

## **RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES Y AUDITORÍAS DE SEGURIDAD VIAL**

**Jesús Alonso Trigueros**  
ETS Ingeniería Civil. Universidad Politécnica de Madrid

### **Resumen**

A nivel mundial, se estima que cada año 1.2 millones de personas mueren en accidentes de carretera. En 2.012, murieron más de 30.000 personas sólo en la Unión Europea. Por cada muerte en las carreteras europeas, se estiman unas 4 personas con discapacidad permanente, 8 con daños serios y 50 con heridas menores. Esto constituye un problema social y económico de gran relevancia que sólo se puede combatir con un sistema de gestión integral de la seguridad vial. Disponer de datos sobre accidentalidad y conocer las circunstancias que rodean a los accidentes puede ser de vital importancia tanto en la toma de medidas paliativas que reduzcan sus consecuencias como en el diseño de medidas preventivas emanado de la evaluación de la seguridad vial. En este trabajo, se propone la construcción de un indicador global, el Índice de Riesgo Viario (*IRV*), que combine algunos indicadores parciales existentes reflejando su importancia relativa, de acuerdo con los datos disponibles sobre accidentalidad. El índice propuesto puede ser útil como herramienta para la gestión de la seguridad de las infraestructuras viarias que recomienda la Directiva europea 2008/96/CE.

#### **Palabras clave:**

Reconstrucción de accidentes, auditorías de seguridad vial, indicadores de riesgo viario, análisis multicriterio.

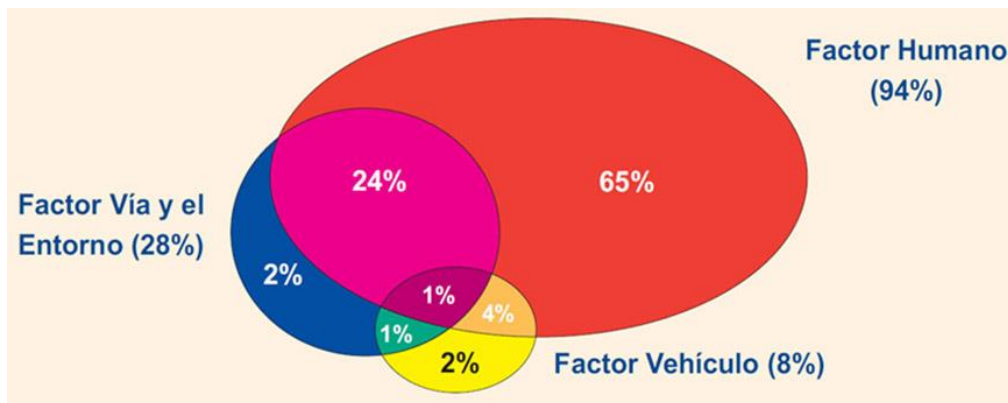
### **1. INTRODUCCIÓN**

La seguridad vial se apoya en tres pilares fundamentales: conductor, vehículo e infraestructuras. El reto en seguridad vial es minimizar las consecuencias de los errores humanos mediante unos vehículos y unas infraestructuras preparados para ello.

En los últimos años, los esfuerzos dedicados a procurar una actitud segura frente a la conducción y a mejorar la seguridad de los vehículos van dando sus frutos y reduciendo los resultados de mortalidad. Además, las inversiones en los programas de creación de infraestructuras junto con la conservación y explotación de la red viaria contribuyen a la mejora de la seguridad vial.

En cuanto a las infraestructuras, es importante considerar el nivel de responsabilidad de las administraciones en la accidentalidad de un país. Se trata no sólo de inaugurar

nuevas redes, sino de realizar una buena gestión de la red existente y de poner en marcha un sistema en el que los expertos sean capaces de diagnosticar el problema y diseñar estrategias que conduzcan a soluciones satisfactorias.



