

Riesgo de lesión por colisión de tráfico en Cataluña

El tiempo en desplazamiento como medida de exposición

Elena Santamariña Rubio

TESI DOCTORAL UPF / 2014

DIRECTORA DE LA TESIS

Dra. Catherine Pérez (Agència de Salut Pública de Barcelona)

TUTORA

Dra. Carme Borrell (Agència de Salut Pública de Barcelona)

Departament de Ciències Experimentals i de la Salut, UPF)

DEPARTAMENT DE CIÈNCIES EXPERIMENTALS I DE LA
SALUT

Al Joan, el meu company de vida
A mi madre y a meu pai, incondicionales
A mi hermano, mi amigo y compañero de viaje

*“Hem après a volar com els ocells, a nedar com els peïxos,
però no hem après l'art de viure junts, com a germans.”*
(Martin Luther King)

AGRADECIMIENTOS

Hi ha molta gent del meu entorn que encara no sap exactament a què em dedico. Epidemiologia? Salut pública? Recerca? Trànsit? M'imaginaven amb bata blanca, “fonendo” i patrullant pels carrers de Barcelona! Abans treballaves a un hospital i ara a una Agència?! Però ara amb lo de Doctorat en Biomedicina ja els he acabat de despistar! Però, no ets estadística??!

Fa gairebé 6 anys que vaig començar aquest llarg i dur camí de la tesi, i ha arribat el moment més difícil, els agraïments!

Ja fa 12 anys que estic en el món de les lesions per trànsit (no accidents!!!). La veritat és que si miro tant enrere, la primera persona a la que haig d'agrair trobar-me en aquest moment, és l'Alicia. Valoro molt el seu entusiasme per la feina i les seves ganes de canviar les coses, i sobretot la seva predisposició a ensenyar-me i la confiança que va dipositar en mi. M'hagués agradat molt tenir-te al meu tribunal de tesis, però encara m'agradarà més tenir-te entre el públic. Gràcies Alicia!

D'aquests 12 anys, fa 10 anys que estic a l'Agència, al costat de la Catherine. La veritat és que no tinc paraules per expressar-te tot el meu agraïment. Si una cosa tinc clara és que has fet possible aquesta tesi! Sense el teu recolzament incondicional, la sobrecàrrega de feina, els ànims constants, la teva professionalitat, i sobretot el teu “carinyo”, no hagués arribat aquí. Has sabut tenir paciència, guiar-me, redirigir-me i motivar-me en tot aquest camí,

especialment en moments en els que em trobava molt perduda i amb ganes d'abandonar! Durant aquests anys has estat el meu referent, la meva "jefa", la meva companya, la meva directora de tesina i ara la meva directora de tesi. Però sobretot has estat una amiga! Gràcies Catherine, per tot el què amb tu he après, a nivell professional i personal!

La realització d'aquesta tesi també ha estat possible gràcies a la Carme, que m'ha fet veure que valia la pena fer-ho, que podia fer-ho i m'ha posat facilitats per fer-ho. També vull agrair a tots els meus companys del SESIS, pels ànims i perquè m'han ajudat quan ho he necessitat. Marc, no t'ho tinc en compte que no hakis volgut ser membre del meu tribunal, però que no puguis venir el dia de la presentació...! Gràcies a tots i totes!

Dintre la gent del SESIS vull agrair el recolzament de dos grups molt especials per mi:

"Hakunamatata", sois un equipo genial, da gusto trabajar con vosotras, cada una con nuestro peculiar carácter pero con ganas de cambiar el mundo y por supuesto hacerlo más seguro. En breve seremos dos más, así que a trabajar que tenemos muchas bocas que alimentar! Tronca, des del día que entraste por la puerta del SESIS supe que serías alguien especial, pero no imaginé que acabarías siendo alguien tant importante en mi vida. Que fuerte, voy a tenir otra sobrina y se va a llamar Elenita! Ana, he aprendido mucho contigo, sobretodo de embarazos y daños colaterales a los partos! Gracias a las tres por vuestro apoyo, cariño, y sobretodo por

conseguir que cada día tanga ganas de hacer 68 km para ir a trabajar!

“Relaxing cup”, sólo de escribir el nombre ya me pongo a reír. Las fotos de la Patri nos alegran las mañanas y nos hacen más llevaderos los lunes. Glòria, tu em vas donar l’empenta que necessitava per decidir data de dipòsit. Quiero dar un especial agradecimiento a la Maica, ya que hemos recorrido mucho camino juntas y tenerla siempre e incondicionalmente a mi lado ha sido muy importante para mi. Maica, que te puedo decir que no te halla dicho ya a lo largo de toooodos estos años, tía eres mi hermana gemela, a veces pienso que estàs metida en mi cabeza. La verdad es que después de un “relaxing cup of cafe con Leche” con vosotras, la vida es mucho mejor! Gracias chicas!

Vull agrair als meus amics les bones estones que passem junts. Especialment a tu David, per aguantar el “monotema”: Tesi!

Gracias familia! Quiero agradecer a mi familia, mi madre, mi padre y mi hermano, su apoyo incondicional, sus ánimos, su plena confianza en mi, sus mimos y lo mucho que me quieren y me demuestran día a día, y esos viajes inolvidables. Me habeis dado los valores que me caracterizan, me habeis enseñado a valorar lo que tengo y que puedo aconseguir todo lo que me proponga. Vull agrair a la meva tieta Reme haver-me ensenyat la “llum”, hem compartit tots els colors de la vida, alguns de molt foscos, però mooolts colors d’alegria, amb tu he après a valorar-me i estimar-me. També vull agrair a la meva tieta Carmen la seva ajuda i ànims al final

d'aquest camí, gràcies per llegir-te la novel·la! I com no, també vull agrair a la família Santaugini el seu recolzament encara que no acabessin de saber exactament el què estava fent, especialment per aquests quatre nebots que adoro i que m'han ajudat a desconnectar de la tesis i amb els que he compartit moments inoblidables. Ser tieta és genial!

Y finalment, el meu agraïment més profund per tu Joan, el meu company de vida, pel teu recolzament, els ànims constants, la teva paciència, ... i, el més important, perquè encara estàs al meu costat després de 6 anys de tesis! No ha set fàcil ho reconec! Ja ho saps, però....T'estimo molt!

RESUMEN EJECUTIVO

Desplazarse es esencial para llevar a cabo las actividades de la vida cotidiana y por tanto, toda la población de un territorio está potencialmente expuesta a sufrir una lesión por tráfico en función de sus patrones de movilidad. Para estimar el riesgo de lesión son necesarias medidas de exposición que cuantifiquen el volumen de movilidad (tiempo o distancia) y permitan su desagregación según características del individuo y de su movilidad. En Cataluña se dispone de una encuesta de movilidad realizada en 2006 (Enquesta de Mobilitat Quotidiana, EMQ2006) con representatividad poblacional, que ha permitido estimar el tiempo total en desplazamiento, según sexo, edad, modo de transporte, ámbito, día y horario.

El objetivo general de esta tesis es estimar el riesgo de lesión por colisión de tráfico usando como medida de exposición las personas-horas en desplazamiento en Cataluña en el periodo 2004-2008. Para ello, se han llevado a cabo cuatro estudios. Como fuentes de información se han usado el Registro de accidentes y víctimas de tráfico de la DGT y la EMQ2006. El primer estudio valora la utilidad de las personas-tiempo como medida de exposición para estimar el riesgo de lesión. El segundo compara el riesgo entre hombres y mujeres, según edad, modo de transporte y gravedad. El tercero compara el riesgo de colisión en horario nocturno y diurno en ámbito urbano, en conductores y peatones, según sexo y día (laborable, fin de semana). Y el cuarto, estudia los factores

individuales y de entorno asociados a las colisiones nocturnas en ámbito urbano. Esta tesis proporciona por primera vez en nuestro país la estimación poblacional del riesgo de lesión por tráfico, usando personas-tiempo como medida de exposición. Esto ha permitido identificar factores tanto individuales como de entorno, relacionados con el riesgo de colisión y lesión por tráfico.

EXECUTIVE SUMMARY

Mobility is essential for carrying out daily life activities and therefore the entire population of a territory is potentially exposed to traffic injuries, depending on their mobility patterns. Exposure measures quantifying people's mobility are needed (distance or time travelled) to estimate road traffic injury risk, and it is needed that they could be stratified by individual and mobility characteristics. In Catalonia, an exhaustive Daily Mobility Survey was conducted in 2006. It is representative for all the population so it is an opportunity to estimate the overall amount of time people spend in their trips in Catalonia, by sex, age, mode of transport, setting (urban or non-urban), day (weekday or weekend) and time (daytime or nighttime).

The general objective of this thesis is to estimate the road traffic injury risk using as a measure of exposure people-hours travelled in Catalonia in the period 2004-2008. The main sources of information are: the National Traffic Authority's Register of Accidents and Victims, and the 2006 Daily Mobility Survey. Four studies were conducted. The first assesses the usefulness of person-time as a measure of exposure to estimate the injury risk. The second compares the risk between men and women, by age, mode of transport and severity. The third compares the risk of collision at nighttime and daytime in urban areas in drivers and pedestrians, by sex and day (weekday, weekend). And the fourth, studies the

environment and individual factors associated with nighttime collisions in urban areas. This thesis provides, for the first time in our country, the population estimate of road traffic injury risk using person-time travelled as a measure of exposure. This has allowed to identify individual and environmental factors related to the risk of collision and traffic injury.

PRÓLOGO

Esta tesis ha sido realizada en la Agència de Salut Pública de Barcelona, durante los años 2008-2014, bajo la dirección de Catherine Pérez. Se presenta como una colección de artículos científicos según la regulación del Programa en Biomedicina del Departamento de Ciencias experimentales y de la salud de la Universidad PompeuFabra.

La tesis está estructurada como sigue: un breve resumen de la tesis en español e inglés, una introducción seguida de la justificación, las hipótesis y los objetivos, un apartado explicando la metodología usada en la tesis, tres artículos científicos que explican los resultados de la tesis, un apartado donde se discuten los principales resultados, las conclusiones y las recomendaciones que se derivan de ellas, la bibliografía y un anexo. De los tres artículos, el primero está publicado en la revista *InjuryPrevention*, el segundo en la revista *AccidentAnalysis and Prevention* y el tercero en revisión en esta última revista.

Esta tesis se emmarca en la continuación del proyecto de investigación “Desigualdades según género, clase social y área de residencia en las lesiones por tráfico: ¿Cómo medir la exposición desigual al riesgo de sufrir lesiones por tráfico?” financiado por la Agencia de Evaluación de Tecnologías Sanitarias y el Fondo de Investigaciones Sanitarias (MD07/00082).

Las contribuciones de la alumna a la producción de esta tesis incluyen la revisión de la literatura, el diseño de los estudios, el análisis estadístico de los datos y la redacción de los artículos.

CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	xi
EXECUTIVE SUMMARY	xiii
PRÓLOGO	xv
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Las lesiones por tráfico como prioridad política	1
1.2. Las lesiones por tráfico como problema de salud pública	5
1.2.1. La magnitud	6
1.2.2. El modelo causal de Haddon	8
1.3. Marco conceptual de las lesiones por tráfico.....	10
1.3.1. La exposición.....	13
1.3.2. El riesgo	15
1.4. La estimación del riesgo de lesión por tráfico	18
1.4.1. Las medidas de exposición	18
1.4.2. Medidas que cuantifican movilidad y sus fuentes de información.....	20
1.4.3. Medidas que no cuantifican movilidad.....	24
1.4.4. Utilidad de la estimación del riesgo	26
2. JUSTIFICACIÓN	29
3. HIPÓTESIS	35
4. OBJETIVOS	36

4.1. Objetivo general.....	36
4.2. Objetivos específicos	36
5. MÉTODOS	39
5.1. Diseño, período y población de estudio.....	41
5.2. Fuentes de información.....	42
5.3. Estimación de las personas-tiempo en desplazamiento	46
5.4. Estimación del riesgo de lesión por colisión de tráfico	48
5.5. Variables y análisis estadístico	50
5.5.1. Estudio 1	50
5.5.2. Estudio 2	52
5.5.3. Estudio 3	53
5.5.4. Estudio 4	54
6. ARTÍCULOS.....	57
6.1. Artículo 1	59
6.2. Artículo 2	65
6.3. Artículo 3	75
7. DISCUSIÓN	103
7.1. Principales resultados	103
7.2. Medidas de exposición al riesgo de lesión	106

7.2.1. Personas-horas como medida de exposición	107
7.2.2. ¿Tiempo o distancia?	108
7.3. Diferencias en el riesgo de lesión según modo de transporte	110
7.4. Diferencias en el riesgo de lesión según edad y sexo	113
7.4.1. Según edad.....	113
7.4.2. Según género	114
7.5. Diferencias en el riesgo de colisión según horario	117
7.6. Factores asociados a las colisiones nocturnas	120
7.6.1. En conductores.....	120
7.6.2. En peatones.....	122
7.7. Aspectos metodológicos	125
7.7.1. Necesidad y utilidad de las encuestas de movilidad..	125
7.7.2. La relación no lineal entre la exposición y las lesiones por tráfico	127
7.8. Limitaciones	128
7.9. Fortalezas.....	130
8. CONCLUSIONES.....	133
9. RECOMENDACIONES.....	135
10.BIBLIOGRAFIA.....	139

1. INTRODUCCIÓN

Esta tesis pretende abordar el estudio de la epidemiología de las lesiones por colisión de tráfico. Se pretende estimar el riesgo de lesión por tráfico usando como medida de exposición el tiempo que invierten las personas en sus desplazamientos. Con el objetivo de introducir el tema de estudio esta sección está estructurada en dos grandes bloques. La primera parte, formada por los apartados 1.1 hasta el 1.3, incluye una visión histórica de cuándo y porqué las lesiones por tráfico empezaron a considerarse una prioridad política y un problema de salud pública, con una breve aproximación a la magnitud del problema y al modelo causal de Haddon, así como una breve explicación del marco conceptual utilizado, introduciendo los conceptos de exposición y riesgo. La segunda parte, formada por el apartado 1.4, introduce brevemente aspectos de cariz más metodológico como es la utilidad de estimar el riesgo de lesión por tráfico y la necesidad de usar medidas sobre la movilidad de las personas como medidas de exposición al riesgo, así como una descripción de las medidas más adecuadas y las más usadas, y sus fuentes de información.

1.1. Las lesiones por tráfico como prioridad política

Las lesiones por colisión de tráfico en las agendas políticas de los países, durante décadas no se han considerado una prioridad política.

En el año 2001, la **Unión Europea** aprobó el Libro Blanco (1) que estableció las directrices de la política europea del transporte con un programa de acción que se extendió hasta 2010. Por primera vez, se marcaba un objetivo sobre las lesiones por tráfico. La Unión Europea debía reducir hasta el 50% las muertes por colisión de tráfico en 2010. En 2003, la Comisión Europea aprobó el Programa de Acción Europeo de Seguridad Vial (2) y promulgó las medidas específicas para conseguir este objetivo. Las principales áreas de acción eran: fomentar la mejora del comportamiento de los usuarios, a través del cumplimiento estricto de la normativa vigente; mejorar la seguridad de los vehículos, mediante la obligatoriedad de la instalación de medidas de seguridad pasiva como el cinturón, y el apoyo al desarrollo técnico; mejorar la atención médica post-colisión; y establecer una Carta Europea de Seguridad Vial, movilizándolo a empresas del transporte, fabricantes de vehículos, compañías de seguros, operadores de infraestructuras y autoridades locales y regionales. Del 2001 al 2010 se redujeron un 43% el número de muertes por colisión de tráfico. No se llegó a alcanzar el objetivo de reducción del 50% (3).

Las orientaciones de la política de seguridad vial de la Unión Europea para el período 2011–2020, que nuevamente establece como objetivo reducir el 50% el número de muertos, se enmarcan en la proclamación por parte de la Asamblea General de las Naciones Unidas del “Decenio de Acción para la Seguridad Vial”, para este período (4). El objetivo de este Plan Mundial es reducir el

número de muertes por colisión de tráfico en el mundo, aumentando las intervenciones a nivel nacional, regional y mundial, evitando el enfoque centrado en la conducta humana. Se propone el modelo de responsabilidad compartida. Supone traspasar gran parte de la responsabilidad de los usuarios de la vía pública a los actores del sistema de transporte vial: gestores, industria automovilística, ingenieros, policía, políticos y órganos legislativos.

En **España**, en 2004 el gobierno estableció la seguridad vial como una prioridad política. Se elaboró el Plan Estratégico de Seguridad Vial 2005-2008 (5), siguiendo la recomendación de la Comisión Europea en el Programa de Acción Europeo de Seguridad Vial de 2003 (2). Se incluyeron acciones clave centradas en la mejora del cumplimiento de la norma, en la seguridad de los vehículos y la coordinación de actuaciones desde diferentes ministerios: Sanidad, Educación y Fomento. El principal objetivo era conseguir una reducción del 40% de las muertes por lesiones por tráfico en carretera entre el 2005 y el 2008, en relación al 2003, alineado con el objetivo europeo de reducción del 50% en el horizonte del año 2010.

En la actualidad, existe la Estrategia de Seguridad Vial 2011-2020 (6), que pretende ser un marco de actuación y un instrumento que impulse, facilite y coordine las iniciativas de seguridad vial de los agentes políticos, económicos y sociales a nivel nacional, con objetivos comunes y nuevos retos en un contexto económico, social y político crítico.

En **Cataluña** se llevan a cabo Planes de Seguridad Vial desde el 2002. Del 2000 al 2010 se redujeron un 57% el número de muertes superando el objetivo de reducción del 50% de la Estrategia de seguridad vial Europea (7). El Plan de Seguridad Vial 2011–2013 (8) fue el cuarto. Marcaba como objetivo reducir, como mínimo, el 15% el número de muertos y heridos graves respecto el 2010, compatible con las orientaciones de la política de seguridad vial de la Unión Europea de reducir el 50% el número de muertos el 2020 respecto el 2010. Este Plan, además de mantener las políticas efectivas de los Planes anteriores, se ha focalizado en las intersecciones, vehículos de dos ruedas y atropellos. Del 2010 al 2011 se redujeron un 8,5% el número de muertos y heridos graves, pero del 2011 al 2012 aumentaron un 5%, que supone una reducción global del 3,9% respecto al 2010 (9).

En la actualidad se ha aprobado el Plan estratégico de seguridad vial de Cataluña 2014-2020 (9), que pretende alcanzar el objetivo europeo de reducir el 50% el número de muertos y heridos graves respecto el 2010. Par ello, se marca una estrategia construida sobre dos ejes, la persuasión, orientada a todos los elementos que forman parte de la movilidad y la disuasión, que se orienta a los factores de riesgo causal, a las medidas de control policial para evitar colisiones y la infracción cometida y detectada.

1.2. Las lesiones por tráfico como problema de salud pública

Las lesiones por colisión de tráfico empezaron a considerarse un problema de salud pública mucho antes que una prioridad política. Durante los años 60 e inicios de los 70, los países desarrollados experimentaron un fuerte aumento de la motorización, y consecuentemente sufrieron un aumento de las lesiones por tráfico. Como respuesta a este fenómeno se empezaron a plantear las lesiones por tráfico como un problema de salud pública. Las aportaciones de científicos como William Haddon Jr y Susan Baker, permitieron un mejor y mayor conocimiento de su naturaleza y de las estrategias para reducirlas. Durante años se consideraron las colisiones de tráfico como accidentales, eventos aleatorios y inevitables, debidos a la necesaria movilidad y al transporte (10,11). A partir de las propuestas de Haddon (12) las lesiones por tráfico y sus implicaciones en la salud pasaron a verse como un problema importante de salud pública, medible y prevenible.

En 1962 un informe de la Organización Mundial de la Salud (OMS), discutía sobre la naturaleza y la dinámica de las colisiones de tráfico (13). Y ya en 1974, la Asamblea Mundial de la Salud las declaró un tema importante de salud pública y llamó a los estados miembros a afrontar el problema (Resolución WHA 27.59) (14). Durante los años 80 y 90, el Banco Mundial alentó a sus prestatarios para que incluyeran elementos de seguridad vial en la mayor parte de sus proyectos de transporte urbano y de carretera. A finales de los años 90 ambas organizaciones intensificaron su

trabajo en la prevención de las lesiones por tráfico. Esto se reflejó en 2000, en la creación del Departamento de prevención de las lesiones y de la violencia de la OMS, el desarrollo y implementación de una estrategia quinquenal para la prevención de las lesiones por tráfico y un mayor apoyo financiero y humano a las actividades sobre prevención en todo el mundo (15).

En 2004, la OMS dedicó el Día Mundial de la Salud a la Seguridad vial. En ese mismo año, la OMS y el Banco Mundial publicaron el informe Road Traffic Injury Prevention (10). Los objetivos generales del informe eran: concienciar sobre la magnitud, factores de riesgo y el impacto de las lesiones por tráfico en todo el mundo; llamar la atención sobre su evitabilidad y presentar estrategias de intervención efectivas; y finalmente hacer un llamamiento de enfoque coordinado entre los diversos sectores para abordar el problema.

1.2.1.La magnitud

Las lesiones por colisión de tráfico constituyen un importante problema de salud pública a escala **mundial**. Se estima que cada año mueren en el mundo alrededor de 1,24 millones de personas por lesiones por tráfico (más de 3.000 personas al día) y que entre 20 y 50 millones de personas resultan con lesiones no mortales. En 2011 las lesiones por tráfico ocupaban la novena posición en el orden de las principales causas de mortalidad y la octava posición en el orden de las principales causas de la carga mundial de morbilidad según

los años de vida perdidos ajustados por discapacidad (AVAD) (16). Se estima que las colisiones de vehículo a motor tienen una repercusión económica entre el 1% y el 3% del producto nacional bruto respectivo de cada país, cantidad que excede los US\$518.000 millones. Esta cifra es superior a la cantidad total que un país recibe en concepto de asistencia al desarrollo (4).

En la **Unión Europea** durante el año 2012, se estima que hubo más de 1,5 millones de personas lesionadas por tráfico, de las que unas 28.000 murieron (unas 75 personas al día) y unas 250.000 resultaron con lesiones de gravedad. La tasa de mortalidad fue de 60 personas muertas por millón de habitantes en 2011. En los últimos 10 años, se estima que el coste socio-económico anual de las lesiones por tráfico graves está alrededor del 2% del PIB de la Unión Europea (10), con un total de 250 billones de euros el 2012 (3).

En el **Estado Español** en 2012, se produjeron 83.115 colisiones de tráfico con alguna víctima, lo que supuso 1.903 personas muertas (a 24 horas) y 115.890 personas lesionadas, de las cuales 10.444 sufrieron lesiones de gravedad (ingreso hospitalario de más de 24 horas). Las lesiones por tráfico son la primera causa de muerte de los 15 a los 34 años de edad. El año 2012, la tasa de mortalidad por lesiones por tráfico fue de 4,1 personas muertas por cada 100.000 habitantes, situándose en la séptima posición en el ranking de la Unión Europea. Los costes asociados a las víctimas en 2012 se estiman entre 5.595 y 10.712 millones de €. Teniendo en cuenta que el Producto Interior Bruto (PIB) a precios de mercado en

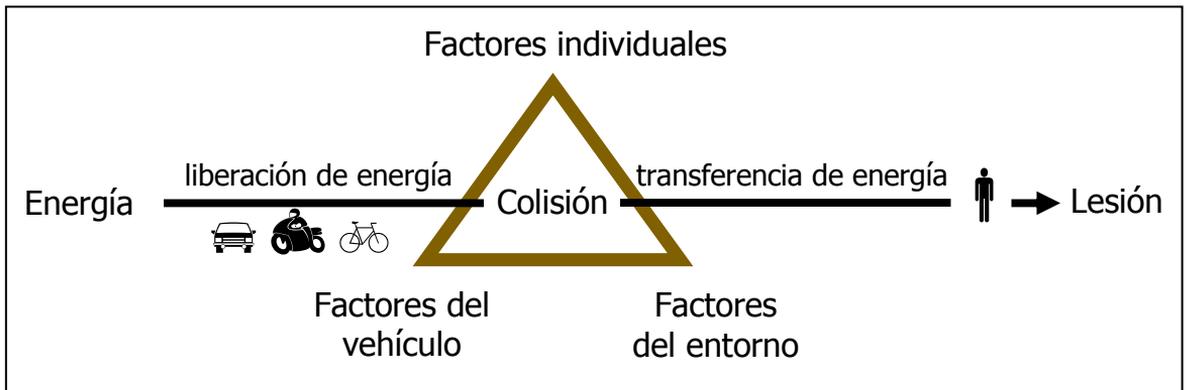
2011(último dato disponible) es 1.063.355 millones de €, el porcentaje del PIB que representan estos costes es entre el 0,5%, y el 1% (17).

En **Cataluña** en el año 2012, se registraron un total de 23.611 colisiones de tráfico con alguna víctima, que causaron 336 personas muertas a 30 días (274 a 24 horas) y 31.904 personas lesionadas, 1.980 de las cuales fueron graves. La tasa de mortalidad a 24 horas por lesión por tráfico fue de 3,6 personas muertas por 100.000 habitantes, y la de mortalidad a 30 días fue de 4,4 personas muertas por 100.000 habitantes (7).

1.2.2.El modelo causal de Haddon

En el año 1968, Haddon(12) formuló un modelo causal de las lesiones, inspirándose en los modelos de causalidad infecciosa. Según este modelo, y tal y como se ilustra en la figura 1, el agente causal de las lesiones por tráfico es la energía que se libera a través de un vehículo en movimiento (vector) y que en el momento de la colisión se transfiere al individuo (huésped), provocándole una lesión al superar esta transferencia de energía el límite de tolerancia del cuerpo humano. Esta liberación y transferencia de energía interacciona con tres tipos de factores: los relacionados con el **individuo** (características socio demográficas, condiciones físicas, uso de medidas de protección, etc.), los relacionados con el **vehículo** (tipo, medidas de seguridad pasiva, etc.) y los relacionados con el **entorno** (infraestructuras, factores legislativos y socioeconómicos).

Figural. El modelo de causalidad de las lesiones por tráfico de Haddon (1968).



Este modelo permitió en primer lugar, la categorización del agente causal, la liberación de energía mecánica, química o de otros tipos, a través de un vehículo en movimiento; y en segundo lugar, ilustró que la prevención de la presentación de una lesión recae en el control de la liberación de energía y en su interacción con las estructuras humanas y ambientales (12).

