2) *Teoría estadística y de la propensión a los accidentes*: Fue desarrollada Greenwood y Yule y predominó entre 1920 a 1950. Estos autores proponen que existen ciertas personas que estadísticamente presentan una mayor probabilidad de verse involucradas en AT. A estas personas se las identificada empleando diferentes test psicológicos.

3) *Teoría causal de los accidentes*: surge ante la falta de una explicación plausible hasta la fecha del porqué de los AT. Defendió la idea de que sólo encontrando las causas reales de éstos, sería posible su prevención, y concluye que los accidentes son sucesos multicausales, en los que el factor humano es determinante, pero no el único.

4) *Teoría de sistemas y teoría epidemiológica*: Surge a partir de 1950 y tuvo su auge en los años sesenta y setenta. El argumento básico de esta teoría era que los accidentes son el resultado de desajustes en el complejo sistema formado por el ser humano y los elementos técnicos del transporte (carretera, el vehículo, volumen de tráfico, etc.). El control de estos elementos condujo a importantes reducciones en el número de víctimas por AT.

Paralelamente a la teoría de sistemas surge la teoría epidemiológica que, basándose en la experiencia de las enfermedades infecciosas, defiende que son tres los factores que interactúan en un AT. El huésped o víctima del accidente, el agente o energía trasferida

y el entorno o lugar del accidente. El primer autor que propuso este modelo fue Gordon en 1949.

A partir de este planteamiento original, la modelización epidemiológica de estos tres grupos de factores se ha desarrollado desde una doble perspectiva: ecológica e individual.

La perspectiva ecológica surge como la mejor aproximación para evaluar el efecto, sobre la frecuencia y gravedad de los AT, de variables como el estado del tiempo, el consumo de combustible, el número de vehículos a motor registrados, la densidad de tráfico, etc., cuya estimación se hace exclusiva o preferentemente a nivel ecológico o poblacional.⁷

La inclusión de estas variables en los modelos causales de los AT ha dado lugar a los llamados macromodelos, que emplean datos agregados para explicar y predecir el volumen de AT y sus consecuencias. En una revisión de dichos modelos realizada por Hakim *et al.*,⁸ se identificaron, como principales variables determinantes del número de víctimas o lesiones, los vehículos-km recorridos, la población de vehículos, la renta (la tasa de desempleo parece estar relacionada de forma negativa con los AT con lesiones), el porcentaje de conductores jóvenes (a menudo relacionado con sus hábitos de consumo de alcohol), las políticas de intervención existentes (límites de velocidad, inspección periódica del vehículo, etc.) y la edad mínima para el consumo de alcohol.

Un tipo especial de macromodelo es el conocido como DRAG; "Demand of Road Use, Accidents and their Gravity" (Demanda de uso de carreteras, los accidentes y su gravedad). Este modelo establece relaciones a nivel ecológico entre la exposición en carretera, la frecuencia de accidentes y su severidad.^{9,10} La información sobre estas variables se estructura en dos bloques: uno que incluye variables relacionadas con la exposición (consumo de combustible y uso de autopista) y otro bloque de variables relacionadas con el accidente (Nº de accidentes, severidad, lesionados y fallecidos).¹¹ A este modelo se han ido incorporando diferentes variables y se ha mostrado efectivo para determinar las variables asociadas a una mayor accidentalidad en diferentes países. En España, la última actualización del Modelo DRAG en Julio de 2009, puso de relieve que las variables más fuertemente asociadas a una accidentalidad mayor fueron la exposición y el porcentaje de conductores noveles y, las menos asociadas, la presencia de agentes de tráfico y la introducción del carnet por puntos.¹²

También en el ámbito de la epidemiología aplicada al estudio causal de los AT y sus consecuencias, pero partiendo de una aproximación individual, surgen modelos causales como el propuesto por Haddon en 1968,^{13,14} conocido desde entonces como la Matriz de Haddon y ampliamente utilizado desde entonces, que ha ayudado a guiar investigaciones y al desarrollo de intervenciones. La matriz de cuatro columnas y tres filas (Tabla 2), combina los

conceptos: salud pública del huésped, agente y ambiente como objetos de intervención, con los conceptos de prevención primaria, secundaria y terciaria:¹⁵