**Figura 1. Factores que contribuyen a que se produzca un accidente. Main Roads Western Australia.**

Las políticas paliativas de seguridad vial y las medidas preventivas de seguridad vial comienzan a ir de la mano en todos los países avanzados, que apuestan por resolver problemas potenciales antes de que puedan derivar en accidentes. En este contexto, las auditorías de seguridad vial –que tienen su origen en el Reino Unido hacia los años 80 del siglo XX- constituyen una de las herramientas más útiles para la mejora de la seguridad vial.

Una auditoría de seguridad vial consiste en un procedimiento sistemático por el que profesionales cualificados e independientes comprueban las condiciones de seguridad de un proyecto de una carretera nueva, de una carretera existente o de cualquier proyecto que pueda afectar a la seguridad de la vía o a los usuarios. El fin último de una auditoría de seguridad vial es reducir la probabilidad de que se produzcan accidentes y, en caso de que sucediesen, reducir la lesividad derivada de los mismos. Todo ello teniendo en cuenta los costes socioeconómicos de las medidas a implantar y los derivados de los accidentes.

La Unión Europea, en el libro blanco “La Política Europea de Transportes de cara a 2010: la hora de la verdad” y en el Plan de Acciones de Seguridad Vial, desarrollado para el período 2002-2010, señalaba la necesidad de realizar auditorías de seguridad vial de manera sistemática, tanto para las carreteras en servicio como para las de nueva creación.

La Directiva 2008/96/CE, de 19 de noviembre de 2008 sobre gestión de la seguridad de las infraestructuras viarias (trasladada a la legislación nacional mediante el RD 345/2011 de 11 de marzo, para la Red de Carreteras del Estado) es la piedra angular para la mejora. Esta Directiva “exige el establecimiento y la aplicación de procedimientos relacionados con las evaluaciones de impacto de la seguridad vial, las auditorías de seguridad vial, la gestión de la seguridad de la red de carreteras y las inspecciones de seguridad por parte de los Estados Miembros”. La Directiva se aplica “a todas las carreteras integrantes de la red transeuropea de carreteras (TERN),

independientemente de que se encuentren en fase de diseño, de construcción o de explotación” pero además puede extenderse a vías no integradas en la TERN: “los Estados miembros podrán aplicar las disposiciones de la Directiva, como un conjunto de buenas prácticas, también para la infraestructura nacional de transporte por carretera, no incluida en la red transeuropea de transportes, que se haya construido mediante el recurso total o parcial de fondos comunitarios”.

Los métodos de actuación normativos, en el marco general Ley 25/1988, de 29 de julio, de Carreteras, son los siguientes:

1. Evaluación del impacto de las infraestructuras viarias en la seguridad en la fase inicial de la planificación.
2. Auditorías de seguridad viaria en las fases de anteproyecto, proyecto, previa a la puesta en servicio y en el período inicial en servicio de las carreteras.
3. Clasificación de seguridad de los tramos de la red atendiendo a la concentración de accidentes y al potencial de mejora de la seguridad.
4. Tratamiento prioritario de los tramos de concentración de accidentes y de los que presenten un mayor potencial de ahorro de costes causados por los accidentes.
5. Inspecciones periódicas de seguridad viaria en las carreteras en servicio.

La Directiva europea considera expresamente la clasificación y gestión de la seguridad de la red de carreteras en explotación, centrándose en la clasificación de los tramos de carretera con alta concentración de accidentes y la clasificación de la seguridad de la red, estableciendo la obligación de que los Estados miembros realicen exámenes de la explotación de la red de carreteras, como mínimo cada tres años.

Los tramos de carretera han de clasificarse en categorías en cuanto a la seguridad de la red. Para cada categoría, la clasificación debe traducirse en listas priorizadas de tramos de carretera en los que una mejora de la infraestructura tiene posibilidad de ser altamente efectiva. Los tramos de mayor prioridad deben ser evaluados in situ por expertos y ser objeto de actuaciones correctoras atendiendo a la rentabilidad. Se consideran de forma especial los tramos de concentración de accidentes (TCA) y los tramos de alto potencial de mejora de la seguridad vial (TAPM).

La Directiva recoge asimismo la necesidad de realizar inspecciones periódicas de seguridad en las carreteras en uso para determinar las características relacionadas con la seguridad vial y contribuir a la prevención de accidentes. Se trata de un procedimiento más simple que una auditoría propiamente dicha pero la filosofía es similar.