Según este modelo, las lesiones por tráfico no son accidentales, sino que obedecen a una causa necesaria, la transferencia de energía causada por una colisión, la cual puede ser modificada para evitar o limitar su impacto negativo sobre el cuerpo humano en forma de lesiones.

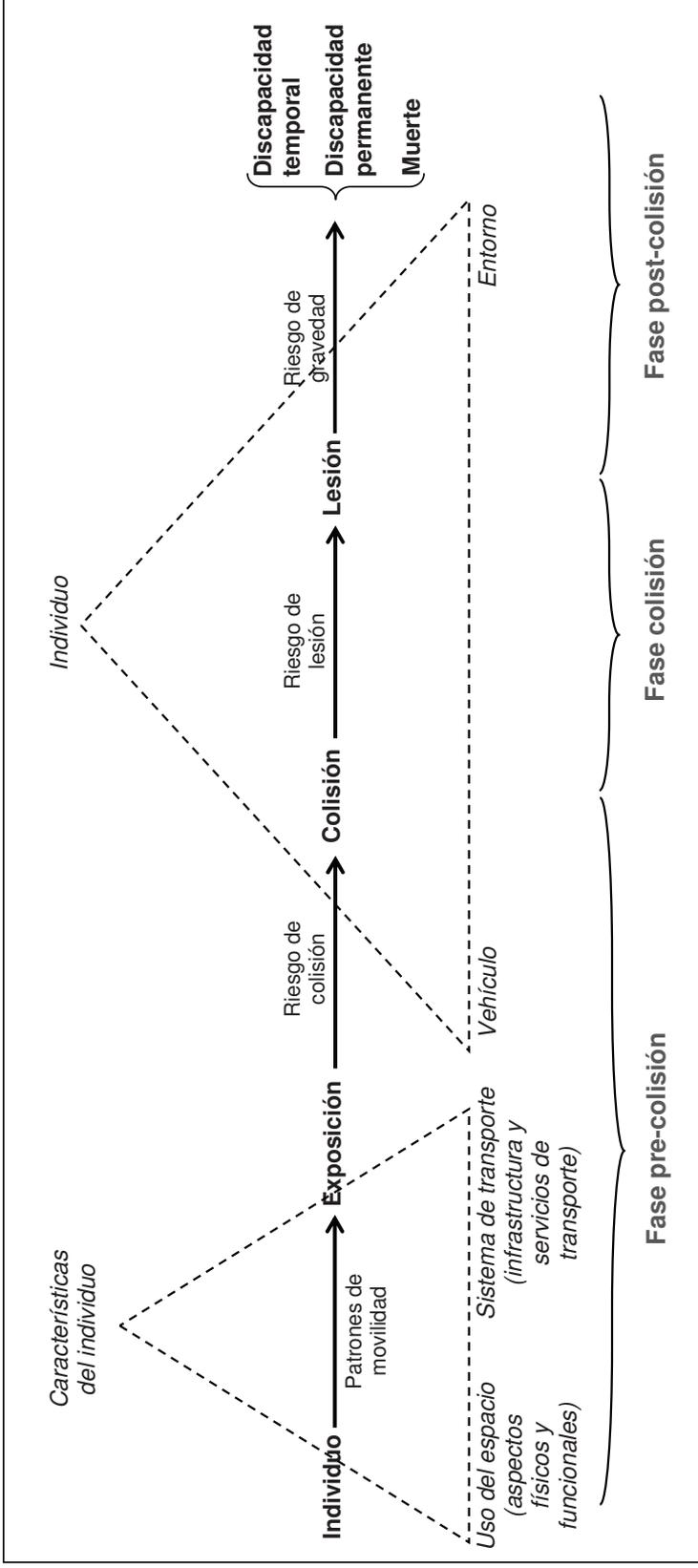
1.3. Marco conceptual de las lesiones por tráfico

El marco conceptual para el estudio de las colisiones y lesiones por tráfico que se ha usado en la presente tesis doctoral se ilustra en la figura 2. Se basa en un modelo de secuencia temporal, adaptando la cadena causal de eventos propuesta por Haddon (1968) (12), la secuencia temporal propuesta por Seguí-Gómez (2007) (18) y el marco conceptual que plantea Meurs (2003) (19) para el estudio de la relación entre el uso del espacio y la movilidad. Desde esta perspectiva, un individuo al desplazarse por la vía pública está expuesto a los peligros del tráfico y por tanto a sufrir una colisión de tráfico. Cuando se produce una colisión, existe la probabilidad de que el individuo sufra una lesión y si esta se produce, que el individuo muera o resulte con alguna discapacidad permanente o transitoria. De esta manera, se plantea el riesgo de morir o de otro desenlace, como el resultado de una cadena de cuatro elementos ordenados en el tiempo: la **exposición**, la **colisión**, la **lesión** y el **desenlace** de la lesión (muerte o discapacidad permanente o temporal) (10).

La **exposición** depende de los patrones de movilidad y éstos vienen determinados por la interrelación entre las **características del individuo**, el **uso del espacio** y el **sistema de transporte**. Y el riesgo de **colisión**, **lesión**, **muerte** o **discapacidad**, entendido como la probabilidad de que ocurra cada evento, viene determinado, dada una exposición, por factores relacionados con el **individuo**, el **vehículo** y el **entorno**, y su interrelación. Tal como estableció

Haddon (12), en la secuencia temporal de los eventos se pueden identificar tres fases: la **fase pre-colisión**, en la que los patrones de movilidad determinan la exposición, durante la cual puede producirse una colisión de tráfico; la **fase de la colisión**, en la que se produce la colisión, la cual puede resultar en una lesión para el individuo de mayor o menor gravedad; y la **fase post-colisión**, en la que se produce el desenlace de la lesión, que puede resultar en una discapacidad temporal, permanente o puede causar la muerte. En cada una de las tres fases se identifican factores relacionados con el individuo, el vehículo y el entorno que contribuyen a que se produzca el evento.

Figura2. Marco conceptual para el estudio de las colisiones y lesiones por tráfico.



Modelo adaptado de Haddon (1968), Seguí-Gómez (2007) y Meurs (2003).

1.3.1.La exposición

La exposición al riesgo de colisión o lesión por tráfico viene determinada por los **patrones de movilidad**. Comúnmente en la literatura se caracterizan en función del volumen de tráfico (número de desplazamientos, duración y distancia) y su distribución en el tiempo y el espacio y según modo de transporte (20,21). Tal y como muestra el marco conceptual, los patrones de movilidad son el resultado de las decisiones que el **individuo** toma condicionado por sus propias **características** y por aspectos relacionados con el **uso del espacio** y el **sistema de transporte**.

El **uso del espacio** hace referencia a las actividades que las personas realizan ocupando el espacio, condicionados por las características físicas y funcionales de éste. Las características físicas hacen referencia al espacio construido, como el diseño de las calles, la provisión de áreas para aparcar, de zonas verdes, etc. Las características funcionales hacen referencia a las actividades que se realizan en el espacio construido (actividad industrial, comercial, empresarial, residencial, etc.). El **sistema de transporte** hace referencia a las características del sistema y a los servicios de transporte. Las características del sistema dependen de las infraestructuras físicas (diseño de las vías, medidas de regulación del tráfico, etc.), del nivel de uso de las vías y de aspectos legales como por ejemplo el límite máximo de velocidad permitida. Y los servicios de transporte incluyen la red de transporte público y la cantidad y calidad de sus conexiones (20,21).

Las personas necesitan desplazarse entre los distintos núcleos de actividad para poder realizar las actividades básicas de la vida cotidiana (trabajar, estudiar, comprar, divertirse, etc.). La manera cómo los **individuos** gestionan estas necesidades está condicionado por sus propias **características**: la edad, el sexo, el nivel de riqueza y de renta, el nivel educativo, la composición familiar (tener o no hijos, etc.) y tipo de empleo, entre otras. Las personas, según sus características, presentan actitudes, estilos de vida y preferencias sobre el modo de transporte, aspectos que condicionan la elección del lugar de residencia, etc. y determinan su movilidad. Aquellos que tienen una considerable predisposición al uso del transporte público tienden a residir en zonas con buenos servicios de transporte, y con otros servicios como tiendas, etc. Los que prefieren usar el coche tienden a establecerse en una área fácilmente accesible con ese medio de transporte aunque no disponga de buenos servicios y quede lejos del lugar de trabajo. Las personas que le dan un gran valor a una elevada oferta cultural y de actividades tienden a vivir en una gran ciudad (19,21).

Al mismo tiempo, el **uso del espacio**, como la ubicación de las viviendas, los empleos, las tiendas y otras actividades, en combinación con las infraestructuras del **transporte**, influyen también en la movilidad de los individuos. El uso del tren es mucho mayor si los empleos se sitúan cerca de una estación de tren (19-22). Otros aspectos relacionados con el uso del espacio que condicionan los patrones de movilidad son: la densidad de actividad y la combinación de distintas actividades. A mayor densidad de

viviendas, empleos, tiendas, etc., menores distancias recorridas, mayor número de desplazamientos y mayor congestión. Como consecuencia aumenta el uso del transporte público en detrimento del transporte privado. La combinación de distintas actividades en un mismo espacio, reduce la distancia entre actividades, favorece el uso de modos de transporte lentos como los no motorizados y el transporte público y disuade a las personas del uso del transporte privado (20).

1.3.2.El riesgo

Los individuos, en función de sus patrones de movilidad, están más o menos expuestos al riesgo de sufrir una colisión de tráfico, de resultar lesionado dada una colisión y de morir o sufrir algún tipo de discapacidad en caso de lesión. Del marco conceptual se desprende que cada uno de estos riesgos resulta de la combinación de factores, relacionados con el individuo, el vehículo y el entorno, y la manera como interaccionan. Algunos factores contribuyen a la ocurrencia de una colisión formando parte de su causalidad y otros agravan los efectos de la colisión y contribuyen a que se produzca una lesión y a su gravedad.

La matriz de Haddon proporciona un marco analítico para la identificación de estos factores a partir de un sistema de dos ejes, uno de temporal y otro de espacial, que permite clasificar estos factores. Como se observa en la tabla 1, la matriz resultante consta de 12 celdas, donde se identifican los factores que pueden contribuir

al riesgo de colisión, de lesión dada una colisión y de muerte o discapacidad dada una lesión. Se clasifican en función de si están relacionados con el individuo, el vehículo o el entorno (este último grupo se divide en dos, factores relacionados con las infraestructuras y factores relacionados con la legislación o factores socioeconómicos) y de la fase en la que intervienen, pre-colisión, colisión y post-colisión. En la **fase pre-colisión** intervienen todos aquellos **factores que influyen en la exposición** (factores individuales, del uso del espacio y del sistema de transporte que influyen en los patrones de movilidad) y **factores que influyen en la ocurrencia de la colisión** (por ejemplo, el consumo de alcohol o drogas, factores propios del vehículo como el fallo de los frenos, defectos del diseño, trazado y mantenimiento de las vías, etc.). En la **fase colisión** intervienen los **factores que** en el momento de la colisión **contribuyen a que se produzca una lesión** y a su gravedad (por ejemplo, el exceso de velocidad, objetos en la vía que no protegen en caso de colisión como ciertos tipos de vallas de seguridad, falta de medidas de protección en los vehículos para los pasajeros y para los peatones atropellados, etc.). Y en la **fase post-colisión** intervienen aquellos **factores que** una vez producida una lesión por tráfico **contribuyen a la no supervivencia o a la discapacidad** temporal o permanente (por ejemplo, condiciones físicas del individuo, retraso en la atención médica, calidad de los sistemas de emergencia, etc.) (12,23).

Tabla 1. Factores relacionados con las colisiones y lesiones por tráfico clasificados según la matriz de Haddon.

Fases	Factores relacionados con la aparición y gravedad de las lesiones por tráfico			
	Individuales	Relacionados con el vehículo	Relacionados con las infraestructuras	Legislativos y socio-económicos
Pre-colisión	<ul style="list-style-type: none"> • Características socio-demográficas (edad, sexo, nivel de estudios, etc.) • Prácticas de planificación del uso del espacio y del sistema de transporte. • Nivel de experiencia en la conducción y de educación vial. • Condiciones físicas: sueño, estado físico, uso de medicamentos, alcohol o drogas. • Exceso de velocidad. • Desplazarse en horario nocturno. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo (turismo, motocicleta, etc.). • Antigüedad. • Velocidad máxima. • Sistemas de seguridad (de frenada, calidad de los neumáticos, etc.). 	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de vía. • Señalización de la vía. • Iluminación de la vía. • Diseño de la vía (intersección, calle de dirección única, combinación de usuarios con distintas vulnerabilidades). • Calidad de los materiales (asfalto, pintura, etc.). • Estado de la vía (en buen o mal estado, seca o mojada, helada, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Legislación sobre: <ul style="list-style-type: none"> ○ Límites de velocidad ○ Consumo y venta de alcohol ○ Consumo de otras sustancias psicoactivas ○ Uso de elementos de seguridad ○ Estado de salud y conducción ○ Publicidad • Reglamentación de vehículos de transporte de pasajeros y mercancías. • Factores económicos como el nivel de desarrollo económico y la y el nivel de privación social.
Colisión	<ul style="list-style-type: none"> • Estado de salud • Factores de tolerancia humana. • Uso de medidas de protección (casco, cinturón de seguridad, sistemas de retención infantil). • Exceso de velocidad • Consumo de alcohol y drogas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de colisión. • Medidas de seguridad activa. • Medidas de seguridad pasiva. 	<ul style="list-style-type: none"> • Presencia de objetos a los costados de la vía que no protegen en caso de colisión. • Medidas de protección en las vías. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicación efectiva de las medidas legislativas.
Post-colisión	<ul style="list-style-type: none"> • Atención adecuada a las personas lesionadas. • Asistencia de servicios de emergencia. • Condiciones físicas del individuo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Daños materiales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de comunicación con los servicios de emergencia. • Rapidez y calidad asistencial de los servicios de emergencia. • Calidad de los servicios. 	<ul style="list-style-type: none"> • Formación del personal sanitario implicado en la atención al lesionado.

1.4. La estimación del riesgo de lesión por tráfico

El estudio de la epidemiología de las lesiones por tráfico requiere la estimación del riesgo, definido como la probabilidad de verse involucrado o lesionado en una colisión de tráfico dada una determinada exposición (24,25). Se calcula a partir de una tasa, como el número de colisiones o de personas lesionadas dividido por la cantidad de exposición, en una población determinada en un período de tiempo determinado (25).

Para obtener una buena medida de estimación del riesgo de colisión o lesión por tráfico es imprescindible disponer de una medida de exposición precisa que proporcione información sensible para distintos grupos de la población. Sin embargo, en el estudio de las lesiones por tráfico existe la dificultad de definir la población a riesgo, ya que requiere cuantificar la movilidad de las personas en un área determinada, independientemente de su lugar de residencia.

1.4.1. Las medidas de exposición

Para la estimación del riesgo son necesarias medidas de exposición que cuantifiquen la movilidad de las personas en vehículo o a pie, ya que es lo que las hace estar expuestas a padecer una lesión por tráfico, en función de distancia recorrida o tiempo en desplazamiento (26). Desplazarse es esencial para llevar a cabo diariamente las actividades de la vida cotidiana y por tanto toda la

población de un territorio está potencialmente expuesta a sufrir una lesión por tráfico, en función de su movilidad. El número de personas residentes en un área no puede considerarse una medida de exposición, si no que se debe considerar la población "en movimiento" junto con las características de su movilidad. Según el marco conceptual descrito, los patrones de movilidad se caracterizan en función del volumen (número de desplazamientos, duración y distancia), el modo de transporte y su distribución en el tiempo y el espacio. Por tanto, son necesarias medidas que cuantifiquen la movilidad y que permitan su desagregación en función del modo de transporte, entorno (urbano/ no urbano, tipo de vía, etc.), día (laborable/ fin de semana, día de la semana, mes del año, etc.) y horario (hora, horario diurno/ nocturno, etc.). Estas medidas de exposición también deberían poderse desagregar según características del individuo (sexo, edad, etc.) ya que hemos visto en el marco conceptual que también condicionan sus patrones de movilidad.

En teoría, serían necesarias medidas continuas de la movilidad de todos los usuarios de la vía pública, en los diferentes modos de transporte, y deberían proporcionar estimaciones que cuantifiquen su exposición, en función de sus características y de las de su movilidad. En la práctica, estas medidas no son posibles, por tanto se utilizan otras estimaciones de la movilidad, que pueden ser más o menos precisas y representativas. Se usan diferentes medidas de exposición, y el criterio para seleccionarlas suele basarse en la disponibilidad y calidad de los datos, así como el objetivo de análisis, colisiones o personas lesionadas. Además, las medidas

pueden variar significativamente en términos de nivel de desagregación disponible y de la posibilidad de sesgos en su estimación (25).

Las medidas de exposición más usadas en el contexto de la seguridad vial pueden clasificarse en dos grupos. El primer grupo, vehículos-kilómetros recorridos, vehículos registrados, kilómetros de vía y consumo de carburante, proporciona estimaciones sobre el tráfico. Por tanto, estas medidas, como medidas de exposición, permiten la estimación del riesgo de que se produzca una colisión. El segundo grupo proporciona **estimaciones sobre las personas a riesgo**, como las personas-kilómetros recorridos, las personas-tiempo en desplazamiento, el número de desplazamientos, la población residente y la población conductora. Y por tanto, estas medidas, permiten la estimación del riesgo que tienen los individuos de sufrir una colisión o lesión por tráfico (25).

1.4.2. Medidas que cuantifican movilidad y sus fuentes de información

De las medidas mencionadas en el apartado anterior, a continuación se describen aquellas que cuantifican la movilidad: las personas-tiempo en desplazamiento, las personas-kilómetros recorridos, el número de desplazamientos, los vehículos-km recorridos y los pasajeros-km recorridos. También se describen sus principales fuentes de información.

Las medidas **personas-tiempo en desplazamiento**, **personas-kilómetros recorridos** y **número de desplazamientos**, cuantifican la movilidad de las personas, permitiendo el cálculo del riesgo que tienen los diferentes usuarios de la vía pública de sufrir una colisión y lesión por tráfico. El número de desplazamientos podría proporcionar estimaciones de riesgo similares que las personas-tiempo en desplazamiento o las personas-kilómetros recorridos, si el tiempo y la distancia recorrida fuera siempre la misma en todos los desplazamientos. Esta media es informativa en combinación con las otras dos. La principal ventaja de estas tres medidas es que se disponen a un elevado nivel de desagregación. Las encuestas de movilidad y transporte resultan una fuente potencialmente útil para su obtención. Estas encuestas se realizan en la mayoría de países, con la finalidad de planificar la movilidad de las personas y los vehículos en un área determinada. Permiten obtener estas medidas en cada modo de transporte. La principal ventaja, en comparación con otras fuentes de información, es que la unidad de análisis es el individuo y generalmente están diseñadas para conseguir un elevado nivel de desagregación de los datos según características de los individuos, de sus desplazamientos y según el área geográfica. No obstante, se basan en información autonotificada de muestras aleatorias y en consecuencia se pueden producir sesgos de muestreo, de no respuesta o de errores de medida. Además, en muchos países sólo se realizan a conductores de vehículos a motor. Otra limitación es que debido a su elevado coste, no se realizan con suficiente periodicidad.

Los **vehículos-kilómetros recorridos**, miden la movilidad de los vehículos y por tanto permiten el cálculo del riesgo de que se produzca una colisión de tráfico en vehículo motorizado. No se trata de una medida real directa sino que es una estimación que se puede obtener a partir de diferentes fuentes: 1) Sistemas automáticos de recuento del tráfico, que proporcionan el promedio anual de tráfico diario; 2) Encuestas a conductores, donde se pregunta sobre los kilómetros que han recorrido en sus vehículos; 3) Estimaciones de kilómetros recorridos por litro, basados en el consumo de carburante, mediante las ventas de combustible; y 4) Las lecturas del kilometraje de los vehículos en las inspecciones periódicas de vehículos, obligatorias en todos los países europeos y en varios no europeos.

De los cuatro métodos, el usado en nuestro país y el más usado en Europa es el de sistemas automáticos de recuento del tráfico. Una ventaja de esta fuente de información, en comparación con otras fuentes, es que se pueden capturar las variaciones regionales y estacionales, ya que frecuentemente estas mediciones se recogen de manera continua en el tiempo. No obstante, sólo se cuenta el número de vehículos que pasan por la estación de medición, no su movilidad. De esta manera, se usan los recuentos de tráfico de una muestra de segmentos de carreteras monitorizadas mediante cámaras o, más comúnmente, por sensores para estimar el valor de los kilómetros recorridos por los vehículos en toda la red.

El cálculo anual se basa en multiplicar la intensidad media diaria de tráfico (IMD) en un segmento por la longitud del segmento y por

los 365 días que tiene un año. Este cálculo implica suponer que un vehículo contabilizado en un segmento de la vía recorre el total de kilómetros de dicho segmento, e implica que algunos vehículos no son contabilizados al no cruzar los puntos de recuento. También conlleva que cuando se busca la distribución por tipo de vía, se requiera combinar los recuentos de tráfico con modelos de asignación de tráfico, ya que no se dispone de la intensidad media diaria de tráfico en todos los segmentos de la red, especialmente en las zonas urbanas. Por otro lado, los puntos de medición pueden ser o no representativos del tráfico nacional o regional, ya que las carreteras locales o urbanas generalmente no están incluidas. Además, hay discrepancias en el método de cálculo intra y entre países. Finalmente, una de las limitaciones más importantes es que sólo se recoge información sobre los vehículos, no del individuo ni del entorno. Esto, impide la comparación entre grupos de individuos y los modos no motorizados no están representados (25,27).

Otra medida sobre la movilidad de las personas usada a nivel europeo es la de **pasajeros-kilómetros recorridos**, que se obtiene usando los vehículos-kilómetros recorridos estimados a partir de **sistemas automáticos de recuento del tráfico**, y la tasa de ocupación de los vehículos obtenida a partir de las **encuestas de movilidad y transporte**.

El número de personas-tiempo en desplazamiento, de personas-kilómetros recorridos y de vehículos y pasajeros-kilómetros recorridos, son las medidas que se encuentran más cercanas al concepto teórico de exposición. Además, pueden estar disponibles a

un nivel satisfactorio de desagregación, las dos primeras, para la estimación del riesgo que presentan los individuos de sufrir una colisión o lesión por tráfico, y las otras dos para la estimación del riesgo de que se produzca una colisión de tráfico. Sin embargo, frecuentemente se usan otras medidas de exposición como aproximación a las medidas sobre movilidad, sobre todo porque implican métodos de recogida de menor complejidad y coste, ya que se obtienen de registros rutinarios existentes en la mayoría de países. Entre estas se incluye el número de vehículos registrados, los kilómetros de vía, el consumo de carburante, el número de habitantes y el de conductores.

1.4.3. Medidas que no cuantifican movilidad

Otras estimaciones sobre el tráfico frecuentemente usadas en seguridad vial como medidas de exposición para la estimación del riesgo de colisión de tráfico alternativas a los vehículos-kilómetros recorridos son: los vehículos registrados, los kilómetros de vía y el consumo de carburante.

El número de vehículos registrados, es una medida poco válida como medida de exposición ya que proviene del censo de vehículos. Es un registro que proporciona información sobre la composición del parque de vehículos, pero no recoge información sobre su movilidad, ni sobre los conductores. Además, no todos los vehículos registrados están en circulación y no todos los vehículos que circulan por un área están registrados en el censo de vehículos de esa área.

Los **kilómetros de vía** es una medida de exposición muy básica que no captura las variaciones temporales en el uso de las vías de un área determinada. Únicamente puede ser útil como medida de exposición en países en vías de desarrollo, o para ajustar las diferencias entre países en la extensión de vías.

El **consumo de carburante** es la mejor medida alternativa a los vehículos-kilómetros, aunque las fluctuaciones a corto plazo en el uso de las vías no son fácilmente capturadas. Obviamente, el carburante se consume en algún momento después de ser comprado pero no se puede precisar cuándo, ni dónde. Por tanto, esta medida probablemente es mejor usarla a nivel agregado, como medida anual a nivel nacional.

Otras estimaciones sobre las personas a riesgo de colisión o lesión por tráfico frecuentemente usadas en seguridad vial como medidas de exposición alternativas a las basadas en la movilidad son: la población residente y la población conductora.

El **número de habitantes** en un área, no es una medida de exposición a las lesiones por tráfico, sino una medida del número de personas potencialmente expuestas. Proviene de un **censo de población** y por tanto no proporciona información sobre su movilidad. No obstante, la tasa de personas lesionadas por número de habitantes, es una de las medidas más usadas, especialmente por la sencillez del cálculo y extendido a nivel internacional, lo que permite la comparación entre países. Además, se dispone desagregada por sexo y edad, lo que permite estudiar grupos

poblacionales concretos, como por ejemplo, niños y niñas en edad de escolarización o personas mayores en edad de jubilación.

El **número de conductores** proviene del **registro oficial de conductores** que proporciona información como el sexo, la edad, el tipo y antigüedad del carné de la población conductora, pero no sobre su movilidad. Las comparaciones entre países son difíciles debido a diferencias en las licencias de conducción, como la edad mínima permitida.

1.4.4.Utilidad de la estimación del riesgo

En la vía pública el riesgo de lesión por colisión de tráfico aparece con la necesidad de desplazarse (ir al trabajo, al colegio, de compras, etc.). Según el marco conceptual, la exposición viene determinada por los patrones de movilidad, por tanto grupos de población con distintos patrones tienen distinta exposición al riesgo. Que un grupo de individuos presente mayor número de personas lesionadas que otro, puede ser debido a su mayor volumen de movilidad, lo cual no significa que tenga más riesgo. Una buena medida de exposición proporcionará una estimación del riesgo que permita comparar grupos de población con distintos patrones ajustando el volumen de su movilidad. De esta manera, se pueden estudiar diferencias en el riesgo entre distintos grupos debidas a factores relacionados con el individuo, el entorno y el vehículo, modificables y por tanto intervenibles para poder reducir el riesgo.

Una estimación precisa del riesgo es una herramienta útil, tanto para los investigadores, como para la toma de decisiones de los responsables en seguridad vial. En primer lugar, permite identificar grupos vulnerables, comparando el riesgo de lesión entre grupos de individuos según sus características (sexo, edad, etc.) y las de su movilidad (modo de transporte, tipos de vías, etc.). En segundo lugar, permite el análisis de riesgo en términos de evolución temporal y distribución geográfica ajustando por cambios en los patrones de movilidad. En tercer lugar, permite el estudio de factores relacionados con el riesgo. Por último, proporciona información imprescindible para el diseño de intervenciones con el objetivo de reducir el riesgo de lesión y su gravedad, y permite la evaluación de su efectividad (25,28).