- a) En las columnas vienen definidos los *factores* cuya interacción contribuye al proceso de lesión:
 - La columna del huésped se refiere a la persona en riesgo de lesión.
 - El agente de lesión es la energía transmitida al huésped a través de un vehículo (objeto inanimado) o vector (persona u otro animal).
 - El ambiente físico incluye todas las características del lugar en el cual ocurre el suceso (ej. la carretera).
 - El entorno socio-económico se refiere a normas y prácticas sociales y legales (ej. políticas acerca de permisos de conducir).
- b) En las filas se recoge la dimensión temporal mediante las distintas *fases* en las cuales es posible actuar:
 - Pre-colisión: hace referencia a aquellos factores que actúan antes de que se produzca el AT.
 - Colisión: se refiere a aquellos factores que actúan en el momento que se produce el AT.
 - Post-colisión: incluiría aquellos factores que modifican el pronóstico de las lesiones producidas, una vez que ha ocurrido el AT.

La construcción de una matriz como la propuesta por Haddon, presenta las siguientes ventajas:¹⁶

- a) En cada celda se pueden organizar cuestiones o soluciones más específicas. Además, esto va a permitir solucionar interacciones entre los elementos incluidos en distintas celdas individuales y poder aplicar modelos matemáticos. Cada una de estas celdas contiene un número sustancial, amplio y complejo de factores, categorías de variables, y oportunidades para influir en los resultados.
- b) Permite identificar los recursos necesarios y los conocimientos científicos disponibles. En la matriz de Haddon se identifican, para cada una de las tres fases de la colisión (precolisión, colisión y postcolisión), los factores que condicionan la presentación o no de una lesión en factores personales, del vehículo y de las infraestructuras, del entorno físico y del entorno socioeconómico. Por ejemplo, en la fase precolisión, las fuentes de investigación incluyen alcoholismo, reventón de neumáticos, coeficientes de fricción de superficies en carretera o existencia de medidas legislativas sobre uso de elementos de seguridad. En la fase de colisión están los umbrales de lesión de conductores y otros pasajeros, la integridad dinámica del equipamiento del vehículo, el diseño de carreteras o el cumplimiento de medidas legislativas sobre protección. En la fase de

postcolisión, las fuentes de investigación incluyen generación de señales de emergencia y otras comunicaciones, transporte de emergencia, atención médica de emergencia, levantamiento o retirada de restos y el trabajo de la policía.

- c) Así, identificando intervenciones que encajen dentro de cada celda de la matriz se puede generar una lista de estrategias para delimitar una variedad de lesiones.

		FACTORES			
		Individuo	Vehículo	Ambiente	Entorno socio-económico
FASES	Precolisión				
	Colisión				
	Postcolisión				
	Resultados	Daño a personas	Daño al vehículo / equipamiento	Daño al entorno	Daño a la sociedad

Fuente: Haddon, 1980

Tabla 2. Matriz de fases y factores implicados en los accidentes de tráfico.

Basándose en el modelo de Haddon, Runyan propuso en 1998 ampliar la Matriz de Haddon en una tercera dimensión, que tuviera en cuenta la política social a la hora de adoptar una u otra estrategia en la prevención de accidentes. Así, esta tercera dimensión estaría compuesta por los siguientes criterios que ayudan en la toma de decisiones sobre estrategias preventivas: efectividad, coste de la intervención, equidad, preferencias de los individuos afectados o la comunidad y factibilidad.¹⁷

5) *Teoría conductual de los accidentes*: se desarrolla fundamentalmente a partir de los años ochenta. Propone que los factores más importantes relacionados con el accidente son la evaluación del riesgo por parte del sujeto y su adaptación a éste. La teoría conductual más paradigmática es la llamada "Teoría de la Homeostasis del Riesgo" de Gerald Wilde. Según esta teoría, los AT son un problema de difícil solución. Un conductor que percibe una situación de riesgo extrema su precaución. Pero a medida que mejoran las condiciones técnicas y los dispositivos de seguridad pasiva del vehículo, su percepción de riesgo es menor y son menores las

precauciones. Imaginemos un conductor que conduce en una carretera solitaria con un vehículo en malas condiciones y sin airbag. Probablemente no lo haga a gran velocidad. Sin embargo, en esa misma carretera, con un vehículo en perfectas condiciones y con airbag, conducirá mucho más deprisa, porque su percepción de riesgo es menor.