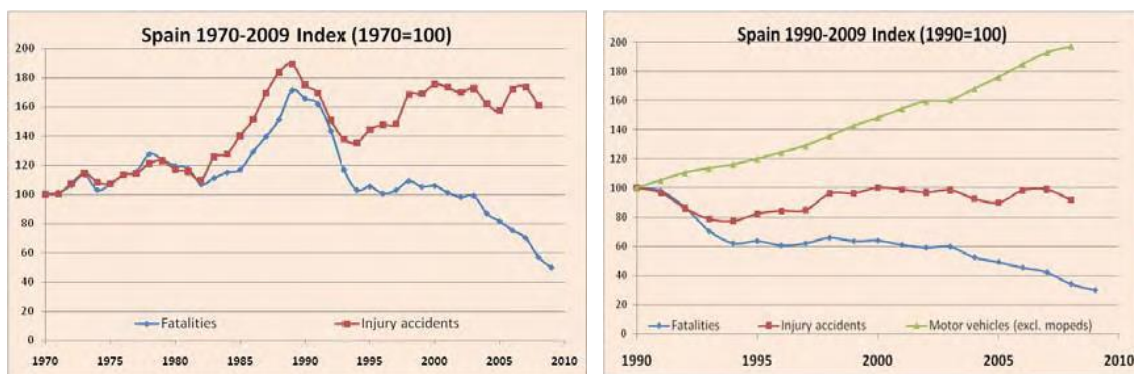
Además de un equipo humano cualificado, una auditoría, o una inspección, requiere información suficiente, tanto de los aspectos relativos a la vía, el entorno y la circulación como, y sobre todo, de la accidentalidad.

Para determinar los tramos de carretera con alta concentración de accidentes, la normativa establece que se debe considerar por lo menos el número de accidentes con víctimas mortales ocurridos en años anteriores por unidad de longitud de la carretera en relación al volumen del tráfico y, en el caso de las intersecciones, el número de tales accidentes por intersección.

La reconstrucción de accidentes de tráfico aplica métodos científicos al estudio de los accidentes. Su objetivo es determinar las causas directas e indirectas de los accidentes; los daños producidos, y los factores que influyen en los mismos. Se obtienen así datos sobre los tres pilares hombre-vehículo-medio, útiles en el propósito de disminuir el número y la gravedad de los accidentes.

La reconstrucción de accidentes es por tanto una herramienta indispensable en cualquier evaluación de seguridad vial, tanto para identificar las áreas prioritarias de actuación como para hacer una valoración cuantitativa de la eficacia de las medidas adoptadas para mejorar la seguridad de la circulación.

En 1988, el Programa de Investigación en Transporte por Carreteras (OECD Road Transport Research Programme) establece la base de datos denominada International Road Traffic and Accident Database (IRTAD).



**Figura 2. Datos sobre accidentalidad proporcionados por la IRTAD.**

Dada la utilidad de las comparaciones internacionales, es conveniente adoptar nomenclatura y medidas estándar. Es el caso del “Glossary for Transport Statistics” acordado por UNECE (United Nations Economic Commission for Europe), EUROSTAT (The Statistical Office of the European Communities) y ECMT (European Conference of Ministers of Transport) y de la base de datos sobre accidentes en carreteras europeas “Community data bank of Road traffic Accidents in Europe (CARE), iniciada en 1993. También es el caso del “Annual PIN Report”, elaborado por el European Transport Safety Council (ETSC) enfocado a los objetivos europeos de seguridad vial para el 2020.

## 2. OBJETIVOS

En este trabajo se pretende definir un indicador que refleje el nivel de peligrosidad de un tramo de carretera a partir de los datos proporcionados por la reconstrucción de accidentes. Este indicador puede ser útil tanto para clasificar los tramos de carretera de acuerdo con la seguridad de la red, según la normativa vigente, como para determinar cuándo se requiere la realización de una inspección de seguridad vial. Asimismo, el propio índice –que se denominará Índice de Riesgo Viario- podría constituir una de los factores a tener en cuenta dentro de las auditorías de seguridad vial.