2. JUSTIFICACIÓN

Dada la magnitud de las lesiones por colisión de tráfico en nuestro entorno y su impacto en la salud de la población, su relevancia en la agenda política a nivel mundial y en nuestro entorno más cercano, resulta necesario disponer de una medida adecuada y precisa de estimación del riesgo, que permita la comparación entre grupos poblacionales, así como la evaluación de los programas de seguridad vial. Una adecuada estimación del riesgo recae en el uso de una medida de exposición que cuantifique la movilidad de los individuos con un nivel de desagregación que permita la estimación del riesgo de grupos con distintos patrones de movilidad.

Desafortunadamente, en el estudio de las lesiones por tráfico en nuestro país, hasta la fecha, no se ha estimado el riesgo de lesión usando una medida de exposición adecuada y precisa basada en la movilidad de las personas. La poca disponibilidad de datos, su insuficiente fiabilidad y nivel de desagregación y su limitada accesibilidad, son los principales obstáculos para el pleno uso de estas medidas de exposición tanto en España como a nivel europeo (25).

Las encuestas de movilidad constituyen una fuente potencialmente útil para obtener medidas sobre la movilidad de las personas. Permiten obtener medidas como el tiempo invertido en desplazamientos, la distancia recorrida en ellos, etc. Normalmente la unidad de análisis de las encuestas es el individuo y suelen estar diseñadas para proporcionar datos a un alto nivel de desagregación.

Por ello permiten comparar grupos de individuos, según sus características, las de sus desplazamientos, área geográfica, etc. En Cataluña se dispone de una encuesta de movilidad (Enquesta de Mobilitat Quotidiana, EMQ2006) realizada en 2006 por la Autoritat del Transport Metropolità. Se trata de una encuesta de movilidad y transporte con representatividad poblacional que recoge información del individuo y de cada uno de sus desplazamientos. La EMQ2006 ha permitido estimar la cantidad de tiempo que han invertido los residentes de Cataluña en sus desplazamientos.

También se dispone de un registro de colisiones y de personas lesionadas de tráfico, que incluye tanto personas con heridas leves, como graves (que han requerido una hospitalización de más de 24 horas) y mortales (en las 24 horas desde la colisión), con información sobre las personas lesionadas y sobre las circunstancias de la colisión.

Disponer de estas dos fuentes de datos, permite estimar el riesgo de grupos de población con distintos patrones de movilidad, ajustando el tiempo que invierten en desplazamiento, en función de características individuales, como el sexo y la edad, el modo de transporte (turismo, motocicleta, ciclomotor, etc., como conductor y como pasajero, y a pie), el ámbito (urbano, no urbano), el día (laborable, fin de semana) y el horario (diurno, nocturno). Esto supone una oportunidad para estudiar las diferencias en el riesgo entre hombres y mujeres, así como entre desplazarse en horario diurno y horario nocturno en ámbito urbano.

Según el marco conceptual descrito, las características del individuo influyen en sus patrones de movilidad y por tanto en su exposición al riesgo de lesión. Está descrito en la literatura como la movilidad varía según el **sexo**. Las mujeres usan más el transporte público y caminan más, en cambio los hombres usan más el transporte privado (29). Un estudio realizado en Cataluña con datos de la EMQ2006 describe como entre las personas ocupadas de 30 a 44 años de edad, los hombres se desplazan en mayor proporción e invierten un mayor tiempo en desplazamientos por motivos relacionados con el trabajo y en cambio las mujeres por motivos relacionados con el hogar y la familia (30). Existe evidencia de que el riesgo de lesión por colisión de tráfico varía según sexo, pero no hay consenso sobre si es mayor en hombres o en mujeres, ni en la medida de exposición usada para estimar el riesgo.

El **ámbito** de desplazamiento, según se ha visto en el marco conceptual es un factor de entorno que tiene una gran influencia en la exposición. Los patrones de movilidad en ámbito urbano son muy distintos a los de ámbito no urbano. En ámbito no urbano la velocidad permitida es mayor que en ámbito urbano y circulan un mayor número de vehículos de elevada masa como son los camiones. Sin embargo, en ámbito urbano, circulan un mayor número de peatones, ciclistas y conductores de motocicleta o ciclomotor, usuarios vulnerables que conviven en la vía pública con usuarios con mayor masa y velocidad, como por ejemplo los autobuses (31).

Otro factor de entorno que puede influir en los patrones de movilidad es el **horario**. La movilidad en horario nocturno es menor que en horario diurno. Los jóvenes se desplazan más por la noche que los mayores, que suelen evitar la conducción en situaciones de mayor riesgo como puede ser la menor visibilidad durante la noche (32,33). La mayoría de autores que han estudiado las colisiones de tráfico nocturnas se han centrado en ámbito rural, en carretera o, en ámbito urbano y no urbano conjuntamente. La mayoría han estudiado principalmente factores como: la falta de experiencia, especialmente en jóvenes (34-36); la fatiga y la somnolencia (37-40), las conductas de riesgo de los conductores, como el consumo de alcohol o drogas y el exceso de velocidad (41-43); y la falta de iluminación de las carreteras (44-46). A penas se han estudiado las colisiones nocturnas en ámbito urbano, donde no sólo las calles están iluminadas, sino que también existe la iluminación de comercios, oficinas y vehículos, y donde además, los desplazamientos son más cortos, y por tanto la fatiga o la somnolencia son menos importantes.

Por todo lo anterior, surgen una serie de preguntas de investigación a las que esta tesis pretende dar respuesta. La primera pregunta hace referencia a la calidad de la medida personas-horas en desplazamiento como medida de exposición a las lesiones por colisión de tráfico: ¿Es una medida lo suficientemente precisa para estimar el riesgo de lesión por tráfico, dando estimaciones válidas para grupos de individuos con distintos patrones de movilidad? Y en segundo lugar: ¿Una vez ajustada la distinta movilidad en hombres y mujeres, sigue existiendo mayor riesgo de lesión por

tráfico en hombres? Por otra parte, la nocturnidad se ha descrito como un factor de riesgo en ámbito no urbano, así que, dado que la movilidad es distinta en área urbana que en área no urbana, cabe preguntarse: ¿El exceso de riesgo nocturno respecto a diurno también se observa en ámbito urbano? La mayoría de factores que se han descrito asociados a las colisiones nocturnas son sobre los individuos. La última pregunta sería: ¿Qué características del entorno de la colisión se asocian a las colisiones nocturnas en área urbana?

De estas preguntas de investigación se plantean las hipótesis que se enumeran en el siguiente apartado.

3. HIPÓTESIS

1. Personas-tiempo en desplazamiento es una medida de exposición a las lesiones por colisión de tráfico más precisa que los vehículos-kilómetros recorridos, número de vehículos registrados y número de habitantes.
2. El riesgo de lesión por tráfico es mayor en mujeres que en hombres, en algunos grupos de edad y dependiendo del modo de transporte.
3. En hombres y en fin de semana, el riesgo de colisión de tráfico en ámbito urbano es mayor en horario nocturno que en diurno.
4. En un entorno urbano, ante la convivencia de conductores y peatones, las intersecciones son puntos de mayor conflicto en horario nocturno que diurno.

Para contrastar estas hipótesis se plantean los objetivos que se enumeran a continuación.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Estimar el riesgo de lesión por colisión de tráfico usando una medida de exposición basada en la movilidad de las personas, personas-horas en desplazamiento, y comparar el riesgo entre grupos de individuos en función tanto de sus características como las características de su movilidad, en Cataluña en el período 2004-2008.

4.2. Objetivos específicos

1. Comparar el riesgo de lesión por colisión de tráfico calculado usando una medida de exposición basada en la movilidad de los individuos, personas-horas en desplazamiento, con la estimación del riesgo obtenida usando el número de habitantes, el número de vehículos registrados y los vehículos- kilómetros recorridos, en días laborables en Cataluña en 2006.
2. Comparar el riesgo de lesión por colisión de tráfico entre hombres y mujeres, según edad, modo de transporte y gravedad, usando como medida de exposición personas-horas en desplazamiento en Cataluña en el período 2004-2008.
3. Estimar y comparar el riesgo de colisión de tráfico en área urbana en conductores y peatones en horario nocturno y en diurno, en días laborables y en fin de semana, usando como

medida de exposición el tiempo que invierten las personas en sus desplazamientos en Cataluña en el período 2004-2008.

4. Estudiar los factores individuales y factores relacionados con el entorno de la colisión, asociados a las colisiones nocturnas en ámbito urbano, en conductores y peatones, en días laborables y en fin de semana, en Cataluña en el período 2004-2008.

Para poder alcanzar los objetivos específicos, se plantean cuatro estudios uno para cada objetivo. El resultado son 3 artículos científicos, que se incluyen en la presente tesis:

Objetivo 1 → **Artículo 1**: “Measures of exposure to road traffic injury risk”. **Publicado** en la revista científica **Injury Prevention** en febrero de 2013.

Objetivo 2 → **Artículo 2**: “Gender differences in road traffic injury rate using time travelled as a measure of exposure”. **Publicado** en la revista científica **Accident Analysis and Prevention**, en enero de 2014.

Objetivos 3 y 4 → **Artículo 3**: “Nighttime road traffic injury risk in an urban setting”. **En revisión** en la revista científica **Accident Analysis and Prevention**.

5. MÉTODOS

A continuación se describe la metodología usada para el desarrollo de esta tesis, estructurada en ocho apartados, que describen: el diseño, período y población de estudio; las fuentes de información usadas; el cálculo de la estimación de la medida de exposición personas-horas en desplazamiento; el cálculo de la estimación del riesgo de lesión por tráfico; y en los cuatro últimos, las variables y análisis estadístico de manera específica para cada uno de los cuatro estudios. La tabla 3 muestra un resumen de la metodología de cada estudio:

Tabla 3. Resumen de la metodología usada en los cuatro estudios realizados.

Estudio	Artículo	Diseño	Población Estudio	Período	Fuentes Información	Criterios selección
1. Comparación de medidas de exposición	1	Transversal	Población > 3 años residente en Cataluña	2006	<ul style="list-style-type: none"> ▪ DGT ▪ EMQ06 ▪ Censo de vehículos ▪ Censo de población ▪ Estimación Veh-Km 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Personas lesionadas en Cataluña en día laborable >3 años ▪ Desplazamientos en día laborable con origen y/o destino Cataluña ▪ Vehículos registrados en Cataluña ▪ Población de Cataluña >3 años ▪ Movilidad de los vehículos por Cataluña en día laborable
2. Diferencias de género en el riesgo de lesión	2	Transversal	Población > 3 años residente en Cataluña	2004-2008	<ul style="list-style-type: none"> ▪ DGT ▪ EMQ06 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Personas lesionadas en Cataluña >3 años ▪ Desplazamientos con origen y/o destino Cataluña
3. El riesgo de colisión nocturna en ámbito urbano	3	Transversal	Población > 3 años residente en los 10 municipios > 100.000 habitantes de Cataluña	2004-2008	<ul style="list-style-type: none"> ▪ DGT ▪ EMQ06 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conductores involucrados en colisiones con alguna persona lesionada o peatones > 3 años lesionados, en los municipios seleccionados de Cataluña ▪ Desplazamientos con origen y/o destino los municipios seleccionados de Cataluña
4. Factores asociados a las colisiones nocturnas en ámbito urbano		Transversal	Personas involucradas en una colisión de tráfico en uno de los 10 municipios > 100.000 habitantes de Cataluña	2004-2008	<ul style="list-style-type: none"> ▪ DGT 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conductores involucrados en colisiones con alguna persona lesionada o peatones > 3 años lesionados, en los municipios seleccionados de Cataluña

5.1. Diseño, período y población de estudio

El diseño de los cuatro estudios que forman la presente tesis es transversal. El período de estudio es del 2004 al 2008, excepto en el primer estudio que se centra en el año 2006.

La población de estudio en los dos primeros estudios, el de comparación de medidas de exposición al riesgo de lesión por tráfico y el de diferencias de género en el riesgo de lesión por tráfico, es la población de mayor de 3 años de edad que reside en Cataluña. En el estudio 3, el de comparación del riesgo de lesión en horario nocturno y diurno en zona urbana, la población de estudio es la población de más de 3 años de edad residente en los 10 municipios de más de 100.000 habitantes de Cataluña. Y en el cuarto estudio, de factores asociados a las colisiones nocturnas en una zona urbana, la población de estudio son las personas involucradas en una colisión de tráfico en uno de los 10 municipios de más de 100.000 habitantes de Cataluña.

Los 10 municipios de Cataluña con más de 100.000 habitantes son: Barcelona, l'Hospitalet de Llobregat, Badalona, Terrassa, Sabadell, Lleida, Tarragona, Mataró, Santa Coloma de Gramenet y Reus.

5.2. Fuentes de información

1. El **Padrón continuo de Población** del Instituto de Estadística de Cataluña (IDESCAT) proporciona el número anual de habitantes en Cataluña según sexo, edad y municipio de residencia.
2. El **Registro de Vehículos** del Instituto de Estadística de Cataluña (IDESCAT) proporciona información sobre el número de vehículos matriculados en Cataluña y que no han sido dados de baja. Se incluyen todos los vehículos de motor, remolques y semirremolques que han obtenido el permiso de circulación.
3. La estimación de los **vehículos- kilómetros recorridos** del Ministerio de Fomento de España, proporciona información sobre la suma total de los kilómetros recorridos por todos los vehículos que usan la vía pública. Se calcula a partir de la Intensidad Media Diaria (IMD) que refleja el número medio de vehículos que pasan por las estaciones de aforo y los kilómetros de vía.
4. El **Registro de accidentes y víctimas de tráfico** de la Dirección General de Tráfico (DGT) proporciona información sobre las colisiones de tráfico y las personas lesionadas por colisión de tráfico en Cataluña. Se incluyen tanto personas con lesiones leves, como graves (que requieren una estancia hospitalaria de más de 24 horas) y personas fallecidas (en el lugar del

accidente, en el trayecto al centro hospitalario o en el hospital en las 24 horas posteriores al accidente).

5. La **Enquesta de Mobilitat Quotidiana de Catalunya 2006 (EMQ-2006)** (47), es una estadística oficial promovida por la Autoritat del Transport Metropolità y el Departament de Política Territorial i Obres Públiques de la Generalitat de Catalunya. En su realización participan el Institut d'Estudis Regionals i Metropolitans de Barcelona, el Institut d'Estadística de Catalunya y el Centre d'Estudis d'Opinió. Proporciona información sobre la movilidad cotidiana de una muestra representativa del conjunto de la población mayor de 3 años de edad no institucionalizada residente en Catalunya en el año 2006. No se incluyen las personas que viven de manera habitual en residencias o establecimientos colectivos como residencias sociosanitarias, conventos, casernas, o que no viven en domicilios familiares. Tampoco se incluyen las personas que no constan en el Registro Oficial de Población de Catalunya.

La EMQ2006 es una encuesta telefónica con sistema asistido por ordenador (CATI), realizada por entrevistadores formados específicamente para esta encuesta. Se incorporan las técnicas de la metodología CATI: emisión aleatoria y masiva de llamadas, con lo que representa de ganancia en el tiempo de realización de las entrevistas; la grabación automática de las respuestas en las correspondientes bases de datos, lo que permite un seguimiento estricto y casi a tiempo real de las incidencias en las entrevistas; y el control continuo, mediante

audiciones, del “tempo” de las entrevistas, en relación al cumplimiento de los objetivos, formato de las preguntas, tono usado por los entrevistadores, etc.

Se realiza un muestreo aleatorio estratificado polietápico, seleccionando en primer lugar el territorio (comarcas y dentro de las comarcas los municipios de más de 1.000 habitantes o agregaciones de municipios de menor tamaño), en segundo lugar el hogar y finalmente seleccionando los individuos a entrevistar estratificando según sexo y 5 grupos de edad (de 4 a 12 años, de 12 a 18, de 19 a 44, de 45 a 64 y de 65 años o más). La entrevista se responde personalmente, y en el caso de menores entre 4 y 12 años, la entrevista la responde una persona adulta que convive con ellos, seleccionada de manera aleatoria entre los componentes del hogar. Se entrevistan 106.091 personas (24.789 en sábado y festivo) de marzo a junio y de septiembre a diciembre de 2006. Con una confianza del 95% y bajo el supuesto de muestreo aleatorio simple y máxima indeterminación ($p=q=0,5$), el error máximo es: $\pm 0,31\%$ en día laborable y $\pm 0,64\%$ en sábado y festivo. La EMQ2006 tiene representación poblacional de los residentes en Cataluña. Se recoge información sobre la movilidad de las 95.644 personas que informaron haber realizado algún desplazamiento el día anterior a la entrevista. La encuesta recoge información sobre los desplazamientos realizados durante el día anterior a la entrevista. Pero, si la entrevista se realiza en lunes, se recoge la movilidad del viernes anterior, y en la misma entrevista, al 50%

de los entrevistados se les pregunta sobre su movilidad el sábado y al otro 50% sobre su movilidad en domingo.

La EMQ2006 proporciona información sobre los individuos, como el sexo, la edad, el nivel de estudios, etc. Y también proporciona información sobre sus desplazamientos, como el origen y destino de cada desplazamiento, hora de inicio, motivo, duración, medios de transporte usados, etc. Cada desplazamiento tiene un único origen y destino y puede estar formado por diferentes etapas, que se definen por cada medio de transporte usado. En los medios de transporte privados, además del vehículo se recoge la posición del individuo en el vehículo.

La EMQ2006 dispone de factores de elevación poblacional o pesos postestratificación (ponderación a posteriori) para conocer el número de individuos de la población que representa cada individuo entrevistado a efecto de poder disponer de los totales poblacionales. Este factor de elevación sirve para poder extrapolar los resultados de la encuesta al total de población de Cataluña. Como la representatividad de la encuesta es distinta para días laborables y para fin de semana, hay factores de elevación poblacional específicos para cada uno de los dos tipos de día.

5.3. Estimación de las personas-tiempo en desplazamiento

La medida de exposición que se usa para la estimación del riesgo de lesión por colisión de tráfico, es el tiempo total que invierten los residentes en Cataluña en sus desplazamientos por Cataluña, medida en horas y expresada como **personas-horas** en desplazamiento.

Esta medida se estima en base al número de personas que, al responder la EMQ2006, afirmaron haber realizado algún desplazamiento el día anterior al referido en la entrevista. De todos los desplazamientos de estos individuos, se seleccionan: para el segundo estudio, aquellos con origen y/o destino cualquier municipio de Cataluña; y para el tercer estudio, aquellos con origen y/o destino uno de los 10 municipios de Cataluña con más de 100.000 habitantes. A cada uno de estos desplazamientos se le aplica el factor de elevación poblacional del individuo al que corresponden. Como la EMQ2006 dispone de factores de elevación específicos para días laborables y fin de semana, los individuos a los que se les ha recogido desplazamientos en fin de semana, tendrán dos factores de elevación. Por tanto, a la hora de aplicar los factores a los desplazamientos se tendrán en cuenta si se ha realizado en un día laborable o en fin de semana, y aplicar el factor correspondiente.

Aplicando los pesos de levantamiento poblacional para escalar los datos a nivel poblacional, específicos para días laborables y para

días de fin de semana, se obtiene la estimación del número de residentes en Cataluña en desplazamiento en un día laborable y en un día de fin de semana, el número de desplazamientos que realizan y finalmente la estimación poblacional del número total de horas que invierten en sus desplazamientos (personas-horas en desplazamiento). Como la movilidad recogida en la encuesta hace referencia a un único día, para obtener la estimación anual, la estimación de las personas-horas en desplazamiento en un día laborable se multiplica por 245, el número de días laborables en 2006, y la estimación de las personas-horas en desplazamiento en un día de fin de semana se multiplica por 120. Un desplazamiento está definido por un origen y un destino y puede estar formado por varias etapas definidas por los distintos modos de transporte usados. Sin embargo, la EMQ2006 no recoge el tiempo invertido en cada modo de transporte sino el tiempo total del desplazamiento. Para estos desplazamientos multietápicos, que representan el 5% del total de desplazamientos, el tiempo total del desplazamiento se asigna al modo principal, que por orden es: autobús, turismo –como conductor–, motocicleta –como conductor–, turismo –como pasajero–, motocicleta –como pasajero–, bicicleta y caminando).

5.4. Estimación del riesgo de lesión por colisión de tráfico

Como estimación del riesgo de lesión por tráfico en Cataluña en el período 2004-2008 se usa la tasa anual de lesión o de colisión de tráfico según la movilidad de sus residentes, con personas-horas en desplazamiento como medida de exposición. La tasa anual de lesión o de colisión de tráfico se calcula usando como numerador el número de personas lesionadas o de colisiones de tráfico en Cataluña de 2004 a 2008 y como denominador la estimación del número de personas-horas en desplazamiento en 2006 multiplicado por 5, el número de años en el período de estudio.

La fórmula usada para el cálculo de la tasa de lesión es: *((número de personas lesionadas o de colisiones de tráfico de 2004 a 2008) / (((número de personas-horas en desplazamiento en un día laborable en 2006 x 245 días laborables que hubo en 2006) + (número de personas-horas en desplazamiento en un día de fin de semana en 2006 x 120 días de fin de semana en 2006)) x 5 años en el período 2004-2008)) x 10.000.000*

Se calcula la tasa de lesión por tráfico para distintos grupos según sexo, edad y modo de transporte, usando tanto en el numerador como en el denominador los números específicos para cada grupo. Por ejemplo, la fórmula de cálculo de la tasa de lesión para las mujeres peatonas de 4 a 11 años de edad sería: *((número de mujeres peatonas de 4-11 años lesionadas de 2004 a 2008) / (((número de*

personas-horas en desplazamiento a pie en mujeres de 4-11 años en un día laborable en 2006 x 245 días laborables que hubo en 2006) + (número de personas-horas en desplazamiento a pie en mujeres de 4-11 años en un día de fin de semana en 2006 x 120 días de fin de semana en 2006)) x 5 años en el período 2004-2008)) x 10.000.000

Además, se calcula la tasa de lesión por tráfico según sexo, edad, modo de transporte y gravedad, usando la misma fórmula anterior pero teniendo en cuenta la gravedad en el numerador.

Finalmente, se calcula la tasa de colisión de tráfico para conductores, según sexo, edad, modo de transporte, día y horario. Se usan las mismas fórmulas anteriores, pero en el numerador se incluyen los conductores implicados en colisiones en las que ha habido algún lesionado, haya resultado o no lesionado el conductor. Tanto en el numerador como en el denominador se usan los números específicos para cada grupo. Por ejemplo, la fórmula de cálculo de la tasa de colisión para hombres conductores de turismo en día laborable y horario nocturno sería: *(número de hombres conductores implicados en una colisión en día laborable y horario nocturno de 2004 a 2008) / ((número de personas-horas en desplazamiento en un día laborable como conductores de turismo en hombres en horario nocturno en 2006 x 245 días laborables que hubo en 2006) x 5 años en el período 2004-2008)) x 10.000.000*

En todos los casos la tasa se expresa como personas lesionadas o colisiones de tráfico por 10 millones de personas-horas en desplazamiento.

5.5. Variables y análisis estadístico

5.5.1. Estudio 1

Para realizar el primer estudio, comparación de medidas de exposición, se seleccionan las personas lesionadas por colisión de tráfico en días laborables (de lunes a viernes). Como medidas de exposición se usan: el número de habitantes, el número de vehículos registrados, el número de vehículos-Km recorridos en días laborables y el número de personas-horas en desplazamiento en días laborables, en Cataluña en 2006.

Variables

La **variable dependiente** es el número de personas mayores de 3 años lesionadas por colisión de tráfico en días laborables (de lunes a viernes) en Cataluña en 2006. Se incluyen tanto personas con lesiones leves, como graves (que requieren una estancia hospitalaria de más de 24 horas) y personas fallecidas (en el lugar del accidente, en el trayecto al centro hospitalario o en el hospital en las 24 horas posteriores al accidente).

Las **variables de exposición** usadas son, el número de personas-horas en desplazamiento en días laborables, el número de

habitantes, el número de vehículos registrados y el número de vehículos-Km recorridos en días laborables, en Cataluña en 2006.

Se usan como **variables de estratificación**: el sexo, el grupo de edad (4-11, 12-13, 14-17, 18-24, 25-34, 35-44, 45-54, 55-64, 65-74, ≥ 75), el modo de transporte (conductor turismo, pasajero turismo, usuario vehículo de dos ruedas a motor, de bicicleta, de autobús, peatón y otros -tren, metro, maquinaria agrícola, etc.-) y la provincia (Barcelona, Girona, Tarragona o Lleida).

Análisis

Se calcula la tasa de personas lesionadas por tráfico en día laborable por 100.000 habitantes y, la razón de personas lesionadas por tráfico en día laborable por 100.000 vehículos y por 1.000 millones de vehículos-km. Y se comparan con la tasa de personas lesionadas por tráfico en día laborable por 10 millones de personas-horas en desplazamiento.

La fórmula de cálculo de la tasa de personas lesionadas por tráfico en días laborables por 100.000 habitantes es: *((número de personas lesionadas de tráfico en días laborables en 2006) / (número de habitantes en 2006)) x 100.000*

La fórmula de cálculo de la razón de personas lesionadas por tráfico en días laborables por 100.000 vehículos es: *((número de personas lesionadas de tráfico en días laborables en 2006) / (número de vehículos registrados en 2006)) x 100.000*

La fórmula de cálculo de la razón de personas lesionadas por tráfico en días laborables por 1.000 millones de vehículos-km es: *((número de personas lesionadas de tráfico en días laborables en 2006) / (número de vehículos-Km recorridos en días laborables en 2006)) x 1.000.000.000*

Se estratifica cada indicador por sexo, edad, modo de transporte y provincia, según el máximo nivel de desagregación que permita la medida de exposición.

5.5.2. Estudio 2

El segundo artículo compara el riesgo de lesión por colisión de tráfico entre hombres y mujeres.