Finalmente, también desde el abordaje epidemiológico de la causalidad de los AT y sus consecuencias se plantea el modelo de la cadena epidemiológica de las LCT.

CADENA EPIDEMIOLÓGICA DE LAS LCT

Se trata de un modelo epidemiológico originalmente desarrollado para explicar, a nivel ecológico, las diferencias entre países o regiones en las tasas de mortalidad por AT, así como su evolución temporal.^{18, 19} Según este modelo, que aplicado a nivel agregado se conoce usualmente como análisis de descomposición, la variabilidad geográfica y/o temporal en las tasas de mortalidad es el resultado de la variabilidad de sus tres componentes:

- Intensidad en la exposición (exposición / N habitantes).
- Accidentalidad (accidentes / N unidades exposición).
- Letalidad (defunciones / N accidentes).

Puesto que, a nivel ecológico, es posible obtener indicadores para cada uno de los tres componentes anteriormente definidos, es posible descomponer las tasas de mortalidad de una unidad ecológica en estos tres teóricos componentes. Matemáticamente:

$$\text{Tasa de mortalidad} = \text{Tasa de exposición} \times \text{Tasa de accidentalidad} \times \text{Tasa de letalidad}$$

La aplicación de estos modelos ha sido relativamente amplia en los últimos años.²⁰⁻²² Sin embargo, una vez alcanzado este nivel de descomposición, la falta de información con el suficiente nivel de desagregación impide descender un escalón, a la hora de identificar cuáles son los factores determinantes de cada uno de los tres componentes antes citados.

Es evidente que el análisis de descomposición contiene, implícitamente, una formulación causal en términos secuenciales, que puede expresarse tanto a nivel ecológico como individual, y cuyo nivel de segregación (el número de elementos de la secuencia) podrá detallarse en mayor o menor medida, en función de que seamos capaces de identificar más o

menos eslabones intermediarios relacionados con factores de riesgo específicos. Así, desde la perspectiva ecológica, el volumen de muertes por AT ocurrido en una población sólo puede ocurrir entre aquellos miembros de dicha población lesionados en el AT. Éstos, a su vez, serán una fracción del total de sujetos implicados en el conjunto de AT ocurridos. Finalmente, los AT sólo pueden darse entre las personas expuestas al riesgo de sufrirlos, que serán una parte de la población total. La representación de esta secuencia puede hacerse en forma de pirámide (figura 1), que refleja gráficamente cómo el volumen de muertes no es más que una fracción relativamente pequeña -la cúspide-, que procede de una población general -la base-, que ha debido atravesar sucesivos escalones antes de alcanzar (por desgracia), la cima de la pirámide.

Como queda reflejado en la figura 1, la intensidad de paso de un escalón de la pirámide al inmedia-



Figura 1. Pirámide causal de las LCT.