Las primeras iniciativas en cuanto a la construcción de indicadores de seguridad vial comienzan en 1969, en Estados Unidos, con el análisis de datos sobre muertes en carretera antes y después de la imposición de límites de velocidad (55 mph (89 km/h)) y de medidas anti-alcohol.

En un principio se tenían en cuenta unos 30 factores, como el consumo anual de vino, de licores y de cerveza, el gasto en mantenimiento de carreteras, la temperatura mínima, número de agentes por cada 100.000 habitantes, la calidad del examen de conducción, etc.




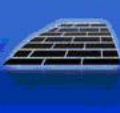


Posteriormente, se seleccionaron 6 factores que explicaban el 70% de la variación de los datos, a saber, el porcentaje de vías rurales, el aumento porcentual de la matriculación de vehículos a motor, el alcance de las inspecciones mecánicas, el porcentaje de vías asfaltadas, la temperatura media anual y la renta per cápita.

Hacia 2005, se desarrolló en Suecia el Road Safety Development Index (RSDI) para establecer un ranking de progreso de la seguridad vial en diferentes países o regiones, sobre todo en vías de desarrollo. La metodología utilizada para construir el índice es similar a la empleada por la ONU en su Human Development Index (HDI). Se consideraron catorce factores que influyen en el progreso de la seguridad vial, agrupados en nueve bloques temáticos, del modo siguiente:

- Tráfico (B1): accidentes fatales por vehículo (D1).
- Riesgo personal (B2): accidentes fatales por cantidad población (D2).
- Salud (B3): severidad (gravedad/accidentes) (D3) esperanza vida (D4)
- Educación (B4): nivel estudios (D5) (D4 e D5 ya calculados para HDI).
- Vehículo (B5): matriculación vehículos (D6) porcentaje de dos ruedas (D7).
- Estado carreteras (B6): pavimentación (D8) gastos mantenimiento (D9).
- Comportamiento conductor (B7): porcentaje de accidentes causados por alcohol (D10), porcentaje de accidentes causados por velocidad (D11), porcentaje uso de cinturón (D12).
- Nivel de vida (B8): Renta per cápita (D13) (ya calculado para HDI).
- Urbanización (B9): porcentaje de población urbana (D14).

Se propusieron diversas maneras de ponderar estos factores para elaborar el índice, asignar pesos iguales, basar la ponderación en la literatura existente sobre el tema, así como consideraciones estadísticas que utilizan análisis de componentes principales para reducir el número de factores a tener en cuenta.

Recientemente, en 2008, se ha establecido un índice de seguridad viaria, denominado RSI (Road Safety Index), en el marco del proyecto europeo RANKERS (RANKing for European Road Safety) con la colaboración de la Fundación CIDAUT (España) entre otros. En este caso, los bloques temáticos considerados son 6: el trazado de la carretera; las intersecciones; lo relativo a los adelantamientos; la protección frente a obstáculos; la capa de rodadura y la consistencia.

	<b>ROAD ALIGNMENT:</b> lanes & shoulder width, curvature radius, visibility, etc.		<b>ROADSIDE:</b> geometry, presence of obstacles and distance to the carriageway, safety equipment, etc.
	<b>JUNCTIONS:</b> nº of junctions present, nº of private accesses and their coordination, level of signing at intersections, etc.		<b>PAVEMENT:</b> assessment of the pavement status, superelevation coordination and transition in curves, etc.
	<b>OVERTAKING:</b> coherence between road marking – vertical signs, available visibility for overtaking manoeuvres.		<b>ROAD LAYOUT CONSISTENCY:</b> relationship between curvature of consecutive curves, drivers' perception, etc.

**Figura 3. Bloques temáticos en el Road Safety Index (RSI)**

En este caso, para definir el indicador de seguridad viaria correspondiente, se asigna el mismo nivel de importancia a cada factor.