Variables

La **variable dependiente** es el número de personas mayores de 3 años lesionadas por colisión de tráfico en Cataluña entre 2004 y 2008. Se incluyen tanto personas con lesiones leves, como graves (que requieren una estancia hospitalaria de más de 24 horas) y personas fallecidas (en el lugar del accidente, en el trayecto al centro hospitalario o en el hospital en las 24 horas posteriores al accidente). La **variable de exposición** usada es la estimación del número de personas-horas en desplazamiento. Las **variables explicativas** usadas son: el sexo, el grupo de edad (4-11, 12-13, 14-17, 18-24, 25-34, 35-44, 45-54, 55-64, 65-74 y > 64 años), el modo de transporte (turismo –conductor–; motocicleta o ciclomotor –

conductor–conductor–; bicicleta; autobús; y a pie –peatón–) y la gravedad de las personas (con lesiones leves, graves o fallecidas).

Análisis

Se calcula la tasa anual de lesión por tráfico global y según gravedad, en Cataluña en el período 2004-2008, para hombres y mujeres, en función de la edad y del modo de transporte, así como su Intervalo de Confianza al 95% (IC95%) mediante la distribución de Poisson(48). Y se estima el Riesgo Relativo (RR) de lesión por tráfico global, leve, grave y mortal, en hombres respecto a mujeres, y su IC95%, mediante el ajuste de modelos de Regresión de Poisson, teniendo en cuenta la edad, como ajuste o como variable de estratificación. El análisis estadístico se ha realizado con el programa STATA v.11 (49).

5.5.3. Estudio 3

El tercer estudio pretende compara el riesgo de lesión por colisión de tráfico en ámbito urbano en horario diurno y en horario nocturno.

Variables

Las **variables dependientes** son tres: 1) el número de conductores de turismo y 2) el número de conductores de motocicleta o ciclomotor, involucrados en colisiones de tráfico con algún lesionado, haya sido o no lesionado el conductor, así como 3) el número de peatones lesionados por colisión de tráfico. La **variable de exposición** usada es la estimación del número de personas-horas

en desplazamiento. La **variable explicativa** es el horario (diurno, 07:00h-19:59h; nocturno, 20:00h-06:59h). Y las **variables de estratificación** son: sexo y día (laborable, del lunes a las 00:00h al viernes a las 19:59h; fin de semana, del viernes a las 20:00h al domingo a las 23:59h). La variable grupo de edad (4-11, 12-13, 14-17, 18-24, 25-34, 35-44, 45-54, 55-64, 64-74, or >74 años) se usa como **variable de ajuste**.

Análisis

Se calcula la tasa anual de colisión de tráfico en área urbana en Cataluña en el período 2004-2008, según sexo, edad, modo de transporte, día y horario, y su IC95% mediante la distribución de Poisson(48). Y se estima el Riesgo Relativo (RR) de lesión por tráfico en horario nocturno respecto a diurno, y su IC95%, mediante el ajuste de modelos de Regresión de Poisson, para cada variable dependiente, estratificando por sexo y día y ajustando por edad. El análisis estadístico se ha realizado con el programa STATA v.11 (49).

5.5.4. Estudio 4

El cuarto estudio estudia los factores asociados a las colisiones nocturnas en ámbito urbano.

Variables

Las **variables dependientes** son dos: 1) conductor involucrado en una colisión nocturna (si/no, donde no indica que el conductor se ha

visto involucrado en una colisión diurna); 2) peatones lesionados en una colisión nocturna (si/no, donde no indica que el peatón ha sido atropellado en horario diurno). El sexo y el día (laborable, fin de semana) se usan como **variables de estratificación**.

Como **variables explicativas** relacionadas con las **características** de los **conductores** se han usado: grupo de edad (14-17, 18-34, 35-64, or>64 años), gravedad (ileso, leve, grave, muerto), modo de transporte (turismo, motocicleta o ciclomotor, otros) y antigüedad de la licencia para conducir (0-2, 3-9, >9 años). Y relacionadas con las **características** de los **peatones**: grupo de edad (0-3, 4-17, 18-34, 35-64, or>64 años) y gravedad (leve, grave, muerto).

Como **variables explicativas** relacionadas con las **conductas de riesgo** de los **conductores**, según criterio policial, se han usado: consumo de alcohol o drogas (si/no); horas de conducción continuada (<1, 1-3, >3); uso del cinturón de seguridad o del casco (si/no); exceso de velocidad (si/no); número de ocupantes en el vehículo (1, sólo el conductor; 2; >2); falta de concentración (si/no); haber cometido alguna infracción (si/no); conducir sin licencia (si/no). Y relacionada con las **conductas de riesgo** de los **peatones** el consumo de alcohol o drogas (si/no) haber cometido alguna infracción (si/no).

Como **variables explicativas** relacionadas con las **características** y el **entorno** de la **colisión**, según criterio policial, se han usado: estado de la superficie (bueno, seca y limpia; malo, húmeda, helada, etc.); estado del tiempo (bueno; malo, como niebla, lluvia, nieve,

etc.); estado del tráfico (fluido; denso o congestionado); tipo de intersección (no intersección; intersecciones en forma de T o Y; intersecciones en forma de X o +; otras); regulación de la prioridad (no regulación; regulada mediante señal de stop; regulada mediante semáforo, señal de ceda el paso o paso de peatones; regulada mediante otras señales). Para los **peatones**, también se ha usado el vehículo causante del atropello (turismo, motocicleta, ciclomotor, otros).

Análisis

Se calcula la proporción de colisiones en horario nocturno tanto para los conductores como para los peatones, según sus características, sus conductas de riesgo y las características de la colisión y su entorno. Se estratifica por sexo y día. Y se estudian los factores asociados a las colisiones nocturnas, mediante modelos bivariados y multivariados de Regresión de Poisson Robusta, ajustando Modelos Lineales Generalizados con distribución de Poisson y usando la función log como enlace, para obtener Razons de Prevalencia y sus IC95% (50). El análisis estadístico se ha realizado con el programa STATA v.11 (49).

6. ARTÍCULOS

Objetivo 1 → **Artículo 1**: “Measures of exposure to road traffic injury risk”. **Publicado** en la revista científica **Injury Prevention** en febrero de 2013.

Objetivo 2 → **Artículo 2**: “Gender differences in road traffic injury rate using time travelled as a measure of exposure”. **Publicado** en la revista científica **Accident Analysis and Prevention**, en enero de 2014.

Objetivos 3 y 4 → **Artículo 3**: “Nighttime road traffic injury risk in an urban setting”. **En revisión** en la revista científica **Accident Analysis and Prevention**.

6.1. Artículo 1

Measures of exposure to road traffic injury risk

Elena Santamariña-Rubio, Katherine Pérez, Marta Olabarria, Ana Novoa

Publicado en la revista *Injury Prevention*

Santamariña-Rubio E, Pérez K, Olabarria M, Novoa AM.
[Measures of exposure to road traffic injury risk.](#) Inj Prev.
2013 Dec; 19(6):436-9.

6.2. Artículo 2

Gender differences in road traffic injury rate using travel time as a measure of exposure

Elena Santamariña-Rubio, Katherine Pérez, Marta Olabarria, Ana Novoa

Publicado en la revista *Accident Analysis and Prevention*

Santamariña-Rubio E, Pérez K, Olabarria M, Novoa AM.
[Gender differences in road traffic injury rate using time travelled as a measure of exposure.](#) *Accid Anal Prev.*
2014 Apr;65:1-7.

6.3. Artículo 3

Nighttime road traffic injury risk in an urban setting

**Elena Santamariña-Rubio, Katherine Pérez, Marta
Olabarria, Ana Novoa**

En revisión en la revista Accident Analysis and Prevention

Nighttime road traffic injury risk in an urban setting

Abstract

The objectives of this study are, 1) to estimate and compare drivers' and pedestrians' road traffic crash risk in urban areas at nighttime and during the day using the time travelled as the exposure measure, and 2) to study individual and crash related factors associated with urban nighttime traffic crashes in drivers and pedestrians on weekdays and at the weekend in Catalonia between 2004 and 2008. This is a cross-sectional study including all residents aged >3 years (first objective), or people involved in road traffic injury crashes (second objective), in 10 municipalities with more than 100,000 inhabitants. The information sources were the National Traffic Authority's Register of Accidents and Victims and the 2006 Daily Mobility Survey carried out by the Catalan regional government. First, the nighttime and daytime injury crash rate among car and motorcycle or moped drivers and pedestrians was calculated using the number of people involved in injury crashes as numerator and the person-hours travelled as the denominator, and Poisson regression models were fitted to compare nighttime and daytime risk. Second, individual and crash related factors associated with nighttime crashes in drivers and pedestrians were studied by fitting robust Poisson regression models to obtain prevalence ratios and their 95% confidence intervals. All analyses were stratified by sex and day. Urban injury crash risk is higher at night than during the day and the excess risk is higher at the weekend than on weekdays in all groups. Apart from certain individual risk behaviors, there are also crash environment-related factors associated with nighttime crashes among both drivers and pedestrians, such as poor surface conditions and certain types of intersection, depending on their shape and the regulation of priority. Identification of these factors has important implications for enforcement and for traffic environment design. Therefore, we recommended design interventions that involve modification of the built environment.

1. Introduction

Although street lighting has been observed to reduce the frequency of traffic crashes (Beyer, 2009), nighttime is still recognized as a risk factor for road traffic crashes and injuries. According to *The Handbook of Road Traffic Safety Measures* (2004), the rates of vehicle crash, pedestrian crash, and all types of crashes during darkness are 1.2, 2.1, and 1.5 times higher than in daylight (Elvik, 2004). A study, carried out in Greece in 2012, found that nighttime crashes in urban areas are 1.38 times more likely to be severe than those that occur during the day (Theofilatos, 2012). According to the World Health Organization, nighttime travel is one of the biggest risk factors for pedestrians (WHO, 2013).

In 1968, Haddon formulated the causal model of road traffic injuries, grouping injury risk factors into individual factors (sociodemographic characteristics, alcohol abuse, etc.), vehicle-related factors (type and condition of the vehicle, protective measures, etc.), and environment-related factors (infrastructures and environmental, including type and condition of the road, etc.; legislative and socioeconomic, including speed limits, etc.) (Haddon, 1999). This model highlights how many different factors may be involved in nighttime crashes. However, most studies have focused on factors related to the individual and their risk behavior, such as being male, young and a novice driver (Adams, 2005; Massie, 1997; Mayhew, 2003; Rice, 2003; Williams, 2003), fatigue and sleepiness (Connor, 2002; Corfitsen, 1994; Philip, 2001; Sandberg, 2011; Akerstedt, 2001a), teenage drivers carrying teenage passengers (Arnett, 2002; Chen, 2000; Clarke, 2005; Doherty, 1998; Parker, 1992), alcohol or drug abuse, speeding, failure to use restraint measures and weekend travel (Clarke, 2010; Keall, 2004; Kim, 2003; Philip, 2001). The effect of lack of road lighting is the only factor related to infrastructure and the environment that has been studied in some detail (Assum, 1999; Griswold, 2011; Owens, 2007; Sullivan, 2002). Studies centered on legislative and socio-economic factors have focused on the restriction of teenage novices driving at night without the presence of an adult and of the carriage of non-adult passengers (Adams, 2005; Chen, 2006; Lin, 2003).

Nighttime crash risk has not been explored in detail in urban areas, have been most explored in non-urban areas or on highways, or combining urban and non-urban areas. In urban areas, streets are lit by road lighting as well as that from shops, offices and other vehicles, and trips are shorter such that fatigue is a less important risk factor. Furthermore, in urban areas occur most pedestrian road traffic injuries. It has also been reported that most risk behaviors studied are more common at the weekend, which is also a factor associated with nighttime crashes (Doherty, 1998; Santamarina-Rubio, 2009; Zhao, 2009). However, nighttime traffic crash risk on weekdays and weekends have not been studied separately.

The higher risk of nighttime crashes has been widely studied, but few studies have used exposure measures based on individuals' mobility to estimate risk (Doherty, 1998; Keall, 2004; Keall, 2005; Massie, 1997). Many studies do not use any measure of exposure (Chen, 2006; Clarke, 2006; Kim, 2003; Parker, 1992), and many others used measures that were not based on individuals' mobility (Adams, 2005; Akerstedt, 2001b; Plainis, 2006; Rice, 2003; Williams, 2003).

This study attempts to answer several questions related to nighttime crashes in urban areas: 1) Is risk of traffic crashes in the urban setting greater at night than during the day both on weekdays and at the weekend?; 2) What are the main characteristics and risk behavior-related factors of drivers and pedestrians involved in nighttime crashes?; and 3) Adjusting for these factors, what are the crash environment-related factors associated with nighttime crashes?

Therefore, this study has two objectives: 1) To estimate and compare drivers' and pedestrians' road traffic crash risk in urban areas at night and during the day, both on weekdays and weekends, using travel time as the measure of exposure, in Catalonia between 2004 and 2008; 2) To study individual and crash environment related factors associated with urban nighttime traffic crashes among drivers and pedestrians, both on weekdays and at weekend.

2. Material and Methods

2.1. Objective 1: Nighttime road traffic crash risk in urban areas

2.1.1. Design and Study Population

A cross-sectional study was carried out using residents in the 10 municipalities of Catalonia with more than 100.000 inhabitants aged >3 years between 2004 and 2008 as the study population. Catalonia is a region located in Northeast Spain, with approximately 7 million inhabitants. The total population covered in this study was 3,071,670.

2.1.2. Information Sources

The National Traffic Authority's Register of Accidents and Victims provides information about people injured and drivers involved in traffic collisions in Spain. Injured pedestrians, and car, motorcycle and moped drivers involved in traffic crashes with at least one injured person (injury crash), in one of the selected municipalities of Catalonia during the study period were included in the study. Injuries include those resulting in death, as well as severe and slight injuries (according to police severity criteria, requiring admission to hospital for more than 24 hours).

The 2006 Catalan Daily Mobility Survey (EMQ2006) carried out by the Catalan regional government (Departament de Política Territorial i Obres Públiques de la Generalitat de Catalunya, and Autoritat del Transport Metropolità), provides information on the mobility of individuals aged >3 years in Catalonia in 2006. This survey employed a computer-assisted telephone interview (CATI) technique to interview a representative sample of the population of Catalonia. Data were collected using multistage stratified sampling covering the whole of Catalonia, firstly selecting territory (counties and towns of over 50,000 inhabitants), and then selecting the individuals to be interviewed, applying quotas for age and sex. The survey collects information about participants and the trips they made during the day before the interview. When the interview took place on Monday, information was collected referring to the previous Friday, and in the same interview, 50% of participants were also asked about their mobility on

the previous Saturday, and 50% about their mobility on the previous Sunday. Data on the day, reason, origin, destination, starting time and duration were collected for each trip. Mobility data were collected for 95,644 individuals who made some trip the day before the interview, with a total of 400,829 reported trips. Trips with origin or destination in one of the municipalities included in the study were selected (Institut d'Estudis Regionals i Metropolitans de Barcelona, 2008).

2.1.3. Variables

Three dependent variables were considered: 1) the number of car drivers; 2) the number of motorcycle or moped drivers, involved in injury crashes, injured or uninjured; and 3) the number of pedestrians injured in traffic crashes.

The explanatory variable was time (daytime, 07:00h-19:59h; nighttime, 20:00h-06:59h). The stratification variables were sex and day (weekday, from Monday at 00:00h to Friday at 19:59h; weekend, from Friday at 20:00h to Sunday at 23:59h). Age group (4-11, 12-13, 14-17, 18-24, 25-34, 35-44, 45-54, 55-64, 64-74, or >74 years) was used as an adjustment variable.

The exposure variable was the total time people spent walking or driving a car, motorcycle or moped, measured in hours (i.e. person-hours travelled). This variable was estimated based on the 128,449 trips selected, after applying post-stratification weights specific for weekdays and for weekends, to scale the data to population level. We obtained a population estimate for the number of residents of Catalonia who travelled in the selected urban areas per weekday or weekend-day, the number of trips they made, and finally a population estimate for the total hours spent travelling (person-hours travelled). Since mobility refers to a single day, we obtained an annual estimation by multiplying the time spent travelling on working days by 245, the number of working days in 2006, and the time spent travelling at weekends by 120. A trip is uniquely defined by its origin and destination, and may consist of several stages characterized by the different modes of transport. For such multi-stage trips, the total trip time was assigned to

the main mode of transport (in the following order: bus, car-driver, motorcycle-driver, car-passenger, motorcycle- pillion passenger, bicycle, walking trip).

2.1.4 Statistical Analysis

In order to estimate road traffic crash risk in urban areas of Catalonia between 2004 and 2008, the annual road traffic crash rate was calculated using the number of drivers involved in injury crashes or pedestrians injured during this period as the numerator, and the estimate of person-hours travelled in 2006 multiplied by the length of the study period in years (5) as the denominator. Sex- and sex/age- specific rates were stratified by time and day, for car drivers, motorcycle or moped drivers, and pedestrians involved in injury crashes. For example, the formula used for calculating the pedestrians' nighttime injury rate at weekdays was:

$$\frac{\text{((number of pedestrians injured in the period 2004-2008))}}{\text{((number of person-hours walking on a weekday in 2006 x 245 weekdays in 2006) x 5 years in the period 2004-2008))}} \times 10,000,000$$

This rate was expressed as the number of pedestrians injured per 10 million person-hours of walking.

The 95% Confidence Interval (95%CI) of the rate was calculated using the Poisson distribution (Szczlo and Nieto, 2003). Rates for groups with less than 10 people injured are not reported.

In order to compare the nighttime and daytime crash rates, the Relative Risk (RR) of suffering a road traffic crash, and its 95%CI, were estimated by fitting Poisson Regression models. A model was fit for each of the three dependent variables, using the number of person-hours travelled as the exposure variable, the time as explanatory variable, with adjustment for age, and stratifying by day and sex. Statistical analyses were carried out using STATA v.11 (Stata Corporation, 2009).

2.2. Objective 2: Factors associated to nighttime traffic crashes in urban areas

2.2.1. Design and Study Population

A cross-section study was carried out using people involved in road traffic injury crashes in the 10 municipalities with more than 100.000 inhabitants of Catalonia between 2004 and 2008 as the study population.

2.2.2. Information Sources

The information source used was The National Traffic Authority's Register of Accidents and Victims. Injured pedestrians, and drivers involved in injury traffic crashes in one of the selected municipalities of Catalonia during the study period were included in the study.

2.2.3. Variables

Two dependent variables were considered: 1) driver involved in a nighttime traffic crash (yes/no, where no indicates that the driver was involved in a daytime traffic crash); 2) pedestrian injured in a nighttime traffic crash (yes/no, where no indicates that the driver was involved in a daytime traffic crash). The stratification variables used were sex and day (weekday and weekend).

The explanatory variables related to drivers' characteristics were: age group (14-17, 18-34, 35-64, or >64 years), severity (uninjured, slight, severe, or fatal), road user type (car driver, motorcycle or moped driver, other), and the length of time the subject had held a driving license (0-2, 3-9, >9 years). The explanatory variables related to pedestrians' characteristics were age group (0-3, 4-17, 18-34, 35-64, or >64 years) and severity (slight, severe or fatal). The explanatory variables related to driver risk behavior according to the police report were: alcohol or drug use (yes/no); number of hours of continuous driving (<1, 1-3, >3); seatbelt or helmet use (yes/no); driving without a license (yes/no); speeding (yes/no); number of occupants in the vehicle (1, the driver; 2; >2); lack of concentration (yes/no); traffic violation (yes/no); driving

without a license (yes/no). The explanatory variable related to pedestrian risk behavior was whether they had committed a traffic violation (yes/no).

The explanatory variables related to the crash and its environment, according to the police report were: surface conditions (good, i.e. dry and clean; bad, i.e. wet, icy, etc.); weather (good; bad, i.e. fog, rain, snow, etc.); traffic conditions (fluid; congested); type of intersection (no intersection; three-legs intersection, i.e. T or Y shaped; four-legs intersection, i.e. X or + shaped; others); priority regulation (no regulation; stop sign; traffic lights, give way sign or pedestrian crossing; another sign). For pedestrians, the vehicle involved was also considered (car, motorcycle, moped, others).

2.2.4. Statistical Analysis

The proportion of nighttime crashes was calculated for drivers involved in injury crashes and for injured pedestrians according their characteristics, risk behaviors and crash characteristics. This proportion was also calculated separately for men, women, weekdays and weekends. Factors associated with nighttime crashes were studied using bivariate and multivariate robust Poisson regression, fitting generalized linear models (GLM) with a Poisson distribution and a log link in order to obtain Prevalence Ratios (PR) and their 95%CI (Barros, 2003).

3. Results

In Catalonia, 61,927 traffic injury crashes occurred between 2004 and 2008 in the urban areas defined, and a total of 1,572 million hours were travelled by residents in 2006. Therefore, the annual urban crash rate during the study period is estimated to be 78.8 crashes per 10 million person-hours travelled. According to severity, 0.5% of crashes were fatal (≥ 1 fatality) and 6.4% were severe. Moreover, 86,930 men and 21,980 women were involved as drivers (sex was not recorded for 3.7% of subjects), 90% of whom were injured. Of the drivers involved, 48.7% of men and 53.9% of women were driving a car, 20.5% and 16.1% a motorcycle, and 15.2% and

24.9% a moped, respectively. Of the total crashes, 16.4% involved pedestrians, causing injury to 5,394 men and 5,949 women (sex was not recorded for 63 cases).

3.1. Nighttime road traffic crash risk in urban areas (first objective)

Daily mobility was always higher during the daytime than at night, but traffic crash risk was always higher in nighttime. Crash risk was significantly higher at night than during the day (nighttime excess risk) even after adjustment for age, in all groups except female motorcycle or moped drivers on weekdays. In all groups, nighttime excess risk was significantly higher at the weekend than on weekdays. Despite having lower injury crash risk than drivers, pedestrians have a higher nighttime excess risk (higher RR), both on weekdays and at the weekend. At the weekend, male and female pedestrians have almost 4 and 3 times higher risk than drivers, respectively (Table 1).

3.2. Factors associated to nighttime traffic crashes in urban areas (second objective)

3.2.1. Proportion of urban nighttime crashes among drivers and pedestrians according to their characteristics

The proportion of urban nighttime crashes in Catalonia between 2004 and 2008 was higher at weekend than on weekdays: 49.8% and 20.3% (PR= 2.45, 95% CI = [2.40-2.50]) among male drivers, respectively; 47.8% and 17.3% (PR= 2.76 [2.64-2.89]) among female drivers; 48.5% and 17.6% (PR= 2.76 [2.53-3.01]) among male pedestrians; and 41.3% and 13.8% (PR= 3.00 [2.72-3.31]) among female pedestrians.

Table 2 shows the percentage of urban nighttime crashes according to the driver's and pedestrian's characteristics, both in men and women, and on weekdays and at weekend. For all groups, the percentage of nighttime crashes among drivers increased with age and severity, and decreased with the age of the driving license. Among men, car drivers had a significantly higher percentage of nighttime crashes on weekdays than other drivers, while on weekend motorcycle

or moped drivers had the highest percentage. Among women, differences were only observed at weekend, in that motorcycle or moped drivers had a significantly higher percentage of nighttime crashes than the other drivers. Among male and female pedestrians, 18- to 34-year-olds had the highest proportion of nighttime crashes and over 64-year-olds had the lowest proportion on both weekdays and at weekend. Regarding injury severity among pedestrians, severe or fatal injuries, but not slight injuries, were more likely to occur at night, but this difference was only significant among women on weekdays. (Table 2)

3.2.2. Individual- and crash environment-related factors associated with urban nighttime crashes among drivers

Table 3 shows driver risk behavior- and crash environment-related factors associated with urban nighttime crashes, with adjustment for age, severity, type of user and years of driving license.

Among men, alcohol or drugs use, failure to use seat belt or helmet, speeding and carrying passengers was associated with nighttime crashes both on weekdays and at weekend. Driving for more than 3 hours was also associated with nighttime crashes on weekdays. Among women, alcohol or drugs use both on weekdays and at weekend, and carrying passengers on weekdays, was associated with nighttime crashes. (Table 3) Lack of concentration, driver violation and driving without a license were not associated with nighttime crashes.

There are also crash environment-related factors associated with nighttime crashes. Among men, nighttime crashes were more common in bad surface conditions both on weekdays and at weekend, and at three- or four-legs intersections at weekend. Smooth traffic flow and lack of priority regulation were also associated with nighttime crashes on weekdays only. Among women, nighttime crashes were more common in bad surface conditions, smooth traffic flow, and three- or four-legs intersections on weekdays; only bad surface conditions were associated with crash risk at weekend. It is noteworthy that in all groups studied the intersections with the highest proportion of nighttime collisions were four-legs intersections. (Table 3)

3.2.2. Individual and crash-related factors associated with urban nighttime crashes among pedestrians

Table 4 shows the factors related to the risk behaviors of the pedestrians and characteristics and environment of the crash that were associated with urban nighttime pedestrian crashes, with adjustment for age and severity. These factors were: in men, both on weekdays and at weekend, alcohol or drugs use, moped involvement (except in men at weekdays), and bad surface conditions; in women on weekdays, moped involvement, bad surface conditions, and three-legs intersections and other intersections (roundabouts and others) compared to non-intersections; and in women at weekend, moped involvement, bad surface conditions, and signaled priority regulation (stop sign, traffic lights, yield sign, pedestrian crossing, etc.) compared to non-signaled (normative traffic regulation only) (Table 4). Pedestrian traffic violation was not associated with nighttime crashes.

4. Discussion

4.1. Main findings

First, this study demonstrates that in urban areas, using people's mobility as the measure of exposure in terms of time spent travelling: the risk of traffic crashes is greater at night than during the day in both men and women, pedestrians and drivers, and both on weekdays and at weekend (except for motorcycle or moped drivers on weekdays); and nighttime excess risk was always greater at weekend than on weekdays. And second, this study shows that for both drivers and pedestrians, apart from certain individual characteristics and risk behaviors, factors related to the characteristics and the environment of the collision are also associated with nighttime crashes, such as bad surface conditions due to adverse weather, and certain types of intersections depending on their layout and priority regulation.

4.2. Limitations

The quality of the information provided by the National Traffic Authority's Register of Accidents and Victims has improved in recent years, although there is still a certain degree of under-reporting of less severe crashes and of those that did not involve a motor vehicle (cyclist and pedestrian crashes), particularly in urban settings. Therefore, there could be some reporting bias, which may result in underestimation of crash risk. Similarly, over-estimation of crash risk could also occur. The time spent in each trip is self-reported by the interviewee, and may therefore be subject to memory bias, with a tendency to underreport shorter trips, such as walking trips to make connections between different modes of transport. Nonetheless, it must be stressed that the mobility survey includes information about walking trips of less than 5 minutes.