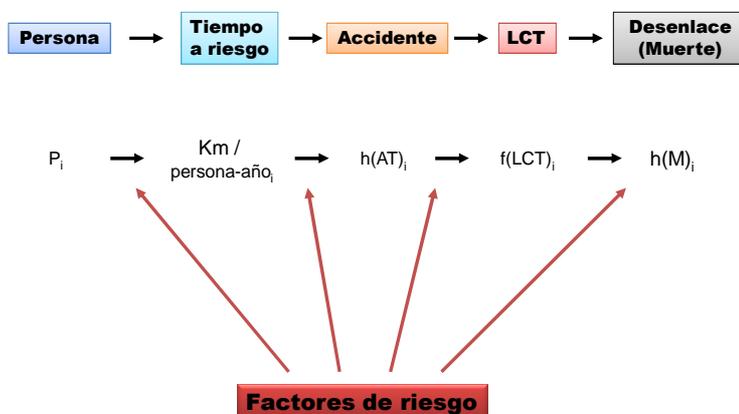


Figura 2. Cadena causal de las LCT

tamente superior depende de los componentes del modelo de descomposición mencionado anteriormente (con la salvedad de que, en la secuencia descrita en la pirámide, la letalidad aparece ahora descompuesta en lesividad (lesionados / N accidentes) y letalidad propiamente dicha (defunciones / N lesionados). La lesividad dependería, a su vez, de la intensidad de la transferencia de energía a los sujetos implicados en el AT, mientras que la letalidad se relacionaría con la gravedad (el pronóstico), de las lesiones.

No es difícil extrapolar este planteamiento secuencial a un abordaje causal individual de las LCT. Desde esta perspectiva, para que una persona muera por una LCT es necesario que previamente sufra una LCT, la cual sólo puede haberse producido tras haber sufrido un AT. Éste, a su vez, sólo puede haber ocurrido en un sujeto expuesto. Es fácil, a partir de este razonamiento, expresar el riesgo de muerte por AT (o cualquier otro desenlace indeseable), como el resultado de una cadena de eventos, cada uno de los cuales está asociado a un riesgo específico de aparición, en función del efecto de un conjunto de factores o marcadores de riesgo. Este planteamiento en términos de cadena causal de eventos permite, por una parte, descomponer el riesgo del desenlace final en términos de probabilidades condicionadas o, en última instancia, de hazards (de estar expuesto, de sufrir un accidente, de sufrir una lesión, de morir). Por otra, permite individualizar el efecto y la magnitud de los factores de riesgo separadamente sobre cada uno de los marcadores (periodos a riesgo, probabilidades condicionadas o hazards) asociados a cada eslabón de la cadena. La figura 2 ilustra gráficamente la cadena causal de las LCT.

En esta figura, la fila superior representa los eventos a tener en cuenta en la cadena causal; la fila inferior refleja la forma de estimar la intensidad de cada uno de ellos en un sujeto determinado (P_i): $h(A)_i$ sería la estimación del hazard de sufrir un AT a lo largo del período a riesgo en el sujeto i ; $f(LCT)_i$ sería la probabilidad de sufrir una LCT en el sujeto i , condicionada a haber sufrido un AT; finalmente, $h(M)_i$ sería el hazard de morir del sujeto i condicionado a haber sufrido una LCT.

El planteamiento de la causalidad de las LCT basado en una secuencia o cadena de eventos no es particularmente novedoso; ya el eje vertical de la matriz de Haddon delimita una secuencia temporal sobre la que actúan los diversos factores de riesgo. Probablemente, la

aportación más relevante de este enfoque causal sea que, al centrarlo en la secuencia temporal y no tanto en el origen de los factores de riesgo (el eje horizontal de la matriz de Haddon), cambia la forma de orientar la metodología de estudio de la epidemiología analítica de las LCT: en lugar de centrarla sobre los factores de riesgo lo hace sobre los eventos de la cadena causal.

CONCLUSIONES

El método epidemiológico es plenamente aplicable a la epidemiología analítica de las LCT. Bajo esta perspectiva, es posible modelizar las LCT según una cadena causal constituida por diferentes eslabones. Así, el que un sujeto se accidente o finalmente resulte lesionado o muera, va a depender de una serie de factores y/o marcadores de riesgo que actúan a diferentes niveles de esta cadena. El conocimiento de dichos factores y/o marcadores nos coloca sin duda, en una ventajosa posición para su prevención y rompe con el sentido fortuito y no prevenible del término accidente.