Sin embargo, como indican los datos obtenidos fruto de la reconstrucción de accidentes, no todos los factores influyen en la misma proporción. Por ello, en este trabajo se propone la elaboración de un Índice de Riesgo Viario (IRV) que tenga en cuenta la importancia relativa de unos criterios sobre otros, de acuerdo con los datos disponibles y con la opinión de los expertos.

### 3. METODOLOGÍA

Para construir un índice global que tenga en cuenta una serie de criterios relevantes en la cuantificación de un tema concreto, es conveniente ponderar dichos criterios, asignándoles pesos que reflejen su importancia relativa. El *análisis multicriterio*, concebido en el ámbito de las ciencias económicas y la ingeniería industrial, y desarrollado ampliamente a partir de los años setenta, es un procedimiento habitual en la planificación de los transportes que permite estudiar de manera homogénea y simultánea un gran número de factores y que resulta útil para reducir la subjetividad humana en la asignación de pesos y orientar la toma de decisiones de los expertos.

Uno de los métodos de aplicación del análisis multicriterio es el llamado *proceso analítico jerárquico* (AHP: analytical hierarchy process) (Saaty, T. L., 1980) en el que la asignación de pesos se realiza a través de una *matriz de comparación por parejas*. Utilizando AHP, a partir de la opinión de los expertos, es posible determinar pesos que reflejen su experiencia y conocimiento de manera natural e intuitiva. Esta metodología ya ha sido utilizada con éxito para definir un Índice de Movilidad Urbana Sostenible (Campos, Ramos, 2005) y un Índice de Accesibilidad Urbana (Alonso, 2006; Alonso, Vázquez-Gallo, 2008).

En este trabajo, los criterios a los que se aplicará el método AHP son los atributos y descriptores relacionados con el riesgo asociado a un tramo de carretera, que se describen en la sección 4.

### 3.1 Construcción general de indicadores.

Se consideran  $n$  criterios:  $I_1, I_2, \dots, I_n$ , a los que asignar pesos no nulos  $w_1, w_2, \dots, w_n$ , tales que su suma es  $1$ . La matriz de comparación por parejas  $C$ , es una matriz cuadrada  $n \times n$ , en la que el elemento de la fila  $i$ , columna  $j$ , se define como  $c_{ij} = w_i/w_j$ , para que refleje la importancia relativa del criterio  $i$  respecto al criterio  $j$ . En particular, un elemento de la diagonal  $c_{ii}$  siempre es  $1$  (representa la importancia relativa de un criterio respecto a sí mismo) y, conocido un elemento  $c_{ij}$ , su simétrico respecto de la diagonal,  $c_{ji}$ , es simplemente  $1/c_{ij}$  (con lo que conocido el triángulo inferior de la matriz, se puede determinar el superior y viceversa). De este modo, la suma de los elementos de cada columna de  $C$  (para la columna  $j$ -ésima:  $w_1/w_j + w_2/w_j + \dots + w_n/w_j$ ) resulta ser el inverso del peso del criterio correspondiente ( $1/w_j$ ). En conclusión, conocida la matriz  $C$ , los pesos buscados se determinan fácilmente.

Para construir esta matriz, basta con solicitar a los expertos, las  $(n^2-n)/2$  comparaciones por parejas que corresponden al triángulo inferior (o superior) de la matriz, frente a las  $n^2$  posibles. En dichas comparaciones, el experto se pregunta por el grado de importancia relativa de un criterio frente a otro. De acuerdo con su respuesta, se determina un valor numérico para el elemento correspondiente de la matriz, según la tabla siguiente:

Tabla 1: Valores numéricos de comparación por parejas.

1	Igual
3	Débil
5	Fuerte
7	Muy fuerte
9	Extremo

Asimismo, se pueden utilizar los valores 2, 4, 6 y 8 para los casos intermedios. De acuerdo con la definición de la matriz de comparación, para una colección de pesos dada, debería cumplirse la llamada *relación de consistencia*,  $c_{ik} = c_{ij} \times c_{jk}$ , para todos los elementos de la matriz.

Pero la vaguedad del lenguaje y el eventual cambio de opinión al pasar de unas comparaciones a otras, producen con frecuencia inconsistencia en la matriz de comparación.