Another limitation is the proportion of missing values for some variables related to the crash environment and driver and pedestrian risk behavior. Similarly, most environmental variables collected by the register refer to non-urban settings. Therefore there is a lack of information about the characteristics of the urban environment, such as road type (arterial road, beltway, city street, etc.), or street furnishings, bus lanes, bicycle lanes, etc. This fact limits the study of factors associated with nighttime crashes, especially among pedestrians.

Despite its completeness, the EMQ2006 does not collect data on the time spent using each mode of transport in multi-mode trips, for which total trip time is assigned to the main mode of transport. However, multi-mode trips only represent about 5% of all trips undertaken in Catalonia in 2006.

4.3. Strengths

The main strength of this study is that it estimates road traffic crash rates using people's mobility, in terms of time spent travelling, as the measure of exposure in a representative population sample. The EMQ2006 survey provides specific post-stratification weights for working days and weekends, and uses the individual as the unit of analysis, and not the

household, as in most mobility surveys. Thus, it has been possible to estimate the time people spend travelling, in terms of both individual and trip characteristics, and hence to calculate a population representative estimate of urban road traffic injury risk stratified by sex and mode of transport, including walking, and specifically by time (day, night) and day (weekdays, weekend).

4.3. Comparison with other studies

4.3.1. Nighttime road traffic crash risk in urban areas

Among drivers, traffic crash risk at night is 1.1 to 2 times higher than during the day, and 2 to 4 times higher among pedestrians in our study. Other studies have found that nighttime risk is 2 to 4 times higher than daytime among drivers, and from 3 to 7 times higher among pedestrians, 2002; Williams, 2003). Our results support the existence of nighttime excess risk and a greater excess in pedestrian than drivers. However, our estimated excess risks are slightly lower because we estimated crash risk for all injury severities and with adjustment for age, while most previous studies estimated fatal crash risk without age adjustment. Moreover, most previous studies included highways, and it is known that death rate in highways crashes is higher than for urban crashes (Khorashadi, 2005; Lee, 2002; Theofilatos, 2012).

4.3.2. Individual- and crash-related factors associated with urban nighttime traffic crashes among drivers

Our results highlight some driver characteristics, such as youth, greater severity and lower driving experience, that are associated with nighttime crashes, independently of the vehicle driven. It has been reported that nighttime crash risk is especially high among teenage drivers, for novice compared to experienced drivers (Adams, 2005; Massie, 1997; Mayhew, 2003; Williams, 2003), and that severe crashes more frequently occur at night (Chen, 2006; Clarke, 2006; Doherty, 1998; Plainis, 2006; Rice, 2003). However, higher nighttime than daytime crash risk has also been observed in adulthood (Williams, 2003), which is consistent with our results.

Moreover, our results highlight driver risk behaviors associated with nighttime crashes in urban areas, such as alcohol or drugs use, speeding, carrying passengers, driving without a license, failure to use a seat belt or helmet, etc. Although these risk behaviors have been widely reported (Chen, 2000; Clarke, 2006; Clarke, 2010; Connor, 2002; Keall, 2005; Philip, 2001; Williams, 2003), they have mainly been studied in non-urban settings, or in mixed urban and non-urban datasets. Our results confirm that these risk behaviors are also observed in urban areas, and are associated with nighttime crashes both on weekdays and at weekends, although the excess nighttime risk is even higher at the weekend than on weekdays. This may be due to the fact that these risk behaviors are more common at the weekend (Doherty, 1998; Santamarina-Rubio, 2009; Zhao, 2009).

After adjusting for all individual factors, our results highlight factors related to the crash environment, such as bad surface conditions, smooth traffic flow and intersections, are also associated with nighttime crashes. Previous studies have found that adverse weather conditions and the resulting change in the road surface contribute to the frequency and severity of traffic crashes (Elvik, 2004). Drivers' ability to recognize deterioration in the road surface, and to react to it, decreases as a result of several factors, including reduced visibility, such as at night (Morgan, 2011). Moreover, our results reveal that smooth traffic flow is associated with nighttime crashes on weekdays, which could be due to the higher speeds associated with smooth flow at nighttime, compared to those in congested daytime traffic (Plainis, 2006).

We have also observed driver nighttime crashes occur more often at intersections, particularly four-legs intersections in almost all studied groups. These results are consistent with those of previous studies that describe intersections as points with high traffic crash risk for drivers, especially in urban areas (Al-Ghamdi, 2003; Alexander, 2002; Elvik, 2004). Driving through an intersection requires correct detection, identification and evaluation of a large number of visual stimuli, such as street furnishings, traffic signs, pedestrians, etc. According to *The Handbook of Road Safety Measures* (Elvik, 2004) and a review of empirical evidence conducted in 2009 (Ewing, 2009), crash rate is higher at intersections joining four or more roads than at three-legs

intersections because they generate a greater number of conflict points (Dumbaugh, 2009). This is especially important at night, when the speed is higher than during the day (Akerstedt, 2001b; Clarke, 2006; Keall, 2004), and artificial lighting can slow visual processing, lengthen reaction times, and cause drivers to underestimate the speed of other vehicles (Ewing, 2009; Keall, 2005; Plainis, 2006).

4.3.3. Individual and crash-related factors associated with urban nighttime traffic crashes among pedestrians

In both sexes and on weekdays and at weekend, 18- to 34-year-olds and over 64-year-olds have the greatest and least risk of being involved in nighttime crashes as pedestrians, respectively. Several authors suggest that riskier walking behaviors, walking faster and lower risk perception at intersections may explain the excess risk among young adult pedestrians, especially males (Dunbar, 2004; Holland, 2007; Keall, 1995). These factors may have a greater impact at night due to the added difficulty for drivers in seeing pedestrians in time to take action. In addition, several authors have described how alcohol abuse is associated with pedestrian crashes at night and on weekend, especially in young and adult men (Moudon, 2011; Ostrom, 2001). In terms of severity, serious crashes involving pedestrian always account for a greater proportion of nighttime crashes, which could be related to the greater speed of vehicles at night than in daytime (Ewing, 2009).

Regarding crash characteristics and environment, poor surface conditions resulting from adverse weather were also associated with nighttime pedestrian crashes in all groups, independently of the vehicle involved. Artificial lighting in urban areas at night decreases drivers' ability to detect low-contrast obstacles such as pedestrians, and therefore the detection/reaction time increases, and stopping time if surface conditions are poor (Griswold, 2011; Tyrrell, 2004). Approximately half of nighttime pedestrian crashes occurred at an intersection, although intersections are not a risk factor for nighttime pedestrian crashes among men. This suggests that the design of intersections does not protect or expose men to nighttime pedestrian crashes.

Similarly, it has been found that although a high percentage of traffic violations occur at intersections, these do not expose pedestrians to more severe crashes (Moudon, 2011; Rothman, 2012).

The proportion of nighttime crashes involving female pedestrians was higher at three-legs intersections on weekdays, while at the weekend it was higher at signaled crossing points (traffic lights, crosswalks, etc.). These two results are closely related if we consider the fact that 86% of nighttime pedestrian crashes at three-legs intersections on weekdays occurred at intersections with signaled crossing. Several authors have reported that pedestrians tend to cross the street when it suits them, thus prioritizing time saving instead of thinking about the potential risks of their behavior, such as anticipate red lights and cross to switch to amber (Sisiopiku, 2003; Yagil, 2000). Although men commit crossing violations more frequently than women, women are more affected by their social environment, such as the presence of other pedestrians and their behavior (Yagil, 2000). These results suggest that at night, when there are fewer pedestrians and greater risk behaviors, women may be more likely to commit crossing violations than during the day. This could explain the association between nighttime pedestrian crashes and signaled crossing points in women but not in men.

5. Conclusions and recommendations

Our results show that in urban areas both drivers and pedestrians have excess crash risk at night compared to during the day, and that excess risk is higher at the weekend than on weekdays. We have also been able to identify factors related to the collision environment that are associated with nighttime crashes independently of individual characteristics and risk behaviors. Our results show that night driving risk is not just due to voluntary risk-taking behaviors among young drivers involved in 'recreational' driving. Rather, decreased visibility in urban areas at night can hinder recognition of poor surface conditions due to adverse weather and of risk situations at intersections, especially four-legs intersections with a higher number of conflict points. Intersections are not particularly dangerous for both male and female pedestrians at

night. Signaled crossing points are however particularly dangerous areas for female pedestrians at night.

Identification of these factors has important implications for enforcement and design of the traffic environment. Interventions should be designed to alert drivers of the surface conditions, such as lower speed limits or electronic warning signs during wet conditions. Moreover, given the high number of intersections in urban areas and their association with nighttime crashes in drivers, they should incorporate designs of proven effectiveness in reducing both conflict points and crash occurrence. Traffic calming to reduce the speed of vehicles at night, either globally or at specific conflict points, could also be useful. In addition, other measures against common risk behaviors at night, such as alcohol or drugs use, should be enforced both on weekdays and at weekend. In relation to pedestrians, measures could be designed to improve pedestrians' visibility to vehicles and to discourage pedestrians from improperly crossing the road. Driver and pedestrian education is a popular approach, but there is a lack of evidence of their effectiveness. The most effective interventions are those related to vehicle design and infrastructure. Legislative and regulatory measures are also effective, but less so (Novoa, 2009). Therefore, it is recommendable to design interventions that involve modification of built environment (Cho, 2009; Grundy, 2009) and not only measures that depend on individuals' knowledge and on changes in their behavior (Novoa, 2009).

References

- Adams, C., 2005. Probationary and non-probationary drivers' nighttime crashes in Western Australia, 1996-2000, *J Safety Res* 36 (1), 33-37.
- Akerstedt, T., Kecklund, G., 2001a. Age, gender and early morning highway accidents, *J Sleep Res* 10 (2), 105-110.
- Akerstedt, T., Kecklund, G., Horte, L.G., 2001b. Night driving, season, and the risk of highway accidents, *Sleep* 24 (4), 401-406.
- Alexander, J., Barham, P., Black, I., 2002. Factors influencing the probability of an incident at a junction: results from an interactive driving simulator, *Accid Anal Prev* 34 (6), 779-792.
- Al-Ghamdi, A.S., 2003. Analysis of traffic accidents at urban intersections in Riyadh, *Accid Anal Prev* 35 (5), 717-724.
- Arnett, J.J., 2002. Developmental sources of crash risk in young drivers, *Inj Prev* 8 Suppl 2, ii17-21; discussion ii21-3.
- Assum, T., Bjornskau, T., Fosser, S., Sagberg, F., 1999. Risk compensation--the case of road lighting, *Accid Anal Prev* 31 (5), 545-553.
- Barros, A.J., Hirakata, V.N., 2003. Alternatives for logistic regression in cross-sectional studies: an empirical comparison of models that directly estimate the prevalence ratio, *BMC Med Res Methodol* 3, 21.
- Beyer, F.R., Ker, K., 2009. Street lighting for preventing road traffic injuries, *Cochrane Database Syst Rev* (1):CD004728. doi (1), CD004728.
- Chen, I.G., Durbin, D.R., Elliott, M.R., Senserrick, T., Winston, F.K., 2006. Child passenger injury risk in motor vehicle crashes: a comparison of nighttime and daytime driving by teenage and adult drivers, *J Safety Res* 37 (3), 299-306.
- Chen, L.H., Baker, S.P., Braver, E.R., Li, G., 2000. Carrying passengers as a risk factor for crashes fatal to 16- and 17-year-old drivers. *JAMA* 283 (12), 1578-1582.
- Cho, G., Rodriguez, D.A., Khattak, A.J., 2009. The role of the built environment in explaining relationships between perceived and actual pedestrian and bicyclist safety, *Accid Anal Prev* 41 (4), 692-702.
- Clarke, D.D., Ward, P., Bartle, C., Truman, W., 2010. Killer crashes: fatal road traffic accidents in the UK. *Accid Anal Prev* 42 (2), 764-770.
- Clarke, D.D., Ward, P., Bartle, C., Truman, W., 2006. Young driver accidents in the UK: the influence of age, experience, and time of day. *Accid Anal Prev* 38 (5), 871-878.
- Clarke, D.D., Ward, P., Truman, W., 2005. Voluntary risk taking and skill deficits in young driver accidents in the UK. *Accid Anal Prev* 37 (3), 523-529.

- Connor, J., Norton, R., Ameratunga, S., Robinson, E., Civil, I., Dunn, R., Bailey, J., Jackson, R., 2002. Driver sleepiness and risk of serious injury to car occupants: population based case control study. *BMJ* 324 (7346), 1125.
- Corffitsen, M.T., 1994. Tiredness and visual reaction time among young male nighttime drivers: a roadside survey, *Accid Anal Prev* 26 (5), 617-624.
- Doherty, S.T., Andrey, J.C., MacGregor, C., 1998. The situational risks of young drivers: the influence of passengers, time of day and day of week on accident rates, *Accid Anal Prev* 30 (1), 45-52.
- Dumbaugh E., R.R., 2009. Safe Urban Form: revising the relationship between community design and traffic safety, *Journal of the American Planning Association* 75 (3), 309.
- Dunbar G, Holland CA, Maylor EA., 2004. Older pedestrians: A critical review of the literature. *Road Safety Research Report* 37.
- Elvik R, V.T., 2004. *The Handbook of Road Safety Measures*. Elsevier, The Netherlands.
- Ewing R., D.E., 2009. The built environment and traffic safety: a review of empirical evidence, *Journal of Planning Literature* 23, 347.
- Griswold, J., Fishbain, B., Washington, S., Ragland, D.R., 2011. Visual assessment of pedestrian crashes, *Accid Anal Prev* 43 (1), 301-306.
- Grundy, C., Steinbach, R., Edwards, P., Green, J., Armstrong, B., Wilkinson, P., 2009. Effect of 20 mph traffic speed zones on road injuries in London, 1986-2006: controlled interrupted time series analysis, *BMJ* 339, b4469.
- Haddon, W., Jr, 1999. The changing approach to the epidemiology, prevention, and amelioration of trauma: the transition to approaches etiologically rather than descriptively based. 1968, *Inj Prev* 5 (3), 231-235.
- Holland, C., Hill, R., 2007. The effect of age, gender and driver status on pedestrians' intentions to cross the road in risky situations. *Accid Anal Prev* 39 (2), 224-237.
- Institut d'Estudis Regionals i Metropolitans de Barcelona, 2008. Aspectos metodol6gicos de la EMQ2006. .
- Keall, M.D., 1995. Pedestrian exposure to risk of road accident in New Zealand. *Accid Anal Prev* 27 (5), 729-740.
- Keall, M.D., Frith, W.J., 2004. Older driver crash rates in relation to type and quantity of travel. *Traffic Inj Prev* 5 (1), 26-36.
- Keall, M.D., Frith, W.J., Patterson, T.L., 2005. The contribution of alcohol to night time crash risk and other risks of night driving, *Accid Anal Prev* 37 (5), 816-824.
- Khorashadi, A., Niemeier, D., Shankar, V., Mannering, F., 2005. Differences in rural and urban driver-injury severities in accidents involving large-trucks: an exploratory analysis, *Accid Anal Prev* 37 (5), 910-921.

Kim, S., Kim, K., 2003. Personal, temporal and spatial characteristics of seriously injured crash-involved seat belt non-users in Hawaii, *Accid Anal Prev* 35 (1), 121-130.

Lee, J., Mannering, F., 2002. Impact of roadside features on the frequency and severity of run-off-roadway accidents: an empirical analysis, *Accid Anal Prev* 34 (2), 149-161.

Lin, M.L., Fearn, K.T., 2003. The provisional license: nighttime and passenger restrictions--a literature review, *J Safety Res* 34 (1), 51-61.

Massie, D.L., Green, P.E., Campbell, K.L., 1997. Crash involvement rates by driver gender and the role of average annual mileage. *Accid Anal Prev* 29 (5), 675-685.

Mayhew, D.R., Simpson, H.M., Pak, A., 2003. Changes in collision rates among novice drivers during the first months of driving, *Accid Anal Prev* 35 (5), 683-691.

Morgan, A., Mannering, F.L., 2011. The effects of road-surface conditions, age, and gender on driver-injury severities, *Accid Anal Prev* 43 (5), 1852-1863.

Moudon, A.V., Lin, L., Jiao, J., Hurvitz, P., Reeves, P., 2011. The risk of pedestrian injury and fatality in collisions with motor vehicles, a social ecological study of state routes and city streets in King County, Washington, *Accid Anal Prev* 43 (1), 11-24.

Novoa, A.M., Perez, K., Borrell, C., 2009. Evidence-based effectiveness of road safety interventions: a literature review, *Gac Sanit* 23 (6), 553.e1-553.14.

Ostrom, M., Eriksson, A., 2001. Pedestrian fatalities and alcohol, *Accid Anal Prev* 33 (2), 173-180.

Owens, D.A., Wood, J.M., Owens, J.M., 2007. Effects of age and illumination on night driving: a road test, *Hum Factors* 49 (6), 1115-1131.

Parker, D., Manstead, A.S., Stradling, S.G., Reason, J.T., 1992. Determinants of intention to commit driving violations, *Accid Anal Prev* 24 (2), 117-131.

Philip, P., Vervialle, F., Le Breton, P., Taillard, J., Horne, J.A., 2001. Fatigue, alcohol, and serious road crashes in France: factorial study of national data. *BMJ* 322 (7290), 829-830.

Plainis, S., Murray, I.J., Pallikaris, I.G., 2006. Road traffic casualties: understanding the nighttime death toll, *Inj Prev* 12 (2), 125-128.

Rice, T.M., Peek-Asa, C., Kraus, J.F., 2003. Nighttime driving, passenger transport, and injury crash rates of young drivers, *Inj Prev* 9 (3), 245-250.

Rothman, L., Howard, A.W., Camden, A., Macarthur, C., 2012. Pedestrian crossing location influences injury severity in urban areas, *Inj Prev* 18 (6), 365-370.

Sandberg, D., Anund, A., Fors, C., Kecklund, G., Karlsson, J.G., Wahde, M., Akerstedt, T., 2011. The characteristics of sleepiness during real driving at night--a study of driving performance, physiology and subjective experience, *Sleep* 34 (10), 1317-1325.

Santamarina-Rubio, E., Perez, K., Ricart, I., Rodriguez-Sanz, M., Rodriguez-Martos, A., Brugal, M.T., Borrell, C., Ariza, C., Diez, E., Beneyto, V.M., Nebot, M., Ramos, P., Suelves,

J.M., 2009. Substance use among road traffic casualties admitted to emergency departments. *Inj Prev* 15 (2), 87-94.

Sisiopiku V.P., A.D., 2003. Pedestrian behaviours at and perceptions towards various pedestrian facilities: an examination based on observational and survey data, *Transportation Research Part F* 6, 249-274.

Stata Corporation, 2009. *Stata Statistical Software: Release 11*. College Station, TX: StataCorp LP. .

Sullivan, J.M., Flanagan, M.J., 2002. The role of ambient light level in fatal crashes: inferences from daylight saving time transitions, *Accid Anal Prev* 34 (4), 487-498.

Szclo, M., Nieto, J., 2003. *Epidemiology: Beyond the Basics*. Jones and Bartlett Publishers, Sudbury, Massachusetts.

Theofilatos, A., Graham, D., Yannis, G., 2012. Factors affecting accident severity inside and outside urban areas in Greece, *Traffic Inj Prev* 13 (5), 458-467.

Tyrrell, R.A., Patton, C.W., Brooks, J.O., 2004. Educational interventions successfully reduce pedestrians' overestimates of their own nighttime visibility, *Hum Factors* 46 (1), 170-182.

Williams, A.F., 2003. Teenage drivers: patterns of risk. *J Safety Res* 34 (1), 5-15.

World Health Organization, WHO, 2013. *Pedestrian safety: a road safety manual for decision-makers and practitioners*, .

Yagil D., 2000. Beliefs, motives and situational factors related to pedestrians' self reported behaviour at signal-controlled crossings, *Transportation Research Part F* 3, 1-13.

Zhao, X.G., He, X.D., Wu, J.S., Zhao, G.F., Ma, Y.F., Zhang, M., Gan, J.X., Xu, S.W., Jiang, G.Y., 2009. Risk factors for urban road traffic injuries in Hangzhou, China, *Arch Orthop Trauma Surg* 129 (4), 507-513.

Table 1. Number of people-hours travelled (2006), number of car drivers, motorcycle or moped drivers and pedestrians involved in road traffic injury crashes and annualized road traffic injury crash rate (2004-2008), by sex, day and time. Catalonia, municipalities with more than 100,000 inhabitants, 2004-2008.

	Men						Women					
	Person-hours travelled			Road traffic injury crashes			Person-hours travelled			Road traffic injury crashes		
	Thousands	N	Rate	RR [95%CI]	Thousands	N	Rate	RR [95%CI]	Thousands	N	Rate	RR [95%CI]
Car drivers	Weekdays											
	Daytime	579.75	23166	326.19	1	259.74	7618	239.42	1			
	Nighttime	142.67	6870	393.09	1.16 [1.13-1.19]	44.67	1590	290.56	1.17 [1.10-1.23]			
	Weekend											
	Daytime	499.13	6219	207.66	1	173.69	1422	136.45	1			
	Nighttime	188.79	6096	476.30	2.13 [2.05-2.20]	68.48	1221	255.08	1.78 [1.65-1.93]			
Motorcycle or moped drivers	Weekdays											
	Daytime	75.37	18110	1961.54	1	22.49	5993	2175.48	1			
	Nighttime	18.45	4893	2164.59	1.09 [1.05-1.12]	4.40	1255	2327.32	1.04 [0.98-1.10]			
	Weekend											
	Daytime	29.11	2965	1697.32	1	5.60	717	2133.10	1			
	Nighttime	15.19	3314	3161.17	1.92 [1.83-2.01]	3.28	756	3137.33	1.33 [1.20-1.47]			
Pedestrians	Weekdays											
	Daytime	511.68	3303	52.70	1	604.80	4115	55.54	1			
	Nighttime	58.08	719	101.05	1.89 [1.73-2.05]	61.16	656	87.55	1.55 [1.43-1.69]			
	Weekend											
	Daytime	459.54	639	23.18	1	399.12	648	27.06	1			
	Nighttime	98.43	602	90.31	3.54 [3.16-3.97]	101.27	459	66.08	2.46 [2.18-2.78]			

Person-hours travelled: the daily total time that people spent walking or driving a car, motorcycle or moped, measured in thousand of hours.
Rate: number of drivers involved in injury crashes per 10 million person-hours driven or number of pedestrians injured per 10 million person-hours walked.
RR [95%CI]: Relative Risk comparing nighttime with daytime and their 95% confidence interval. RR adjusted by age.

Table 2. Total number of drivers and pedestrians involved in road traffic injury crashes, frequency and proportion of nighttime injury crashes by gender, day and drivers and pedestrians characteristics. Catalonia, municipalities with more than 100,000 inhabitants, 2004-2008.

	Men						Women					
	Weekdays			Weekend			Weekdays			Weekend		
	Total	N	%	PR [95%CI]	Total	N	%	PR [95%CI]	Total	N	%	PR [95%CI]
Drivers' characteristics												
Age group												
14-17 years	1393	328	23.5	1.88 [1.63 - 2.16]	628	362	57.6	2.04 [1.78 - 2.33]	241	45	18.7	1.43 [0.96 - 2.13]
18-34 years	30648	7338	23.9	1.91 [1.72 - 2.12]	11369	6303	55.4	1.96 [1.75 - 2.20]	9666	1960	20.3	1.55 [1.15 - 2.09]
35-64 years	30052	5166	17.2	1.37 [1.24 - 1.53]	8111	3517	43.4	1.53 [1.36 - 1.72]	7048	911	12.9	0.99 [0.73 - 1.34]
>64 years	2546	319	12.5	1	742	210	28.3	1	291	38	13.1	1
Unknown	1109	219	19.7	1.58 [1.35 - 1.84]	332	156	47.0	1.66 [1.41 - 1.95]	319	83	26.0	1.99 [1.41 - 2.83]
Severity												
Uninjured	6627	1340	20.2	1	2446	1143	46.7	1	1693	304	18.0	1
Slight	27964	6121	21.9	1.08 [1.03 - 1.14]	9030	4653	51.5	1.10 [1.05 - 1.16]	10103	1744	17.3	0.96 [0.86 - 1.07]
Severe or dead	1588	421	26.5	1.31 [1.19 - 1.44]	656	335	51.1	1.09 [1.00 - 1.19]	300	70	23.3	1.30 [1.03 - 1.63]
Unknown	29569	5488	18.6	0.92 [0.87 - 0.97]	9050	4417	48.8	1.04 [1.00 - 1.10]	5469	919	16.8	0.94 [0.83 - 1.05]
Road user												
Car driver	30047	6873	22.9	1.07 [1.03 - 1.10]	12323	6102	49.5	0.93 [0.90 - 0.96]	9213	1593	17.3	1.00 [0.93 - 1.07]
Motorcycle or moped driver	24204	5188	21.4	1	6837	3643	53.3	1	7459	1292	17.3	1
Others	11442	1303	11.4	0.53 [0.50 - 0.56]	2012	800	39.8	0.75 [0.70 - 0.79]	892	151	16.9	0.98 [0.84 - 1.14]
Unknown	55	6	10.9	1	10	3	30.0	1	1	1	100.0	1
Years of driving license												
0-2 years	13355	3260	24.4	1.46 [1.41 - 1.52]	5182	2960	57.1	1.34 [1.30 - 1.39]	3905	823	21.1	1.63 [1.49 - 1.77]
3-9 years	16046	3641	22.7	1.36 [1.31 - 1.41]	5652	3012	53.3	1.25 [1.21 - 1.30]	5194	1008	19.4	1.50 [1.38 - 1.63]
>9 years	30383	5071	16.7	1	8177	3477	42.5	1	6895	894	13.0	1
Unknown	5964	1398	23.4	1.40 [1.33 - 1.48]	2171	1099	50.6	1.19 [1.13 - 1.25]	1571	312	19.9	1.53 [1.36 - 1.72]
Total	65748	13370	20.3		21182	10548	49.8		17565	3037	17.3	
Pedestrians' characteristics												
Age group												
0-3 years	90	5	5.6	1	41	20	48.8	2.03 [1.39 - 2.98]	55	9	16.4	1
4-17 years	767	140	18.3	1.83 [1.45-2.32]	236	104	44.1	1.84 [1.41 - 2.39]	493	61	12.4	1.46 [1.09 - 1.94]
18-34 years	791	202	25.5	2.56 [2.06-3.19]	333	214	64.3	2.68 [2.12 - 3.39]	928	204	22.0	2.59 [2.11 - 3.18]
35-64 years	1294	254	19.6	1.97 [1.59-2.44]	379	199	52.5	2.19 [1.72 - 2.78]	1777	252	14.2	1.67 [1.36 - 2.04]
>64 years	1034	103	10.0	1	250	60	24.0	1	1495	127	8.5	1
Unknown	136	20	14.7	1.48 [0.95 - 2.30]	43	25	58.1	2.42 [1.73 - 3.39]	78	12	15.4	1.81 [1.05 - 3.13]
Severity												
Slight	3569	626	17.5	1	1081	515	47.6	1	4279	574	13.4	1
Severe or dead	543	98	18.0	1.03 [0.85 - 1.25]	201	107	53.2	1.12 [0.97 - 1.29]	547	91	16.6	1.24 [1.01 - 1.52]
Total	4112	724	17.6		1282	622	48.5		4826	665	13.8	
Total									4415	2109	47.8	

PR [95%CI]: Crude Prevalence Ratio and their 95% confidence interval comparing nighttime crashes proportion between groups.