BIBLIOGRAFÍA

1. Elvik R, Vaa T. Factors contributing to road accidents. En: *The Handbook of Road Safety Measures*. Oxford, 2004 29-79.
2. Lehto, M., Salvendy, G., 1991. Models of accident causation and their application: review and reappraisal. *Journal of Engineering and Technology Management* 8,173-205.
3. Peden et al., Eds. *World Report on Road Traffic Injury Prevention*. Geneva: World Health Organization, 2004.
4. González Barea EM. Estudiantes marroquíes en España. *Educación universitaria y migraciones*. Sevilla: Editorial doble J; 2007.
5. Plasència A, Cirera E. Accidentes de Tráfico: un problema de salud a la espera de una respuesta sanitaria. *Med Clin (Barc)*. 2003; 120(10):378 - 9.
6. Peek-Asa C, Zwerling C. Role of environmental interventions in injury control and prevention. *Epidemiol Rev*. 2003; 25: 77 - 89.
7. Vorko-Jović A. Macro model prediction of elderly people's injury and death in road traffic in Croatia. *Accid Anal & Prev*. 1992; 4 (6): 667 - 72.
8. Hakim S, Shefer D, Hakkert AS, Hocherman I. A critical review of macro models for road accidents. *Accid Anal Prev*. 1991; 23 (5): 379 - 400.
9. Gaudry M. (1984). DRAG, un modèle de la Demande Routière, des Accidents et de leur Gravité, appliqué au Québec de 1956 à 1982. Publication 359, Centre de Recherche sur les Transports (CRT), Université de Montréal.
10. Gaudry M. (2002). DRAG, model of the Demand for Road use, Accidents and their Severity, applied in Quebec from 1956 to 1982. Publication 17, Agora Jules Dupuit (AJD), Université de Montréal (revision of GAUDRY 1984).
11. Van den Bossche G. Macro Models in Traffic Safety and the DRAG Family: Literature Review. 2003. [Citado 2009 Nov 12]. Disponible en: <http://www.eajd.net/sourcepdf/AJD78%20Van%20Oden%20Bossche%20%20Wets%20DRAG%20Models%20Literature%20Review%20Steunpunt%20RA-2003-08.pdf>.
12. Instituto Universitario de Investigación del Automóvil. Universidad Politécnica de Madrid. Informe de actualización del modelo DRAG. Dirección General de Tráfico. 2009. [Citado 2009 Dic 12]. Disponible en: http://www.dgt.es/was6/portal/contenidos/documentos/seguridad_vial/estudios_informes/DRAG_Espanya_julio_2009.pdf.
13. Haddon W Jr. Advances in the Epidemiology of Injuries as a Basis for Public Policy. *Public Health Rep* 1980; 95: 411 - 421.
14. Haddon W. Jr. and Baker S.P. *Injury Control*. En: Clark and MacMahon, eds. *Preventive and Community Medicine*. Second ed. Boston, MA: Little Brown and Company, 1981.
15. Izquierdo J, Rodés G. Accidentes de tráfico. *JANO. Medicina y Humanidades* 1992; XLIII (1016): 75 - 83.
16. Haddon W. The changing approach to the epidemiology, prevention, an amelioration of trauma: the transition to approaches etiologically rather than descriptively based. *Am J Public Health Nations Health* 1968; 58 (8): 1431 - 8
17. Runyan CW. Using the Haddon matrix: introducing the third dimension. *Inj Prev*. 1998 Dec; 4(4): 302 - 7.
18. Bull JP. Data sources for accident modelling. *Accid Anal Prev*. 1986; 18: 79 - 83.
19. Van Beeck EF, Borsboom GJ, Mackenbach JP. Economic development and traffic accident mortality in the industrialized world, 1962-1990. *Int J Epidemiol*. 2000 Jun; 29 (3): 503 - 509.
20. Li G, Baker SP, Langlois JA, Kelen GD. Are female drivers safer? An application of the decomposition method. *Epidemiology*. 1998; 9 (4): 379 - 84.
21. Redondo-Calderón JL, Luna del Castillo JD, Jiménez-Moleón JJ, Lardelli-Claret P, Gálvez-Vargas R. Evolución de la mortalidad por accidentes de tráfico en España, 1962 - 1994. *Gac Sanit*. 2000; 14: 7 - 15.
22. Baker TK, Falb T, Voas R, Lacey J. Older women drivers: Fatal crashes in good conditions. *Journal of Safety Research*. 2003; 34: 399 - 405.