Por ejemplo, supongamos que un experto opina que el criterio  $I_2$  es extremadamente más importante que el criterio  $I_4$  y que éste es extremadamente más importante que el  $I_5$ . Consecuentemente, pensará que el criterio  $I_2$  es extremadamente más importante que el criterio  $I_5$ . Traduciendo esta información a la matriz de comparación, resulta que  $c_{24} = c_{45} = c_{25}$ . Pero entonces, no se cumple la relación de consistencia  $c_{25} = c_{24} \times c_{45}$ , ya que  $9 < 9 \times 9$ .

Para resolver este problema, una posibilidad sería volver a obtener la opinión de los expertos hasta que la matriz resulte consistente, pero no resulta muy práctico porque puede ser necesario hacerlo muchas veces. Otra opción es considerar el llamado *índice de consistencia* de la matriz, definido con la fórmula:  $CI = (\lambda_{max} - n)/(n-1)$  con  $\lambda_{max}$  el



valor absoluto máximo de los *autovalores* de la matriz de comparación  $C$ . Cuando la matriz es consistente  $\lambda_{max} = n$  y, por tanto,  $CI=0$ . Se puede comparar este índice con el índice de consistencia media de matrices generadas aleatoriamente, conocido como *índice aleatorio* ( $RI$ : random index). El cociente entre ambos, llamado *ratio de consistencia* ( $CR$ : consistency ratio) determina la consistencia global de los juicios AHP (Sinha, K. C., Labi, S., 2007). Saaty considera admisibles las matrices de comparación con  $CR=CI/RI<0.1$  y propone repetir las preguntas a los expertos hasta conseguir que se cumpla esta última relación. Sigue sin ser la situación ideal, pues la consistencia no es completa y es preciso solicitar la opinión de los expertos varias veces.

En este trabajo se emplea la *técnica de la consistencia forzada* (Taira et al, 1996). Los elementos suficientes para construir la matriz de comparación se distribuyen en dos clases: una colección de elementos independientes entre sí (no vinculados por relaciones de consistencia) y el resto de los elementos. Estos últimos son redundantes en el sentido de que pueden obtenerse a partir de los primeros utilizando las relaciones de consistencia. Basta entonces con solicitar las comparaciones por parejas correspondientes a los elementos independientes, con el consiguiente ahorro de tiempo y datos necesarios.

El *número de elementos independientes* en la matriz de comparación resulta ser  $n-1$ . Esto se puede comprobar identificando los  $n$  criterios con los vértices de un polígono de  $n$  lados, y los  $(n^2-n)/2$  elementos suficientes para construir la matriz, con los segmentos que conectan a los vértices. El número de elementos independientes es entonces el número mínimo de segmentos que permiten conectar los  $n$  vértices, es decir,  $n-1$ . Pero hay muchas colecciones posibles de  $n-1$  segmentos como los anteriores. De acuerdo con Taira et al (1996), un algoritmo adecuado para seleccionar los  $n-1$  elementos independientes de la matriz es el siguiente:

- A partir de la opinión de los expertos, se ordenan los  $n$  criterios en cuestión atendiendo a su importancia.
- Los  $n$  criterios se colocan verticalmente como nodos de un grafo en el que: si el criterio  $I_i$  es más importante que el  $I_j$ , el nodo  $I_i$  está por encima del nodo  $I_j$ ; y si ambos criterios son igualmente importantes, los nodos correspondientes están al mismo nivel.
- Los  $n-1$  elementos independientes seleccionados entonces son los dados por  $n-1$  ramas del grafo de tamaño lo menor posible.