Table 3. Total number of drivers involved in road traffic injury crashes, frequency and proportion of nighttime injury crashes by gender, day and driver risk behaviour- and crash environmental-related factors. Catalonia, municipalities with more than 100,000 inhabitants, 2004-2008.

	Men						Women								
	Weekdays			Weekend			Weekdays			Weekend					
	Total N	n	%	PR [95%CI]	Total N	n	%	PR [95%CI]	Total N	n	%	Total N	n	%	
Driver risk behaviour-related factors															
Hours of continuous driving															
<1	13411	2333	17.4	1	4652	2028	43.6		3738	584	15.6	1021	453	44.4	
1-3	834	113	13.5	0.86 [0.72-1.02]	224	102	45.5		94	13	13.8	19	9		
>3	319	59	18.5	1.32 [1.05-1.65]	92	48	52.2		36	2		3	0		
Unknown	51184	10865	21.2	1.56 [1.48-1.65]	16214	8370	51.6		13697	2438	17.8	3372	1647	48.8	
Alcohol or drugs use															
No	64582	12722	19.7	1	19919	9683	48.6	1	17288	2919	16.9	1	4242	1992	47.0
Yes	905	562	62.1	2.62 [2.47-2.77]	1114	773	69.4	1.37 [1.32-1.43]	92	60	65.2	3.60 [3.06-4.25]	74	46	62.2
Unknown	261	86	33.0	1.47 [1.23-1.75]	149	92	61.7	1.26 [1.10-1.44]	185	58	31.4	1.61 [1.16-2.23]	99	71	71.7
Seat belt or helmet use															
No	5811	1089	18.7	1.23 [1.16-1.31]	1690	848	50.2	1.16 [1.10-1.22]	678	107	15.8	207	96	46.4	
Yes	43711	8559	19.6	1	14055	6838	48.7	1	13014	2146	16.5	3110	1434	46.1	
Unknown	16226	3722	22.9	1.15 [1.11-1.20]	5437	2862	52.6	1.14 [1.10-1.17]	3873	784	20.2	1098	579	52.7	
Speeding															
No	47517	9366	19.7	1	14817	7298	49.3	1	13080	2148	16.4	3181	1487	46.7	
Yes	1519	522	34.4	1.34 [1.24-1.45]	840	502	59.8	1.14 [1.07-1.21]	215	54	25.1	85	43	50.6	
Unknown	16712	3482	20.8	0.98 [0.92-1.03]	5525	2748	49.7	1.04 [0.99-1.08]	4270	835	19.6	1149	579	50.4	
Number of occupants															
1, the driver	57506	11053	19.2	1	16086	7924	49.3	1	15833	2611	16.5	1	3564	1696	47.6
2	7049	2003	28.4	1.40 [1.35-1.46]	4223	2153	51.0	1.01 [0.97-1.04]	1503	367	24.4	1.42 [1.29-1.56]	705	338	47.9
>2	1193	314	26.3	1.37 [1.25-1.51]	873	471	54.0	1.09 [1.02-1.16]	229	59	25.8	1.44 [1.16-1.80]	146	75	51.4
Crash environment-related factors															
Surface conditions															
Good conditions	60726	12094	19.9	1	19413	9524	49.1	1	16013	2665	16.6	1	4012	1882	46.9
Bad conditions	5022	1276	25.4	1.27 [1.21-1.33]	1769	1024	57.9	1.17 [1.12-1.21]	1552	372	24.0	1.42 [1.29-1.56]	403	227	56.3
Traffic conditions															
Fluid	18188	4140	22.8	1.42 [1.34-1.51]	7064	3489	49.4		4410	886	20.1	1.22 [1.10-1.36]	1321	622	47.1
Congested	11432	2124	18.6	1	2920	1455	49.8		2920	457	15.7	1	581	299	51.5
Unknown	36128	7106	19.7	1.00 [0.95-1.06]	11198	5604	50.0		10235	1694	16.6	1.03 [0.93-1.15]	2513	1188	47.3
Priority regulation															
No regulation	32036	6866	21.4	1.09 [1.01-1.19]	10869	5486	50.5	0.94 [0.87-1.01]	8456	1484	17.5	1.00 [0.85-1.18]	2217	1085	48.9
Stop sign	3442	671	19.5	1	1023	533	52.1	1	910	160	17.6	1	224	100	44.6
Traffic lights, give way sign or crosswalk	12925	2761	21.4	1.06 [0.98-1.15]	4445	2196	49.4	0.91 [0.84-0.98]	3493	675	19.3	1.01 [0.85-1.20]	869	405	46.6
Another sign	479	76	15.9	0.90 [0.73-1.12]	138	62	44.9	0.87 [0.72-1.04]	111	19	17.1	1.04 [0.67-1.61]	22	13	59.1
Unknown	16866	2996	17.8	1.11 [1.01-1.22]	4707	2271	48.2	0.99 [0.91-1.07]	4595	699	15.2	1.03 [0.85-1.28]	1083	506	46.7
Type of intersection															
No intersection	27860	4957	17.8	1	8015	3841	47.9	1	7177	1099	15.3	1	1704	798	46.8
Three-legs intersection	6970	1414	20.3	1.21 [1.13-1.29]	2130	1078	50.6	1.09 [1.02-1.15]	1906	345	18.1	1.18 [1.02-1.37]	411	184	44.8
Four-legs intersection	27787	6329	22.8	1.30 [1.24-1.36]	9915	5118	51.6	1.13 [1.09-1.18]	7580	1441	19.0	1.28 [1.15-1.42]	2087	1032	49.4
Others	3131	670	21.4	1.21 [1.12-1.32]	1122	511	45.5	0.97 [0.90-1.05]	902	152	16.9	1.05 [0.88-1.25]	213	95	44.6
Total	65748	13370	20.3		21182	10548	49.8		17565	3037	17.3		4415	2109	47.8

PR [95%CI]: Prevalence Ratio and their 95% confidence interval comparing nighttime crashes proportion between groups, adjusted by age, severity, type of user and years of driving license.

Table 4. Total number of pedestrians involved in road traffic injury crashes, frequency and proportion of nighttime injury crashes by gender, day and pedestrian risk behaviour- and crash environmental-related factors. Catalonia, municipalities with more than 100,000 inhabitants, 2004-2008.

	Men						Women									
	Weekdays			Weekend			Weekdays			Weekend						
	Total N	n	%	PR [95%CI]	Total N	n	%	PR [95%CI]	Total N	n	%	PR [95%CI]				
Pedestrian risk behaviour-related factors																
Alcohol or drugs use																
No	4033	703	17.4	1	1246	597	47.9	1	4785	660	13.8	1112	459	41.3		
Yes	23	12	52.2	2.67 [1.75-4.07]	16	13	81.3	1.53 [1.23-1.90]	0	0	0	0	0	0		
Unknown	56	9	16.1		20	12	60.0	1.12 [0.84-1.51]	41	5	12.2	3	2	66.7		
Crash environment-related factors																
Vehicle involved																
Car	2335	446	19.1	1	891	433	48.6	1	2633	389	14.8	747	295	39.5		
Motorcycle	550	117	21.3	1.12 [0.94-1.34]	113	56	49.6	1.01 [0.82-1.23]	648	92	14.2	0.92 [0.74-1.13]	112	46	41.1	1.02 [0.81-1.28]
Moped	445	96	21.6	1.14 [0.94-1.38]	128	77	60.2	1.25 [1.07-1.45]	571	106	18.6	1.21 [1.00-1.48]	134	74	55.2	1.34 [1.13-1.58]
Others	782	65	8.3	0.46 [0.36-0.59]	150	56	37.3	0.80 [0.65-0.99]	974	78	8.0	0.58 [0.46-0.73]	130	49	37.7	1.04 [0.82-1.32]
Surface conditions																
Good conditions	3836	651	17.0	1	1193	562	47.1	1	4478	586	13.1	1	1021	397	38.9	
Bad conditions	276	73	26.4	1.43 [1.16-1.76]	89	60	67.4	1.42 [1.23-1.64]	348	79	22.7	1.62 [1.32-2.00]	102	67	65.7	1.61 [1.37-1.89]
Priority regulation																
No regulation	1982	353	17.8	1	588	291	49.5	1	2322	307	13.2	1	521	208	39.9	
Stop sign	168	33	19.6	1.09 [0.74-1.60]	47	20	42.6	1.00 [0.67-1.48]	202	33	16.3	1.02 [0.70-1.50]	34	17	50.0	1.70 [1.17-2.48]
Traffic lights, give way sign or crosswalk	757	130	17.2	0.96 [0.79-1.17]	240	110	45.8	0.95 [0.81-1.11]	967	146	15.1	0.98 [0.80-1.20]	204	86	42.2	1.20 [1.00-1.45]
Another sign	45	6	13.3		14	4	28.6		46	3	6.5	11	3	27.3		
Unknown	1160	202	17.4	0.98 [0.82-1.17]	393	197	50.1	1.07 [0.93-1.24]	1289	176	13.7	1.08 [0.88-1.33]	353	150	42.5	1.09 [0.90-1.33]
Type of intersection																
No intersection	2144	378	17.6	1	713	344	48.2	1	2254	294	13.0	1	587	244	41.6	
Three-legs/way intersection	502	91	18.1	1.04 [0.79-1.35]	151	64	42.4	0.97 [0.76-1.23]	598	99	16.6	1.31 [1.01-1.70]	130	50	38.5	0.81 [0.60-1.08]
Four-legs/way intersection	1357	234	17.2	0.97 [0.81-1.15]	370	189	51.1	1.09 [0.95-1.27]	1863	247	13.3	1.04 [0.86-1.26]	386	168	43.5	1.06 [0.87-1.28]
Others	109	21	19.3	1.08 [0.73-1.61]	48	25	52.1	1.24 [0.96-1.60]	111	25	22.5	1.59 [1.06-2.38]	20	2	10.0	
Total	4112	724	17.6		1282	622	48.5		4826	665	13.8	1123	464	41.3		

PR [95%CI]: Prevalence Ratio and their 95% confidence interval comparing nighttime crashes proportion between groups, adjusted by age and severity.

7. DISCUSIÓN

Esta tesis aporta, por primera vez en nuestro país, la estimación poblacional del riesgo de lesión por colisión de tráfico usando como medida de exposición una medida sobre la movilidad de las personas. Se estima el tiempo que invierten las personas en sus desplazamientos a partir de una encuesta de movilidad poblacional, desagregado según características del individuo y de sus patrones de movilidad. Esto permite: 1) Disponer de una estimación ajustada del riesgo de lesión por colisión de tráfico específico para cada tipo de usuario de la vía pública, según su modo de transporte; 2) La descripción del riesgo conjuntamente en función de sus características, como el sexo y el grupo de edad, y de las características de su movilidad, como el horario (diurno, nocturno), el día (laborable, fin de semana) y el ámbito (urbano, no urbano).

7.1. Principales resultados

En este apartado se resumen los principales resultados de los cuatro estudios que forman la tesis. Cada estudio está recogido en un artículo, excepto el tercero y el cuarto que se recogen en un mismo artículo.

El primer estudio, que compara las medidas de exposición al riesgo de lesión por tráfico, se recoge en el artículo “Measures of exposure to road traffic injury risk”. Este estudio muestra que el número de personas-horas en desplazamiento es mejor medida de exposición al

riesgo de lesión por tráfico que los vehículos-kilómetros recorridos, el número de vehículos registrados y el número de habitantes. Esto se debe a que estas tres últimas no miden la exposición de las personas al riesgo. El número de habitantes cuantifica la población que podría llegar a estar expuesta pero no su movilidad. Los vehículos-km y los vehículos registrados proporcionan estimaciones sobre la motorización sin información sobre los usuarios. Estas medidas producen estimaciones sesgadas del riesgo de lesión por tráfico. Este estudio también permite valorar, con datos empíricos, el sentido del sesgo. El número de habitantes infraestima el riesgo de grupos con baja movilidad. El número de vehículos registrados sobrestima el riesgo de vehículos colectivos como el autobús y subestima el riesgo de vehículos con baja movilidad y que, con frecuencia, no se dan de baja aunque ya no circulan, como las motocicletas y ciclomotores. Los vehículos-km al cuantificar sólo la movilidad de los vehículos, sobrestiman el riesgo en regiones con elevada movilidad no motorizada y en transporte público.

El segundo estudio, que aborda las diferencias de género en el riesgo de lesión por tráfico, se recoge en el artículo “Gender differences in road traffic injury rate using time travelled as a measure of exposure”. Este estudio muestra que el riesgo de lesión por tráfico no siempre es mayor en hombres que en mujeres cuando se tiene en cuenta su movilidad, sino que existe una interacción entre el sexo y la edad. En los peatones y conductores más jóvenes, los hombres presentan mayor riesgo de lesión leve y grave que las mujeres, y a medida que aumenta la edad las diferencias se invierten, de manera que en los grupos de mayor edad las mujeres

presentan mayor riesgo que los hombres. Sin embargo, en todos los modos de transporte, el número de grupos de edad en los que los hombres presentan mayor riesgo que las mujeres y la magnitud de estas diferencias, aumentan con la gravedad. El riesgo de lesión fatal es siempre mayor en hombres que en mujeres.

El tercer estudio, compara el riesgo de lesión por tráfico en horario diurno y nocturno en ámbito urbano, y el cuarto identifica factores individuales y del entorno asociados a las colisiones nocturnas en ámbito urbano. Ambos se recogen en el tercer artículo “Nighttime road traffic injury risk in an urban área”.

Según los resultados del tercer estudio, en área urbana, usando como medida de exposición el tiempo que invierten las personas en sus desplazamientos, el riesgo de colisión de tráfico durante la noche es mayor que durante el día, en hombres y mujeres peatones y conductores, y en días laborables y fin de semana (excepto en los conductores de motocicleta o ciclomotor en fin de semana). Además este estudio muestra que el exceso de riesgo nocturno es siempre mayor en fin de semana que en días laborables, mayor en hombres que en mujeres (excepto en conductores de turismo en días laborables donde no hay diferencia) y es mayor en peatones que en conductores. Y el cuarto estudio muestra que tanto en peatones como en conductores, a parte de factores individuales, también existen factores relacionados con las características de la colisión y su entorno que se asocian a las colisiones nocturnas en ámbito urbano. Estos factores son: el mal estado de la superficie por mal

tiempo y ciertos tipos de intersecciones en función de sus características y de la regulación de la prioridad.

7.2. Medidas de exposición al riesgo de lesión

Según un informe del Observatorio Europeo de Seguridad Vial (92), el número de personas-tiempo en desplazamiento y de personas-kilómetros recorridos son las medidas de exposición al riesgo de lesión más relevantes. El número de personas-tiempo se obtiene siempre de encuestas de movilidad. Por tanto, proporciona información de los individuos en todos los modos de transporte, incluidos los no motorizados. Sin embargo, el número de personas-kilómetros a menudo se obtiene de los vehículos-kilómetros recorridos. Los vehículos-kilómetros se estiman con mayor frecuencia mediante recuentos de tráfico y no mediante encuestas de movilidad, sin información sobre el individuo ni sobre los modos no motorizados. A pesar de esto, la falta de disposición del tiempo invertido en los desplazamientos ha limitado su uso hasta ahora, puesto que en las encuestas de movilidad se recoge con mayor frecuencia la distancia que el tiempo.

Además, a nivel europeo, existen otras características de las encuestas de movilidad, que han limitado el uso tanto del número de personas-tiempo como de personas-kilómetros: no se realizan en todos los países; ni con la periodicidad y calidad necesarias; no suelen incluir a los más pequeños; a menudo son demasiado específicas, por ejemplo sólo se realizan en días laborables o en

desplazamientos de vacaciones; y se suelen infradeclarar los desplazamientos más cortos sobre todo a pie o en bicicleta (92).

7.2.1. Personas-horas como medida de exposición

En la encuesta usada en la presente tesis, se han superado varias de estas limitaciones: es una encuesta con representatividad poblacional para mayores de 3 años de edad; se recoge el tiempo invertido en cada desplazamiento, incluso en los desplazamientos de menos de 5 minutos, aspecto en el que los entrevistadores estaban específicamente instruidos para insistir y poder así minimizar la infraestimación de los desplazamientos más cortos; y se recoge información tanto de días laborables como de fin de semana.

Los resultados del primer estudio de la tesis, que compara distintas medidas de exposición al riesgo de lesión por tráfico, confirman que cuando se pretende estudiar el riesgo de sufrir una colisión o lesión por tráfico es necesario usar una medida de exposición que estime las personas a riesgo cuantificando su movilidad (25). Al usar como medida de exposición el tiempo que invierten las personas en sus desplazamientos se obtienen estimaciones del riesgo de lesión más precisas y coherentes (31,93,94). En cambio, al usar medidas de exposición no basadas en la movilidad de las personas se obtienen estimaciones del riesgo sesgadas. De esta manera, se confirma la primera hipótesis planteada en esta tesis.

7.2.2. ¿Tiempo o distancia?

A pesar de que, como hemos visto, el tiempo en desplazamiento es una buena medida de exposición al riesgo de lesión por tráfico, en seguridad vial se usa la distancia recorrida en preferencia al tiempo invertido. El estudio de la epidemiología de las lesiones por tráfico se ha centrado en la estimación del riesgo para los conductores de vehículos a motor, usando los vehículos-kilómetros recorridos como medida de exposición de los conductores (55,59,93,95-101). Esta medida no proporciona información sobre las características de los conductores. También se han utilizado los vehículos-kilómetros en combinación con la tasa de ocupación de los vehículos, obtenida a partir de encuestas. De esta manera, se estiman los pasajeros-kilómetros recorridos.

La preferencia por los vehículos-kilómetros es debida principalmente a la accesibilidad de esta medida, estimada anualmente en la mayoría de países y con un coste moderado. Otro motivo es que, a diferencia del tiempo que suele ser autonotificado, se trata de una medida objetiva, gracias a los métodos de obtención usados: recuentos automáticos del tráfico, aunque aquí interviene la aleatoriedad de los puntos de medición; lecturas de los cuentakilómetros de los vehículos; o, con menos frecuencia, a partir de mapas y las coordenadas de origen y destino de los desplazamientos, normalmente recogidos a partir de encuestas de movilidad (25,102).

Varios autores justifican el uso de la distancia en vez del tiempo afirmando que el tiempo puede dar estimaciones del riesgo sesgadas. Su argumentación es que la conducción a alta velocidad reduce la probabilidad de una colisión al reducir el tiempo en exposición. Como afirma Chipman et al. (1992) (96), a menor velocidad menor es el riesgo de lesión y el aumento de la velocidad puede agravar las consecuencias si ocurre una colisión, por lo que las relaciones entre el tiempo, la distancia, y el riesgo son más complejas. Chipman estudia la relación entre el tiempo, la distancia y la velocidad según género, edad y región. Observa que, aunque los niveles de la exposición entre grupos de conductores, según género, edad y región, son muy diferentes, cuando la velocidad media es similar, el tiempo y la distancia dan información equivalente acerca de la exposición, con estimaciones de riesgo muy similares. Concluye que deberían usarse ambas medidas, teniendo siempre en cuenta el entorno por el que se realizan los desplazamientos, lo que condiciona mucho la velocidad a la que se circula.

Otros autores apoyan la idea de que el uso de la distancia como medida de exposición sobrestima el riesgo de aquellos conductores con una baja media anual de kilómetros recorridos, como las mujeres y las personas mayores, debido a que realizan desplazamientos cortos, y tienden a usar carreteras mayoritariamente de ámbito urbano, con menor velocidad pero mayor oportunidad de colisión. De manera inversa, los conductores con elevada media anual de kilómetros recorridos, realizan desplazamientos de larga distancia que tienden a cubrir por

carreteras de mayor velocidad, como pueden ser autopistas, con menor riesgo de colisión pero mayor riesgo de lesión mortal (32,103-105). En los grupos con baja media anual de kilómetros recorridos, se considera que el tiempo captura mejor que la distancia diferencias en el riesgo que pueden ser debidas a los patrones de movilidad, como velocidad y entorno por el que se realizan los desplazamientos (97).

Una vez más se pone de manifiesto la necesidad de tener en cuenta los patrones de movilidad de los individuos al estimar el riesgo de lesión por tráfico y compararlo entre distintos grupos de individuos, en función de sus características (sexo, edad, etc.) y de las de su movilidad (modo de transporte, día, hora, etc.), teniendo en cuenta el entorno por el que se desplazan (ámbito urbano o no urbano, etc.).

7.3. Diferencias en el riesgo de lesión según modo de transporte

Existen grandes diferencias en el riesgo de lesión por tráfico según modo de transporte, sin embargo su comparación es difícil debido al uso de distintas poblaciones y distintas medidas de exposición. La mayoría de estudios se centran en un único modo y frecuentemente en conductores de turismo fallecidos. Además, la mayoría estiman el riesgo usando como medida de exposición la movilidad de los vehículos, lo que supone no poder estimar el riesgo en modos no motorizados. Los resultados del segundo estudio de esta tesis

confirman la gran variación del riesgo en función del modo de transporte. En ambos sexos, la motocicleta o ciclomotor es el modo de mayor riesgo, seguido de la bicicleta, el turismo y a pie, y el modo más seguro es el autobús.

El mayor riesgo de lesión por tráfico en **conductores de motocicleta o ciclomotor**, descrito en esta tesis, está en concordancia con otros estudios y con las estadísticas europeas oficiales (31,94,106). En relación a la magnitud de la diferencia de riesgo, en ambos sexos, los conductores de motocicleta o ciclomotor presentan alrededor de 20 veces mayor riesgo de lesión por tráfico que los conductores de turismo. En países como USA, Canadá y Australia, se estima que el riesgo de lesión por colisión de tráfico según distancia recorrida es entre 17 y 20 veces mayor en usuarios de motocicleta que en usuarios de turismo (106,107), y en otros países como Gran Bretaña, Alemania, Suecia y Noruega los valores van de 20 a 40 (31). Varios autores discuten que el exceso de riesgo en motocicleta o ciclomotor puede explicarse por ser un modo mayoritariamente usado por jóvenes que presentan mayor riesgo de lesión debido a factores como el consumo de alcohol o drogas y el exceso de velocidad (106). Otra explicación es su vulnerabilidad al convivir en la vía pública con vehículos de mayor masa y velocidad, especialmente en ámbito urbano, así como con mobiliario urbano u obstáculos en la vía pública. Los usuarios de motocicleta o ciclomotor, a diferencia de los de turismo, están desprotegidos ante la transferencia de energía en el momento de la colisión de manera que esta es absorbida totalmente por el individuo (31).

Sin embargo, los resultados de esta tesis discrepan con los de otros autores en relación al riesgo de lesión por tráfico en **peatones**, al mostrar un riesgo en peatones inferior al de los conductores de turismo (31,94). Una posible explicación es que en la mayoría de estudios se usa como medida de exposición la distancia recorrida, mayoritariamente en vehículo, lo que supone no disponer de medida de exposición específica para modos de transporte no motorizados. Los peatones tienden a desplazarse por zona urbana y a recorrer poca distancia, sin embargo tienen mayor movilidad en términos de tiempo, que es la medida de exposición usada en esta tesis. Como se ha descrito anteriormente, el tiempo captura mejor que la distancia diferencias en el riesgo que pueden ser debidas a la velocidad y el entorno (28,96,105).

Esta tesis también muestra que las diferencias del riesgo de lesión entre modos de transporte varían al tener en cuenta factores de entorno como el ámbito, el día y el horario. En el tercer estudio se observa que en ámbito urbano, en ambos sexos y tanto en días laborables como en fin de semana, los **peatones** presentan mayor exceso de riesgo nocturno (mayor riesgo diurno respecto a nocturno) que los **conductores**. Uno de los principales factores que pueden contribuir a este exceso de riesgo es la adicional dificultad que tienen los conductores de vehículos en reconocer la presencia de peatones por la noche, así como la falta de conciencia de los conductores del efecto de la velocidad ante la vulnerabilidad de los peatones (44,108). La probabilidad de que un peatón muera atropellado por un vehículo se incrementa exponencialmente con el aumento de la velocidad de éste (10).

7.4. Diferencias en el riesgo de lesión según edad y sexo

Según el marco conceptual, la edad y el sexo son características del individuo que influyen en sus patrones de movilidad y por tanto en el riesgo de lesión por tráfico. Las personas, según la edad y el sexo, presentan necesidades, actitudes, estilos de vida y preferencias sobre el modo de transporte, aspectos que condicionan y determinan su movilidad (19,21). A lo largo de esta tesis se ha ido viendo la influencia de la edad y el sexo en el riesgo de lesión.

7.4.1. Según edad

En el segundo estudio de esta tesis y coincidiendo con otros estudios (82,95,109,110) se observa que los **niños y niñas peatones**, los **jóvenes conductores** y las **personas mayores** son los grupos de edad más vulnerables en términos de riesgo de lesión por tráfico. Varios autores discuten sobre la falta de habilidad de los **niños y niñas peatones** en el uso de estrategias seguras para cruzar la vía o en situaciones de tráfico complicadas (80,82,111,112). Por otro lado, numerosos estudios describen que los **adolescentes** y los **jóvenes conductores** presentan mayor riesgo frecuentemente por causas relacionadas con las conductas de riesgo y la inexperiencia (113,114). En este sentido, los resultados del cuarto estudio de esta tesis muestran que la edad se asocia a las colisiones nocturnas en ámbito urbano, especialmente en el grupo de 18-24 años, grupo de

edad en el que las conductas de riesgo son muy frecuentes (37,38,42,56,60,66,69).

En relación a las **personas mayores**, presentan conductas más seguras a la hora de cruzar la vía y como conductores que los jóvenes. Sin embargo, los mayores presentan: menor habilidad y agilidad para reaccionar de manera rápida ante situaciones de riesgo; mayor exposición al tráfico al cruzar la vía, ya que la cruzan a menor velocidad y por tanto están mayor tiempo expuestos a ser atropellados; y la pérdida de habilidades, en términos de visibilidad, cognitivas y psicomotoras (80,82,111-114). Además, en el segundo estudio de esta tesis se observa que los más jóvenes presentan mayor riesgo de lesión no mortal, y en cambio, los de mayor edad presentan mayor riesgo de mortalidad y de lesiones graves. Esto puede estar relacionado con la mayor fragilidad de las personas mayores a lesionarse de gravedad dada una colisión de tráfico (94,115,116).

7.4.2. Según género

No hay consenso en la literatura sobre si el riesgo de lesión por tráfico es mayor en hombres o en mujeres (55,56,93,94,97,98). Según los resultados del segundo estudio de esta tesis esto puede ser debido a que existe una interacción entre el sexo y la edad. En el riesgo de lesión no mortal hay grupos de edad en los que el riesgo es mayor en hombres que en mujeres y en cambio hay otros grupos de edad en los que el riesgo es mayor en mujeres que en hombres, y

estos grupos de edad varían en cada modo de transporte, confirmando la segunda hipótesis planteada en esta tesis.

Sin embargo, sí hay consenso en la mayor gravedad de las lesiones en hombres que en mujeres (60,70,97,117). Según los resultados del segundo estudio, el número de grupos de edad en los que los hombres presentan mayor riesgo que las mujeres y la magnitud de estas diferencias, aumentan con la gravedad. Y el riesgo de lesión mortal es siempre mayor en hombres que en mujeres. En el mismo sentido, el tercer estudio de esta tesis muestra que aunque existe un exceso de riesgo nocturno en ámbito urbano en ambos sexos, este exceso de riesgo es mayor en hombres que en mujeres.

Como **factores relacionados con el mayor riesgo no mortal en hombres que en mujeres**, en niños peatones y jóvenes conductores, se describen: mayor adopción de conductas de riesgo, como el exceso de velocidad conduciendo y caminando; mayor consumo de sustancias psicoactivas; y menor percepción del riesgo al conducir y al cruzar la calle andando (37,38,42,56,60,80-82).

Como **factores relacionados con el mayor riesgo no mortal en mujeres que en hombres**, en peatonas mayores y en conductoras adultas y mayores, se describen: menor experiencia como conductoras y por tanto menor habilidad para la conducción y para evitar colisiones; menor percepción de los riesgos como peatonas (32,97,103-105); mayor fragilidad en términos fisiológicos, con menor peso y altura y su interacción con las medidas de protección de los vehículos diseñadas pensando en mayor peso y estatura

(118); y menor resistencia del cuerpo humano femenino a ciertos impactos, de manera que dada una colisión pueden resultar lesionadas con mayor probabilidad que los hombres, especialmente las mujeres mayores (31,118); y la mayor conducción de las mujeres en vías urbanas, con menor velocidad, mayor congestión, lo que se asocia a mayor oportunidad de colisión, aunque menor gravedad (96,97).

La mayoría de los factores descritos están relacionados con los **roles de género**, los roles que hombres y mujeres adoptan en la sociedad, y con los **estereotipos de masculinidad y feminidad**. La mayoría de estos factores no se deben a las innatas diferencias biológicas entre hombres y mujeres, sino que dependen de la percepción de los individuos sobre las expectativas de la sociedad en relación a los roles de género. Estos roles se basan en una serie de creencias sobre las características que hombres y mujeres deben tener en términos de actitud, ocio, apariencia física, rasgos psicológicos, relaciones sociales, etc. (31,119,119,120). Particularmente, los estereotipos de género caracterizan la adopción de riesgos como una conducta típica masculina (121,88). Los hombres cometen más infracciones de tráfico (122,122), muestran una menor motivación por el cumplimiento de las normas y leyes de tráfico (121) y se sienten más seguros al volante (123). Los hombres jóvenes conductores reportan mayores conductas de riesgo y una actitud más agresiva al volante que las mujeres jóvenes conductoras (31,124,125). De la misma manera la mayor conducción de las mujeres respecto a los hombres en vías urbanas, puede estar relacionado con sus diferentes roles y que condicionan su

movilidad. Las mujeres se desplazan en mayor proporción e invierten un mayor tiempo en desplazamientos por motivos relacionados con el hogar y la familia, lo que suele implicar desplazamientos cercanos al hogar. En cambio los hombres se desplazan en mayor proporción e invierten un mayor tiempo en desplazamientos por motivos relacionados con el trabajo, lo que puede implicar una mayor movilidad fuera del municipio de residencia, y el uso de vías no urbanas (30). En las vías urbanas, con mayor congestión de tráfico, se circula a menor velocidad, lo que supone mayor oportunidad de colisión leve. De manera inversa, los hombres tienden a usar carreteras de mayor velocidad, con menor riesgo de colisión pero mayor riesgo de lesión grave o mortal (32,103-105).

Esto último puede estar relacionado con los resultados hallados en el cuarto estudio de esta tesis. En los hombres conductores se observan factores asociados a las colisiones nocturnas en ámbito urbano que no se asocian en mujeres, y que se describen en la literatura como conductas de riesgo asociadas a mayor gravedad, como: no usar casco o cinturón; exceso de velocidad; y llevar pasajeros en el vehículo (38,41-43,56,60,70).

7.5. Diferencias en el riesgo de colisión según horario

La movilidad de las personas y por tanto su exposición al riesgo de lesión varía en función de la hora del día (63,126), siendo mayor el

riesgo de lesión en horario nocturno que en diurno (43,55,56,59,69,127,128) y de mayor gravedad (52,71). Por tanto la nocturnidad se considera un factor relacionado tanto con la ocurrencia de colisiones como con su gravedad(10). Unos de los factores de riesgo de colisión o lesión por tráfico nocturna más estudiados han sido la fatiga, la somnolencia y la falta de iluminación de las vías (37,38,57). Estos factores no son tan relevantes en un entorno urbano, en el que no sólo las calles están iluminadas, sino que también existe la iluminación de los comercios, oficinas y vehículos, y donde además, los desplazamientos son más cortos, y por tanto la fatiga o la somnolencia son menos importantes. Sin embargo, el tercer estudio de la tesis muestra que, en ámbito urbano, existe un **mayor riesgo de colisión de tráfico en horario nocturno que en diurno**, en hombres y mujeres, peatones y conductores, y tanto en días laborables como en fin de semana (excepto en conductores de motocicleta o ciclomotor en días laborables). Estos resultados confirman la tercera hipótesis planteada en esta tesis.

En cuanto a la **magnitud del exceso de riesgo nocturno**, el tercer estudio de esta tesis muestra en peatones un riesgo de colisión en horario nocturna de 2 a 4 veces mayor que en diurno, y en conductores de 1,1 a 2 veces mayor. Según otros estudios que también estiman el riesgo de colisión según la movilidad de las personas, el riesgo en nocturno es de 3 a 7 veces mayor que en diurno en peatones y de 2 a 4 veces mayor en conductores (43,46,55,56,59,69,127,128).

Los resultados del tercer estudio son ligeramente inferiores debido a que se estima el riesgo de colisión incluyendo todas las gravedades y se ajusta por edad, y en cambio la mayoría de estudios estiman el riesgo de colisión fatal sin ajustar por edad. Según un estudio realizado por Williams et al. en 2003 (56), por la noche el riesgo es tres veces mayor que durante el día para los conductores de 16 años y cuatro veces mayor para los que tienen entre 20 y 44 años. Otra explicación a la menor magnitud de exceso de riesgo, puede ser que el ámbito de estudio de la mayoría de estudios incluye carreteras y vías de alta velocidad, lo cual implica una mayor gravedad y mortalidad que en ámbito urbano (31).

Sin embargo, los resultados del tercer estudio coinciden en que el exceso de riesgo nocturno es mayor en peatones que en conductores. Uno de los principales factores que pueden contribuir a ello, es la mayor dificultad que tienen los conductores de vehículos en reconocer la presencia de peatones por la noche que durante el día, así como la falta de conciencia de los conductores ante la vulnerabilidad de los peatones y del cambio de comportamiento asociado que deberían de realizar, como reducir la velocidad (44,108).

El **exceso de riesgo nocturno** respecto a diurno es siempre **mayor en fin de semana que en laborable**, según los resultados del tercer estudio. Esto podría estar relacionado con los factores de riesgo de colisión nocturna descritos en la literatura, muchos de ellos más frecuentes el fin de semana, como las conductas de riesgo (consumo de alcohol y drogas, exceso de velocidad, etc.) tanto en conductores

como en peatones, siendo el fin de semana un factor asociado a las colisiones nocturnas (59,67,68).

7.6. Factores asociados a las colisiones nocturnas

Dada la existencia de exceso de riesgo nocturno y su magnitud, es imprescindible poder identificar factores de riesgo de colisión de tráfico en horario nocturno, especialmente aquellos factores modificables. El marco conceptual usado pone de manifiesto la diversidad de factores que pueden intervenir en las colisiones nocturnas, tanto en su ocurrencia como en las lesiones que se producen, y tanto relacionados con el individuo, como con el vehículo y el entorno. Es extensa la literatura sobre los factores de riesgo de las lesiones por tráfico en horario nocturno. Sin embargo, los factores que más se han estudiado han sido los relacionados con el individuo, especialmente aquellos sobre sus conductas de riesgo. El cuarto estudio de esta tesis pone de manifiesto que, en ámbito urbano, existen también factores relacionados con el entorno de la colisión asociados a las colisiones nocturnas, tanto en conductores como en peatones.

7.6.1. En conductores

Los resultados del cuarto estudio muestran que, en ámbito urbano, una vez ajustados todos los factores individuales que han resultado asociarse a las colisiones nocturnas (edad, gravedad, antigüedad del

permiso, consumo de alcohol, exceso de velocidad, etc.), existen factores relacionados con el entorno de la colisión que también se asocian a las colisiones nocturnas, como el mal estado de la superficie, una baja densidad de circulación (fluida) y las intersecciones.

Las **condiciones del tiempo** y el consecuente **mal estado de la superficie**, son factores que contribuyen a la frecuencia y gravedad de las colisiones de tráfico (31). La capacidad de los conductores de reconocer el deterioro de la superficie y de reaccionar ante él, disminuye en función de una gran variedad de factores, entre ellos la menor visibilidad, como podría ser en horario nocturno, así como la menor experiencia, un mayor tiempo de percepción/ reacción del individuo, etc. (75,129,130).

Una **circulación fluida** se asocia a las colisiones nocturnas en días laborables, en hombres y mujeres. En ámbito urbano durante el día en un día laborable es muy frecuente la congestión en la circulación, y en cambio durante la noche la circulación es mucho más fluida, lo que facilita el exceso de velocidad. Plainis et. al (2006) (71), describe como a mayor circulación puede aumentar la frecuencia de colisiones, pero como la velocidad será menor las colisiones resultaran de menor gravedad.

En un entorno urbano, ante la convivencia de conductores y peatones, las intersecciones son puntos de mayor conflicto en horario nocturno que diurno. Se ha podido observar que son un factor asociado a las colisiones nocturnas en conductores,

especialmente las **intersecciones en forma de “x” o “+”**, en hombres y mujeres y tanto en días laborables como en fin de semana. Tal y como se planteaba en la cuarta hipótesis, las intersecciones se describen como puntos de la vía pública con elevado riesgo de colisión de tráfico en conductores (76-79), especialmente en área urbana y horario nocturno (31). Según The hand book of Road Safety Measures (31) y una revisión sobre evidencia empírica realizada en 2009 (78), la tasa de colisión de tráfico es mayor en las intersecciones en forma de “x” o “+” que en las intersecciones en forma de “Y” o “T”, debido a que generan un mayor número de puntos conflictivos. La conducción en una intersección es una tarea compleja, ya que requiere la correcta detección, identificación y evaluación de un elevado número de estímulos visuales, como mobiliario urbano, la regulación de la prioridad (semáforo, marcas viales como stop o ceda el paso, paso de peatones, etc.), la presencia de un peatón, etc. Esta es una tarea con mayor dificultad en horario nocturno, debido a que la velocidad es mayor que en horario diurno, se reduce la velocidad de procesar estímulos visuales, se alarga el tiempo de reacción y se infraestima la velocidad de otros vehículos (69,71,78).

7.6.2.En peatones

En el caso de los peatones, no existen en la literatura estudios sobre factores asociados a los atropellos nocturnos más allá de la falta de visibilidad y el consumo de alcohol. En el cuarto estudio de esta tesis se observa que ajustando por edad, gravedad y consumo de

alcohol, existen factores del entorno de la colisión asociados a los atropellos nocturnos.

Igual que para los conductores, el **mal estado de la superficie por climatología adversa** se asocia a las colisiones nocturnas en los peatones, en ambos sexos y tanto en días laborables como en fin de semana. En horario nocturno en ámbito urbano, la capacidad de los conductores de detectar la presencia de obstáculos de bajo contraste como los peatones disminuye y por tanto la distancia de detección y reacción disminuye (44,85), situación especialmente peligrosa si la superficie se encuentra en mal estado.

Según los resultados del cuarto estudio de esta tesis aproximadamente la mitad de los atropellos nocturnos han sido en una **intersección**. Sin embargo, en **hombres peatones**, las intersecciones no son un factor de riesgo de las colisiones nocturnas. La proporción de atropellos nocturnos en hombres no es significativamente mayor en las intersecciones que fuera de ellas, ni teniendo en cuenta el tipo de intersección. Esto sugiere que el diseño de las intersecciones no protege ni expone a los hombres peatones a las colisiones nocturnas. En el mismo sentido, se ha descrito que las intersecciones no exponen a los conductores a colisiones de mayor gravedad (83,86).

En **mujeres peatonas**, en días laborables, la proporción de atropellos nocturnos es mayor en las **intersecciones en forma de “Y” o “T”**. En cambio, en fin de semana, la proporción de atropellos nocturnos es mayor en aquellos **puntos con**

regularización de la prioridad mediante algún tipo de señalización para cruzar (semáforo, señal vertical o marcas viales), independientemente de si es una intersección o no. Estos dos resultados están muy relacionados si tenemos en cuenta que, en el 86% de los atropellos nocturnos en las intersecciones en forma de Y o T en días laborables, había algún tipo de señalización de regulación de la prioridad para cruzar. Independientemente de si es en una intersección o no, en los puntos con señalización para cruzar, lo importante es si conductores y peatones cumplen o no la señalización. Varios autores describen que los peatones tienden a cruzar la calle cuando les conviene, por una cuestión de ahorro de tiempo más que pensar en los potenciales riesgos de su comportamiento, como anticiparse al semáforo rojo y empezar a cruzar al cambiar a ámbar (87,88). Las mujeres se ven más afectadas que los hombres por su entorno social, como la presencia de otros peatones y su comportamiento (88). Esto sugiere que las mujeres en horario nocturno comenten más infracciones al cruzar la vía que en horario diurno, donde la presencia de peatones es menor y las conductas de riesgo mayores. En cambio esta actitud en los hombres, que cometen infracciones al cruzar la calle más frecuentemente que las mujeres, se da tanto en horario diurno como nocturno (81,82).

7.7. Aspectos metodológicos

7.7.1.Necesidad y utilidad de las encuestas de movilidad

En teoría, sería necesario monitorizar todas las actividades relacionadas con la movilidad de toda la población de manera constante en el tiempo y durante un período de tiempo determinado. A parte de las obvias dificultades que esto conllevaría en términos de tiempo y coste económico, a nivel práctico no es necesario tan elevado nivel de desagregación, sino que existe la alternativa de las encuestas de movilidad realizadas a una muestra representativa de la población. Sin embargo, se debe garantizar la representatividad poblacional, con una muestra suficientemente grande y un diseño muestral adecuado, así como la periodicidad de su realización, para garantizar la calidad de las estimaciones y con continuidad en el tiempo (25).

En la realización de las encuestas de movilidad y transporte, cada país usa una metodología distinta, recoge variables distintas y calcula las medidas de exposición de forma distinta, de manera que las comparaciones entre países suelen ser difíciles. Las recomendaciones europeas señalan que en los países europeos deberían realizarse, con la misma regularidad, encuestas de movilidad de calidad para toda la población, recogiendo todos los

tipos de desplazamientos y unificando definiciones y el cálculo de las medidas de exposición (92).

Hay dos métodos básicos para la recolección de datos sobre exposición. El primero, es obtener información mientras el desplazamiento se está realizando, mediante medidas de recuento de vehículos o de personas, encuestas en las que mediante un diario de viaje se recoge el origen y el destino de los desplazamientos o se usan instrumentos electrónicos, como odómetros o podómetros. El segundo método es obtener información de los desplazamientos ya finalizados, de forma retrospectiva, usando las mediciones de los cuentakilómetros de los vehículos en las revisiones obligatorias o mediante entrevistas personales, telefónicas o cuestionarios por internet. A menudo se combinan ambos métodos para poder obtener información objetiva de los desplazamientos, así como información sobre los individuos que los realizan (102).

Uno de los grandes desarrollos tecnológicos en la recolección objetiva de información sobre exposición ha sido la instalación de elementos electrónicos y de telecomunicaciones en los vehículos y las vías. Además, el extendido incremento del uso de teléfonos móviles presenta nuevas oportunidades. Los datos de rastreo de teléfonos móviles se están convirtiendo en una importante fuente de datos a nivel urbano. Un estudio realizado por Calabrese (2012) (131) en EEUU demuestra la aplicabilidad y utilidad de los teléfonos móviles como fuente de información de datos sobre movilidad, obteniendo información útil sobre los patrones de movilidad en un área metropolitana. Además, se comparan las

medidas de movilidad obtenidas de los teléfonos móviles con medidas de exposición obtenidas a partir de las lecturas de los cuentakilómetros en las revisiones obligatorias de los vehículos privados. Concluye que los datos obtenidos del rastreo de teléfonos móviles representa una aproximación razonable a la movilidad de los individuos y muestra un enorme potencial como fuente de información útil y frecuentemente actualizable, así como un complemento ideal para las encuestas de movilidad.

7.7.2.La relación no lineal entre la exposición y las lesiones por tráfico

La relación entre la exposición y el número de colisiones de tráfico no es lineal. Por tanto hay que tener precaución al interpretar la fórmula que hemos usado para la estimación del riesgo:

“Riesgo=(Número de personas lesionadas en un período de tiempo determinado\ Cantidad de exposición en un período de tiempo determinado)”.

Aplicando esta fórmula para estimar el riesgo, no se ajusta la exposición, sino sólo el volumen de movilidad, y como muestra el marco conceptual, la exposición también viene determinada por los patrones de movilidad. De esta manera, la relación entre el volumen de exposición y las lesiones por tráfico sigue una curva con un crecimiento negativo. Varios autores han descrito la relación entre los kilómetros recorridos y las colisiones como una relación no lineal, con aumento del riesgo a elevados niveles de kilómetros

recorridos proporcionalmente menor. Hay como mínimo tres posibles explicaciones para esta relación no lineal. La primera es que los conductores con un elevado número de kilómetros recorridos suelen recorrer una alta proporción de ellos en carreteras relativamente más seguras como las autopistas. La segunda es que las personas con un elevado número de kilómetros recorridos suelen tener mejores habilidades para la conducción en virtud de su mayor experiencia conduciendo. Y la tercera es que las personas con un elevado número de kilómetros recorridos suelen adoptar estilos de conducción relativamente más seguros, reduciendo así su riesgo de colisión (28,31,105).

7.8. Limitaciones

Las limitaciones de esta tesis derivan de las características metodológicas de las dos principales fuentes de información, la Enquesta de Mobilitat Quotidiana de Catalunya 2006 (EMQ2006) y el registro de accidentes y víctimas de tráfico de la Dirección General de Tráfico (DGT).

La EMQ2006 no incluye a menores de 4 años y por lo tanto han sido excluidas las personas lesionadas de tráfico de estas edades. La información que se recoge es autonotificada, lo que podría implicar cierto sesgo de recuerdo. Esto podría infraestimar los desplazamientos muy cortos, como podrían ser los desplazamientos a pie de conexión entre distintos modos de transporte, y como resultado se podría sobrestimar el riesgo. Sin embargo, en teoría, la encuesta recoge los desplazamientos de menos de 5 minutos.

En la EMQ2006, el tiempo se dispone por desplazamiento. Como cada desplazamiento puede estar formado por varias etapas según el modo de transporte usado, se ha imputado el tiempo total del desplazamiento al modo principal, en el correspondiente orden: autobús, turismo como conductor, motocicleta o ciclomotor como conductor, turismo como pasajero, motocicleta o ciclomotor como pasajero, bicicleta y a pie). No obstante, los desplazamientos multietápicos sólo representan el 5% del total de desplazamientos recogidos en la encuesta.

El Registro de accidentes y víctimas de tráfico de la DGT no dispone de los datos sobre el lugar de residencia, por lo que se incluyen todas las personas lesionadas por una colisión en Cataluña, independientemente de si residen o no en Cataluña. En cambio, la EMQ2006 sólo incluye información sobre la movilidad de los residentes en Cataluña.

La calidad de la información del Registro de accidentes y víctimas de tráfico de la DGT ha mejorado en los últimos años. Sin embargo aún hay un cierto grado de infranotificación de los heridos más leves y de las colisiones sin la implicación de un vehículo a motor (como por ejemplo ciclistas y peatones), especialmente en ámbito urbano. Por tanto, puede haber un cierto sesgo de notificación y como resultado una infraestimación del riesgo.

Otra limitación es la elevada falta de información en las variables relacionadas con las conductas de riesgo de conductores y peatones y en las relacionadas con el entorno de la colisión. También faltan

variables que ayuden a caracterizar el ámbito urbano, como el tipo de vía (ronda, vía principal, red local, etc.) o mobiliario urbano, existencia de carriles de autobús o de bicicleta, etc., ya que la mayoría de variables incluidas en el registro hacen referencia a ámbito no urbano. Esto limita el estudio de los factores asociados a las colisiones nocturnas especialmente para los peatones.

7.9. Fortalezas

Igual que las limitaciones, las fortalezas de la presente tesis derivan de las características metodológicas de las dos principales fuentes de información.

Una importante fortaleza de este estudio es el disponer de la Encuesta de Mobilitat Quotidiana de Catalunya 2006, con el individuo como unidad de análisis en vez del hogar como en la mayoría de encuestas de movilidad. También destacable es el potencial metodológico de la encuesta, que por el diseño y tamaño muestral permite la representatividad y significación estadística de los resultados a nivel de comarca (nivel territorial que divide Catalunya en 41 zonas). Además, se sobremuestrearon los municipios de más de 50.000 habitantes para garantizar que tuvieran muestra suficiente y minimizar los errores estadísticos. Como resultado, la EMQ2006 es una encuesta con representatividad poblacional, que permite estimar el número de horas invertidas en desplazamientos para el total de la población de Catalunya en 2006.

Otra fortaleza destacable es el disponer no sólo de la EMQ2006 sino también de un registro policial de personas lesionadas de tráfico a nivel nacional, como el Registro de accidentes y víctimas de la DGT. Estas dos fuentes han permitido el cálculo del riesgo de lesión por tráfico usando como exposición la movilidad de las personas, medida en horas en desplazamiento.

Cabe destacar también como fortaleza el hecho de que, gracias a que el Registro de accidentes y víctimas de la DGT incluye personas lesionadas de diferente gravedad, en la tesis se han estudiado todas las personas lesionadas de tráfico, tanto leves, como graves y muertos, a diferencia de la mayoría de estudios que sólo se centran en mortalidad.

8. CONCLUSIONES

- Para la estimación del riesgo de lesión por tráfico se deben usar medidas sobre la movilidad de las personas, como el tiempo invertido en sus desplazamientos, en vez de la movilidad de los vehículos (vehículos-Km recorridos), el censo de población o el de vehículos.
- Existe interacción en el riesgo de lesión entre el sexo y la edad. En unos grupos de edad los hombres presentan mayor riesgo de lesión por tráfico que las mujeres, mientras que en otros grupos de edad las mujeres presentan mayor riesgo que los hombres. Además, estas relaciones varían en cada modo de transporte y según la gravedad.
- En área urbana, en hombres y mujeres, conductores y peatones, el riesgo de colisión de tráfico es mayor en horario nocturno que en diurno, tanto en días laborables como en fin de semana, aunque el exceso de riesgo nocturno es mayor en fin de semana.
- Existen factores relacionados con el entorno de la colisión asociados a las colisiones nocturnas independientemente de las características de los individuos y de sus conductas de riesgo. La menor visibilidad en área urbana durante la noche a pesar de la iluminación artificial, puede dificultar a los conductores el reconocimiento del mal estado de la superficie en condiciones climatológicas adversas, o de situaciones de

riesgo en las intersecciones, especialmente en las intersecciones en forma de X o + que presentan un mayor número de puntos conflictivos. En peatones, durante la noche, las intersecciones no son zonas particularmente peligrosas. Sin embargo, los puntos en los que existe algún tipo de señalización que indique la prioridad para cruzar, en intersecciones o fuera de ellas, sí son zonas particularmente peligrosas para los peatones.

9. RECOMENDACIONES

- El estudio de las lesiones por colisión de tráfico que requiera comparaciones, entre grupos de individuos, entre regiones, etc. debería usar indicadores no basados sólo en el número de colisiones o personas lesionadas, sino en tasas que incorporen en el denominador una medida de exposición que cuantifique la movilidad de las personas, proporcionando así una estimación del riesgo.
- Además, a la hora de estimar el riesgo de lesión por colisión de tráfico en hombres y mujeres, se deberían usar tasas específicas por edad, modo de transporte y teniendo también en cuenta la gravedad.
- En la estimación del riesgo de lesión por colisión de tráfico, se debería, no sólo ajustar por la cantidad de movilidad sino tener también en cuenta el modo de transporte y las características del entorno por el que se están realizando los desplazamientos (ámbito, día, hora, etc.). De esta manera, se ajusta el efecto confusor de estos factores relacionados con los patrones de movilidad y se pueden estudiar factores directamente relacionados con el riesgo de lesión y identificar aquellos modificables e intervenibles.
- Promover la recogida sistemática, periódica y de calidad, de información sobre la movilidad diaria de las personas, preferiblemente a través de encuestas de movilidad ya que

permiten obtener también información sobre los individuos. Es imprescindible la representatividad de la información sobre movilidad a nivel del área geográfica más pequeña posible y que se incluya ámbito urbano y no urbano, todas las épocas del año, días laborables y fin de semana, y todos los usuarios de la vía pública. Esto supondría una herramienta de gran valor para obtener medidas que cuantifiquen la exposición al riesgo de lesión por tráfico y para poder caracterizar los distintos patrones de movilidad de las personas.