Por ejemplo, para  $n=4$ , supongamos que  $I_1$  es igual de importante que  $I_2$ ,  $I_2$  es más importante que  $I_3$  y, finalmente,  $I_3$  es más importante que  $I_4$ . El grafo resultante será una letra "Y", con  $I_1$  e  $I_2$  en la parte superior,  $I_3$  en el centro e  $I_4$  en la parte inferior. Entonces, una colección formada por  $n-1=3$  elementos independientes es la dada por  $c_{13}$ ,  $c_{23}$  y  $c_{34}$ . Supongamos que en la comparación por parejas, los expertos deciden  $c_{13}=3$   $c_{23}=5$  y  $c_{34}=3$ . A partir de ellos, por consistencia:  $c_{14} = c_{13} \times c_{34}=9$ ;  $c_{24} = c_{23} \times c_{34}=15$  y  $c_{12} = c_{14} / c_{24}=3/5$ . Se tienen así los  $(n^2-n)/2=6$  elementos suficientes para construir la matriz  $C$  que resulta ser:



$$C = \begin{pmatrix} 1 & 3/5 & 3 & 9 \\ 5/3 & 1 & 5 & 15 \\ 1/3 & 1/5 & 1 & 3 \\ 1/9 & 1/15 & 1/3 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

A partir de esta matriz (consistente por construcción), el inverso de la suma de los elementos de cada columna es el peso del criterio que le corresponde. En este caso:  $w_1=9/28$ ;  $w_2=15/28$ ;  $w_3=3/28$  y  $w_4=1/28$  son los pesos buscados, que reflejan la opinión de los expertos.

Teniendo un método con el que ponderar los factores que intervienen en la cuestión que se pretende medir, las etapas en la definición del índice son las siguientes:

1. Seleccionar los descriptores significativos en relación con lo que medirá el índice y agruparlos en bloques temáticos, los llamados atributos.
2. Asignar pesos a los atributos anteriores y dentro de ellos a sus descriptores, a través del proceso jerárquico analítico (AHP) descrito anteriormente, que reflejará la opinión de los expertos del área. Los pesos son números entre 0 y 1 que indican el grado de importancia concedido a los atributos, y dentro de ellos a los descriptores, como criterios de evaluación.
3. Obtener valores de referencia de cada descriptor.

A partir de aquí,

- para cada bloque temático o atributo, se sumará o restará –de acuerdo con su influencia positiva o negativa - el producto del valor de referencia de cada descriptor de ese bloque por el peso que se le haya asignado; esta suma dará como resultado un número entre 0 y 1 para cada bloque temático que puede interpretarse como un subíndice correspondiente a dicho bloque;

- se multiplicará el subíndice anterior por el peso asignado a su atributo; este proceso se hará para todos los atributos. El número entre 0 y 1 dado por la suma de los resultados obtenidos será el valor del índice.

En fórmulas,

$$IRV = \sum_{i=1}^m \rho_i a_i \quad (2)$$

donde:  $m$  es el número de bloques temáticos o atributos;  $\rho_i$  es el peso del bloque temático  $i$ -ésimo; y, finalmente,  $a_i$  es el subíndice correspondiente al atributo  $i$ -ésimo, que se calcula con la fórmula:

$$a_i = \sum_{j=1}^{n_i} \alpha_j \varpi_j d_j \quad (3)$$

donde:  $n_i$  es el número de descriptores del bloque temático  $i$ -ésimo;  $\alpha_j$  es 1 (ó -1) según el descriptor  $j$ -ésimo contribuya positivamente (o negativamente);  $\omega_j$  es el peso del

descriptor  $j$ -ésimo del bloque  $i$ -ésimo;  $d_j$  es el valor de referencia normalizado del descriptor  $j$ -ésimo.

Se pueden considerar cuatro rangos de riesgo para el tramo que se desee estudiar, así se considerará que, desde el punto de vista de la seguridad viaria, la carretera presenta un “*riesgo bajo*”, cuando su *IRV* sea inferior a 0.25; “*riesgo medio*”, cuando su *IRV* esté entre 0.25 y 0.5; “*riesgo alto*” cuando su *IRV* sea mayor de 0.5 y menor de 0.75; y “*riesgo extremo*” cuando su *IRV* sea igual o superior a 0.75.

A continuación, se construye el denominado Índice de Riesgo Viario (*IRV*) siguiendo la metodología recién descrita.