- Se deberían diseñar intervenciones para reducir el riesgo de lesión por tráfico, tanto en conductores como en peatones, y particularmente en ámbito urbano. La educación vial en conductores y peatones es una medida de intervención muy popular, pero no hay evidencia de su efectividad. Las intervenciones más efectivas son las relacionadas con el diseño de los vehículos y las infraestructuras. Las medidas legislativas y reglamentarias también son efectivas, pero en menor medida (132). Por lo tanto, es recomendable diseñar intervenciones que impliquen la modificación del entorno construido (133,134), y no sólo medidas que dependan del conocimiento de los individuos y de cambios en su comportamiento (132):
 - Intervenciones para alertar a los conductores de las condiciones de la superficie, como límites de velocidad más bajos o señales de advertencia electrónicas, por ejemplo en condiciones de lluvia.

- Dado el elevado número de intersecciones en las zonas urbanas y su asociación con las colisiones nocturnas en los conductores, deberían incorporarse diseños para la reducción tanto de puntos conflictivos, como de la ocurrencia de colisiones. También podrían ser útiles medidas de pacificación del tráfico para reducir la velocidad de los vehículos por la noche, ya sea a nivel global o específicamente en puntos conflictivos. Además, deberían aplicarse otras medidas para reducir los comportamientos de riesgo habituales en horario nocturno, como el consumo de alcohol o drogas, tanto en días laborables como en los fines de semana.
- En relación a los peatones, se podrían diseñar medidas para mejorar su visibilidad de cara a los vehículos, así como medidas disuasorias para cruzar la vía de manera no apropiada, especialmente en horario nocturno.
- Ampliar la investigación sobre factores de entorno y su relación con las colisiones de tráfico, así como tener estos factores en cuenta a la hora de diseñar vías más seguras para todo tipo de usuarios, que protejan a los usuarios vulnerables, y que reduzcan el riesgo de lesión por tráfico.
- Mejorar la calidad de los datos del Registro de accidentes y víctimas de tráfico de la DGT, reduciendo la falta de información en aquellas variables sobre el entorno y circunstancias de la colisión, especialmente en ámbito urbano.

10. BIBLIOGRAFIA

- (1) European Commission. White paper. European transport policy for 2010: time to decide. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities; 2001.
- (2) European Commission. Saving 20 000 lives on our roads. A shared responsibility. European Road Safety Action Programme. Halving the number of road accident victims in the European Union by 2010: A shared responsibility. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities; 2003.
- (3) Brandstaetter C. Annual Statistical Report, Deliverable D3.9 of the EC FP7 project DaCoTA. 2012.
- (4) Asamblea General de la Naciones Unidas. Plan Mundial para el Decenio de Acción para la Seguridad Vial 2011-2020. 2011.
- (5) Dirección General de Tráfico. Ministerio de Interior. Plan Estratégico de Seguridad Vial 2005-2008. Plan de Acciones Estratégicas Claves 2005-2008. Dirección General de Tráfico ed. Madrid; 2006.
- (6) Dirección General de Tráfico. Estrategia de Seguridad Vial 2011-2020. Dirección General de Tráfico ed. Madrid: Imprenta Nacional del Boletín Oficial del Estado; 2011.

- (7) Servei Català de Trànsit. Ministeri d'Interior. Generalitat de Catalunya. Anuario Estadístico de Accidentes de tráfico en Cataluña 2012. Barcelona: Servei Català de Trànsit; 2012.
- (8) Servei Català de Trànsit. Generalitat de Catalunya. Plà Estratègic de Seguretat Viària 2011-2013. Barcelona: Servei Català de Trànsit; 2011.
- (9) Servei Català de Trànsit. Plà Estratègic de Seguretat Viària de Catalunya 2014-2020. Barcelona: Servei Català de Trànsit; 2014.
- (10) Peden M, Scurfield R, Sleet D, Mohan D, Hyder AA, Jarawan E and Mathers C. World report on road traffic injury prevention. Geneva: World Health Organization; 2004.
- (11) Loimer H GM. Accidents and acts of god: a history of terms
. AJP. 1996;86:101-107.
- (12) Haddon W,Jr. The changing approach to the epidemiology, prevention, and amelioration of trauma: the transition to approaches etiologically rather than descriptively based. Am J Public Health Nations Health. 1968;58(8):1431-1438.
- (13) Norman LG. Road traffic accidents: epidemiology, control, and prevention. Geneva: World Health Organization; 1962.
- (14) World Health Organization. Prevention of road traffic accidents. In: Twenty-seventh World Health Assembly. Geneva: World Health Organization; 1974.

- (15) Peden MM, Krug E, Mohan D, Hyder A, Norton R, MacKay M, Dora C. Five-year WHO Strategy on Road Traffic Injury Prevention. Geneva: World Health Organization; 2001.
- (16) World Health Organization. Global status report on road safety 2013: supporting a decade of action. Luxembourg: World Health Organization; 2013.
- (17) Dirección General de Tráfico. Ministerio del Interior. Las principales cifras de la siniestralidad vial. España 2012. Madrid: Dirección General de Tráfico; 2013.
- (18) Seguí-Gómez M, González-Luque JC, Robledo de Dios T. La problemática del accidente de tráfico. In: Arregui C, Luzón J, Seguí-Gómez M, editor. Fundamentos de biomecánica en las lesiones por accidente de tráfico Madrid: Dirección General de Tráfico; 2007. p. 1-20.
- (19) Meurs H, Van Wee B. Land use and mobility: a synthesis of findings and policy implications. EJTIR. 2003;3(2):219-233.
- (20) Van Wee B, Maat K. Land use and transport: a review and discussion of dutch research. EJTIR. 2003;3(2):199-218.
- (21) Schepers P, Hagenzieker M, Methorst R, van Wee B, Wegman F. A conceptual framework for road safety and mobility applied to cycling safety. *Accid Anal Prev.* 2014;62:331-340.

- (22) Simma A, Axhausen KW. Interactions between travel behaviour , accessibility, and personal characteristics: the case of upper Australia. *EJTIR*. 2003;3(2):179-197.
- (23) Haddon W,Jr. Advances in the epidemiology of injuries as a basis for public policy. *Public Health Rep*. 1980;95(5):411-421.
- (24) Last JM. A dictionary of epidemiology. 4th edition. Oxford University Press ed. New York; 2001.
- (25) Yannis G, Papadimitriou E, Lejeune P, Treny V, Hemdorff S, Bergel R, et al. Deliberable 2.1. State of the Art Report on Risk and Exposure Data. : SafetyNet; 2005.
- (26) European Traffic Safety Council ETSC. Exposure data for travel risk assessment: Current practice and future needs in the EU, Brussels. 1999.
- (27) Góngora J. Indicador kilómetros-vehículos recorridos (KVR). Métodos de cálculo en diferentes países. México: Instituto de políticas para el Transporte y Desarrollo de México. Embajada Británica en México; 2012.
- (28) Hakkert AS, Braimaister L. The uses of exposure and risk in road safety studies. Leidschendam. The Netherlands: SWOV. Institute for road safety research; 2002.

- (29) Olabarria M, Perez K, Santamarina-Rubio E, Novoa AM, Racioppi F. Health impact of motorised trips that could be replaced by walking. *Eur J Public Health*. 2012.
- (30) Olabarria M, Perez K, Santamarina-Rubio E, Aragay JM, Capdet M, Peiro R, et al. Work, family and daily mobility: a new approach to the problem through a mobility survey. *Gac Sanit*. 2012.
- (31) Elvik R VT. *The handbook of road safety measures*. The Netherlands: Elsevier; 2004.
- (32) Hakamies-Blomqvist L. Older drivers' accident risk: conceptual and methodological issues. *Accid Anal Prev*. 1998;30(3):293-297.
- (33) Keall MD, Frith WJ. Older driver crash rates in relation to type and quantity of travel. *Traffic Inj Prev*. 2004;5(1):26-36.
- (34) Adams C. Probationary and non-probationary drivers' nighttime crashes in Western Australia, 1996-2000. *J Safety Res*. 2005;36(1):33-37.
- (35) Mayhew DR, Simpson HM, Pak A. Changes in collision rates among novice drivers during the first months of driving. *Accid Anal Prev*. 2003;35(5):683-691.

- (36) Rice TM, Peek-Asa C, Kraus JF. Nighttime driving, passenger transport, and injury crash rates of young drivers. *Inj Prev.* 2003;9(3):245-250.
- (37) Connor J, Norton R, Ameratunga S, Robinson E, Civil I, Dunn R, et al. Driver sleepiness and risk of serious injury to car occupants: population based case control study. *BMJ.* 2002;324(7346):1125.
- (38) Philip P, Vervialle F, Le Breton P, Taillard J, Horne JA. Fatigue, alcohol, and serious road crashes in France: factorial study of national data. *BMJ.* 2001;322(7290):829-830.
- (39) Sandberg D, Anund A, Fors C, Kecklund G, Karlsson JG, Wahde M, et al. The characteristics of sleepiness during real driving at night--a study of driving performance, physiology and subjective experience. *Sleep.* 2011;34(10):1317-1325.
- (40) Akerstedt T, Kecklund G, Horte LG. Night driving, season, and the risk of highway accidents. *Sleep.* 2001;24(4):401-406.
- (41) Clarke DD, Ward P, Truman W. Voluntary risk taking and skill deficits in young driver accidents in the UK. *Accid Anal Prev.* 2005;37(3):523-529.
- (42) Clarke DD, Ward P, Bartle C, Truman W. Killer crashes: fatal road traffic accidents in the UK. *Accid Anal Prev.* 2010;42(2):764-770.

- (43) Keall MD, Frith WJ, Patterson TL. The influence of alcohol, age and number of passengers on the night-time risk of driver fatal injury in New Zealand. *Accid Anal Prev.* 2004;36(1):49-61.
- (44) Griswold J, Fishbain B, Washington S, Ragland DR. Visual assessment of pedestrian crashes. *Accid Anal Prev.* 2011;43(1):301-306.
- (45) Owens DA, Wood JM, Owens JM. Effects of age and illumination on night driving: a road test. *Hum Factors.* 2007;49(6):1115-1131.
- (46) Sullivan JM, Flannagan MJ. The role of ambient light level in fatal crashes: inferences from daylight saving time transitions. *Accid Anal Prev.* 2002;34(4):487-498.
- (47) Institut d'Estudis Regionals i Metropolitans de Barcelona. Aspectos metodol6gicos de la EMQ2006. 2008.
- (48) Szclo M NJ. Epidemiologfa intermedia. Conceptos y aplicaciones. Madrid (Espa1a): Ediciones Diaz de Santos, S.A.; 2003.
- (49) Stata Corporation. Stata Statistical Software: Release 11. College Station, TX: StataCorp LP. 2009.
- (50) Barros AJ, Hirakata VN. Alternatives for logistic regression in cross-sectional studies: an empirical comparison of models that

directly estimate the prevalence ratio. *BMC Med Res Methodol.* 2003;3:21.

(51) Beyer FR, Ker K. Street lighting for preventing road traffic injuries. *Cochrane Database Syst Rev.* 2009;(1):CD004728. doi(1):CD004728.

(52) Theofilatos A, Graham D, Yannis G. Factors affecting accident severity inside and outside urban areas in Greece. *Traffic Inj Prev.* 2012;13(5):458-467.

(53) World Health Organization. *Pedestrian safety: a road safety manual for decision-makers and practitioners.* WHO, 2013.

(54) Haddon W, Jr. The changing approach to the epidemiology, prevention, and amelioration of trauma: the transition to approaches etiologically rather than descriptively based. 1968. *Inj Prev.* 1999;5(3):231-235.

(55) Massie DL, Green PE, Campbell KL. Crash involvement rates by driver gender and the role of average annual mileage. *Accid Anal Prev.* 1997;29(5):675-685.

(56) Williams AF. Teenage drivers: patterns of risk. *J Safety Res.* 2003;34(1):5-15.

(57) Corfitsen MT. Tiredness and visual reaction time among young male nighttime drivers: a roadside survey. *Accid Anal Prev.* 1994;26(5):617-624.

- (58) Akerstedt T, Kecklund G. Age, gender and early morning highway accidents. *J Sleep Res.* 2001;10(2):105-110.
- (59) Doherty ST, Andrey JC, MacGregor C. The situational risks of young drivers: the influence of passengers, time of day and day of week on accident rates. *Accid Anal Prev.* 1998;30(1):45-52.
- (60) Chen LH, Baker SP, Braver ER, Li G. Carrying passengers as a risk factor for crashes fatal to 16- and 17-year-old drivers. *JAMA.* 2000;283(12):1578-1582.
- (61) Arnett JJ. Developmental sources of crash risk in young drivers. *Inj Prev.* 2002;8 Suppl 2:ii17-21; discussion ii21-3.
- (62) Parker D, Manstead AS, Stradling SG, Reason JT. Determinants of intention to commit driving violations. *Accid Anal Prev.* 1992;24(2):117-131.
- (63) Kim S, Kim K. Personal, temporal and spatial characteristics of seriously injured crash-involved seat belt non-users in Hawaii. *Accid Anal Prev.* 2003;35(1):121-130.
- (64) Assum T, Bjornskau T, Fosser S, Sagberg F. Risk compensation--the case of road lighting. *Accid Anal Prev.* 1999;31(5):545-553.
- (65) Lin ML, Fearn KT. The provisional license: nighttime and passenger restrictions--a literature review. *J Safety Res.* 2003;34(1):51-61.

- (66) Chen IG, Durbin DR, Elliott MR, Senserrick T, Winston FK. Child passenger injury risk in motor vehicle crashes: a comparison of nighttime and daytime driving by teenage and adult drivers. *J Safety Res.* 2006;37(3):299-306.
- (67) Santamarina-Rubio E, Perez K, Ricart I, Rodriguez-Sanz M, Rodriguez-Martos A, Brugal MT, et al. Substance use among road traffic casualties admitted to emergency departments. *Inj Prev.* 2009;15(2):87-94.
- (68) Zhao XG, He XD, Wu JS, Zhao GF, Ma YF, Zhang M, et al. Risk factors for urban road traffic injuries in Hangzhou, China. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2009;129(4):507-513.
- (69) Keall MD, Frith WJ, Patterson TL. The contribution of alcohol to night time crash risk and other risks of night driving. *Accid Anal Prev.* 2005;37(5):816-824.
- (70) Clarke DD, Ward P, Bartle C, Truman W. Young driver accidents in the UK: the influence of age, experience, and time of day. *Accid Anal Prev.* 2006;38(5):871-878.
- (71) Plainis S, Murray IJ, Pallikaris IG. Road traffic casualties: understanding the night-time death toll. *Inj Prev.* 2006;12(2):125-128.
- (72) Szclo M, Nieto J. *Epidemiology: Beyond the Basics.* Sudbury, Massachusetts: Jones and Bartlett Publishers; 2003.

- (73) Khorashadi A, Niemeier D, Shankar V, Mannering F. Differences in rural and urban driver-injury severities in accidents involving large-trucks: an exploratory analysis. *Accid Anal Prev.* 2005;37(5):910-921.
- (74) Lee J, Mannering F. Impact of roadside features on the frequency and severity of run-off-roadway accidents: an empirical analysis. *Accid Anal Prev.* 2002;34(2):149-161.
- (75) Morgan A, Mannering FL. The effects of road-surface conditions, age, and gender on driver-injury severities. *Accid Anal Prev.* 2011;43(5):1852-1863.
- (76) Al-Ghamdi AS. Analysis of traffic accidents at urban intersections in Riyadh. *Accid Anal Prev.* 2003;35(5):717-724.
- (77) Alexander J, Barham P, Black I. Factors influencing the probability of an incident at a junction: results from an interactive driving simulator. *Accid Anal Prev.* 2002;34(6):779-792.
- (78) Ewing R. DE. The built environment and traffic safety: a review of empirical evidence. *Journal of Planning Literature.* 2009;23:347.
- (79) Dumbaugh E. RR. Safe Urban Form: revising the relationship between community design and traffic safety. *Journal of the American Planning Association.* 2009;75(3):309.

(80) Dunbar G, Holland CA, Maylor EA. Older pedestrians: A critical review of the literature. Road Safety Research Report 2004;37.

(81) Holland C, Hill R. The effect of age, gender and driver status on pedestrians' intentions to cross the road in risky situations. *Accid Anal Prev.* 2007;39(2):224-237.

(82) Keall MD. Pedestrian exposure to risk of road accident in New Zealand. *Accid Anal Prev.* 1995;27(5):729-740.

(83) Moudon AV, Lin L, Jiao J, Hurvitz P, Reeves P. The risk of pedestrian injury and fatality in collisions with motor vehicles, a social ecological study of state routes and city streets in King County, Washington. *Accid Anal Prev.* 2011;43(1):11-24.

(84) Ostrom M, Eriksson A. Pedestrian fatalities and alcohol. *Accid Anal Prev.* 2001;33(2):173-180.

(85) Tyrrell RA, Patton CW, Brooks JO. Educational interventions successfully reduce pedestrians' overestimates of their own nighttime visibility. *Hum Factors.* 2004;46(1):170-182.

(86) Rothman L, Howard AW, Camden A, Macarthur C. Pedestrian crossing location influences injury severity in urban areas. *Inj Prev.* 2012;18(6):365-370.

(87) Sisiopiku V.P. AD. Pedestrian behaviours at and perceptions towards various pedestrian facilities: an examination based on

observational and survey data. *Transportation Research Part F*. 2003;6:249-274.

(88) Yagil D. Beliefs, motives and situational factors related to pedestrians' self reported behaviour at signal-controlled crossings. *Transportation Research Part F*. 2000;3:1-13.

(89) Novoa AM, Perez K, Borrell C. Evidence-based effectiveness of road safety interventions: a literature review. *Gac Sanit*. 2009;23(6):553.e1-553.14.

(90) Cho G, Rodriguez DA, Khattak AJ. The role of the built environment in explaining relationships between perceived and actual pedestrian and bicyclist safety. *Accid Anal Prev*. 2009;41(4):692-702.

(91) Grundy C, Steinbach R, Edwards P, Green J, Armstrong B, Wilkinson P. Effect of 20 mph traffic speed zones on road injuries in London, 1986-2006: controlled interrupted time series analysis. *BMJ*. 2009;339:b4469.

(92) Duchamp G, Treny V, Hemdorff S, Haddak M, Holló P, Cardoso J, et al. Deliberable 2.5. Risk Exposure Data. Recommendations for collection and exploitation. : SafetyNet; 2008.

(93) Kweon YJ, Kockelman KM. Overall injury risk to different drivers: combining exposure, frequency, and severity models. *Accid Anal Prev*. 2003;35(4):441-450.

- (94) Beck LF, Dellinger AM, O'Neil ME. Motor vehicle crash injury rates by mode of travel, United States: using exposure-based methods to quantify differences. *Am J Epidemiol.* 2007;166(2):212-218.
- (95) Massie DL, Campbell KL, Williams AF. Traffic accident involvement rates by driver age and gender. *Accid Anal Prev.* 1995;27(1):73-87.
- (96) Chipman ML, MacGregor CG, Smiley AM, Lee-Gosselin M. Time vs. distance as measures of exposure in driving surveys. *Accid Anal Prev.* 1992;24(6):679-684.
- (97) Chipman ML, MacGregor CG, Smiley AM, Lee-Gosselin M. The role of exposure in comparisons of crash risk among different drivers and driving environments. *Accid Anal Prev.* 1993;25(2):207-211.
- (98) Al-Balbissi AH. Role of gender in road accidents. *Traffic Inj Prev.* 2003;4(1):64-73.
- (99) Harrison WA, Christie R. Exposure survey of motorcyclists in New South Wales. *Accid Anal Prev.* 2005;37(3):441-451.
- (100) Keall M, Newstead S. Selection of comparison crash types for quasi-induced exposure risk estimation. *Traffic Inj Prev.* 2009;10(1):23-29.

- (101) Lardelli-Claret P, Luna-del-Castillo Jde D, Jimenez-Mejias E, Pulido-Manzanero J, Barrio-Anta G, Garcia-Martin M, et al. Comparison of two methods to assess the effect of age and sex on the risk of car crashes. *Accid Anal Prev.* 2011;43(4):1555-1561.
- (102) Wolfe AC. The concept of exposure to the risk of a road traffic accident and a overview of exposure data collection methods. *Accid Anal Prev.* 1982;14(5):337-340.
- (103) Keall MD, Frith WJ. Characteristics and risks of drivers with low annual distance driven. *Traffic Inj Prev.* 2006;7(3):248-255.
- (104) Langford J, Methorst R, Hakamies-Blomqvist L. Older drivers do not have a high crash risk--a replication of low mileage bias. *Accid Anal Prev.* 2006;38(3):574-578.
- (105) Janke MK. Accidents, mileage, and the exaggeration of risk. *Accid Anal Prev.* 1991;23(2-3):183-188.
- (106) Preusser DF, Williams AF, Ulmer RG. Analysis of fatal motorcycle crashes: crash typing. *Accid Anal Prev.* 1995;27(6):845-851.
- (107) National Highway Traffic Safety Administration. Traffic Safety Facts. Motorcycles. Washington: NHTSA's National Center for Statistics and Analysis; 2007.

- (108) Wood JM, Tyrrell RA, Carberry TP. Limitations in drivers' ability to recognize pedestrians at night. *Hum Factors*. 2005;47(3):644-653.
- (109) Ryan GA, Legge M, Rosman D. Age related changes in drivers' crash risk and crash type. *Accid Anal Prev*. 1998;30(3):379-387.
- (110) Awadzi KD, Classen S, Hall A, Duncan RP, Garvan CW. Predictors of injury among younger and older adults in fatal motor vehicle crashes. *Accid Anal Prev*. 2008;40(6):1804-1810.
- (111) Fontaine H, Gourlet Y. Fatal pedestrian accidents in France: a typological analysis. *Accid Anal Prev*. 1997;29(3):303-312.
- (112) Oxley J, Fildes B, Ihsen E, Charlton J, Day R. Differences in traffic judgements between young and old adult pedestrians. *Accid Anal Prev*. 1997;29(6):839-847.
- (113) McKnight AJ, McKnight AS. Young novice drivers: careless or clueless?. *Accid Anal Prev*. 2003;35(6):921-925.
- (114) Grabowski DC, Morrisey MA. The effect of state regulations on motor vehicle fatalities for younger and older drivers: a review and analysis. *Milbank Q*. 2001;79(4):517-45, iii-iv.
- (115) Li G, Braver ER, Chen LH. Fragility versus excessive crash involvement as determinants of high death rates per vehicle-mile of travel among older drivers. *Accid Anal Prev*. 2003;35(2):227-235.

- (116) Meuleners LB, Harding A, Lee AH, Legge M. Fragility and crash over-representation among older drivers in Western Australia. *Accid Anal Prev.* 2006;38(5):1006-1010.
- (117) Zhu M, Zhao S, Coben JH, Smith GS. Why more male pedestrians die in vehicle-pedestrian collisions than female pedestrians: a decompositional analysis. *Inj Prev.* 2013;19(4):227-231.
- (118) Ulfarsson GF, Mannering FL. Differences in male and female injury severities in sport-utility vehicle, minivan, pickup and passenger car accidents. *Accid Anal Prev.* 2004;36(2):135-147.
- (119) Granie MA. Gender stereotype conformity and age as determinants of preschoolers' injury-risk behaviors. *Accid Anal Prev.* 2010;42(2):726-733.
- (120) Granié MA. Effects of gender, sex-stereotype conformity, age and internalization on risk-taking among adolescent pedestrians. *Safety Science.* 2009;47:1277-1283.
- (121) Yagil D. Gender and age-related differences in attitudes toward traffic laws and traffic violations. *Transportation Research Part F.* 1998;1:123-135.
- (122) Lonczak HS, Neighbors C, Donovan DM. Predicting risky and angry driving as a function of gender. *Accid Anal Prev.* 2007;39(3):536-545.

- (123) Bergdahl J. Ethnic and gender differences in attitudes toward driving. *The Social Science Journal*. 2007;44:91-97.
- (124) Harré N, Field J, Kirkwood B. Gender Differences and Areas of Common Concern in the Driving Behaviors and Attitudes of Adolescents. *Journal of Safety Research*. 1996;27:163-173.
- (125) Harré N, Brandt T, Dawe M. The Development of Risky Driving in Adolescence. *Journal of Safety Research*. 2000;31(4):185-194.
- (126) Martin JL. Relationship between crash rate and hourly traffic flow on interurban motorways. *Accid Anal Prev*. 2002;34(5):619-629.
- (127) Williams AF. Nighttime driving and fatal crash involvement of teenagers. *Accid Anal Prev*. 1985;17(1):1-5.
- (128) Mortimer RG, Fell JC. Older drivers: their night fatal crash involvement and risk. *Accid Anal Prev*. 1989;21(3):273-282.
- (129) Andrey J, Yagar S. A temporal analysis of rain-related crash risk. *Accid Anal Prev*. 1993;25(4):465-472.
- (130) Andrey J, Mills B, Leahy M, Suggett J. Weather as a Chronic Hazard for Road Transportation in Canadian Cities. *Weather as a Chronic Hazard for Road Transportation in Canadian Cities*. 2003;28:319-343.

(131) Calabrese F, Diao M, Di Lorenzo G, Ferreira J, Ratti C. Understanding Individual Mobility Patterns from Urban Sensing Data: A Mobile Phone Trace Example. EEUU: National University of Singapore. Massachusetts Institute of Technology. IBM Research; 2012.

(132) Novoa AM, Pérez K, Borrell C. Evidence-based effectiveness of road safety interventions: a literature review. *Gac Sanit.* 2009; 23(6):553.

(133) Cho G, Rodriguez DA, Khattak AJ. The role of built environment in explaining relationships between perceived and actual pedestrian and bicyclist safety. *Accid Anal Prev.* 2009; 41(4):692-702.

(134) Grundy C, Steinbach R, Edwards P, Green J, Armstrong B, Wilkinson P. Effect of 20 mph traffic speed zones on road injuries in London, 1986-2006: controlled interrupted time series analysis. *BMJ.* 2009;339,b4469.