#### 4. RESULTADOS

Se han establecido los siguientes atributos y descriptores para la definición del Índice de Riesgo Viario (*IRV*) correspondiente a un tramo de carretera interurbana:

- Índice de Peligrosidad  $a_1$ , proporción de exceso del Índice de Peligrosidad del tramo sobre el valor medio de este índice en el año anterior. Si en lugar de exceso, se produce defecto, el signo para la contribución al *IRV* se toma negativo, puesto que el riesgo disminuye. Si la proporción supera la unidad, se toma 1.

El Índice de Peligrosidad se define como el número de accidentes con víctimas registrado por cada 100 Millones de vehículos-km. Este índice se utiliza por parte del Ministerio de Fomento español en sus informes sobre accidentalidad y es similar, salvo cambio de escala, al denominado *KSI* (Killed or Seriously Injured) y a la “Accident Rate” que usa el European Transport Safety Council (ETSC).

- Trazado de la carretera  $a_2$ , definido a través de los siguientes descriptores: peraltes, puntos de mala visibilidad (cambios de rasante y curvas), y anchura de plataforma. En todos los casos, el valor de referencia de cada descriptor será la proporción de situaciones deficientes con respecto al total, por ejemplo, la proporción de peraltes inadecuados frente al total de peraltes;
- Intersecciones  $a_3$ , definidas a través de los siguientes descriptores: porcentaje del tramo en que el número medio de intersecciones por km supera 0.3, porcentaje de intersecciones con señalización deficiente, porcentaje de intersecciones quebradas o en “T” y porcentaje de intersecciones en cruz;
- Elementos relacionados con adelantamientos  $a_4$ , definido a través de los siguientes descriptores: porcentajes de señalización horizontal inadecuada y porcentajes de señalización vertical inadecuada;
- Equipamiento de seguridad: barreras e iluminación  $a_5$ , definido a través de los siguientes descriptores: porcentaje de zonas con protección insuficiente y porcentaje de longitud del tramo sin iluminación;

- Capa de rodadura  $a_6$ , definida a través de los siguientes descriptores: porcentaje del tramo de carretera en el que el Índice de Fricción Internacional (*IFI*) – parámetro que tiene en cuenta la resistencia al deslizamiento y la profundidad de la textura- es inferior a 25, de acuerdo con el modelo que relaciona el *IFI* con el número de accidentes por km (Fernandes, Neves, 2011); porcentaje del tramo de carretera en el que el valor del Índice de Regularidad Internacional (*IRI*) – desplazamiento vertical acumulado durante la distancia recorrida- supere los 2.5 dm./hm. establecidos por la norma;
- Consistencia de la carretera  $a_7$ , definida a través de los siguientes descriptores: porcentaje del tramo en el que la consistencia se considera mala, es decir, la diferencia entre la velocidad de operación y la velocidad de diseño supera los 20 km/h (García et al, 2012). La velocidad de operación en km/h se calcula con el modelo de Castro (2005):

$$V_{85} = 120,16 - \frac{5596,72}{R}$$

siendo R el radio de curvatura en m.

Estos 6 últimos atributos son similares a los utilizados en el índice *RSI* (Road Safety Index) mencionado en la sección 2. En ese caso no se tiene en cuenta su importancia relativa. En este trabajo, de acuerdo con los datos disponibles sobre reconstrucción de accidentes, se asigna una importancia relativa a estos atributos, para construir el *IRV* como se describía en la sección 3.1. Se propone que:

Para determinar el índice *IRV*, una vez definidos los atributos y sus descriptores, se obtienen los pesos correspondientes, aplicando el método AHP, descrito con detalle en la sección 3.1.

Los pesos de los atributos resultan ser,  $\rho_1=0.43$ ;  $\rho_2=0.15$ ;  $\rho_3=0.15$ ;  $\rho_4=0.15$ ;  $\rho_5=0.07$ ;  $\rho_6=0.03$  y  $\rho_7=0.02$ .

En cuanto a los pesos de los descriptores dentro de cada atributo, que permiten calcular el subíndice correspondiente a dicho atributo, resultan los siguientes:

1. Índice de peligrosidad.  $\omega_1=0.43$
2. Trazado:  $\omega_1=0.57$ ;  $\omega_2=0.28$ ;  $\omega_3=0.15$
3. Intersecciones:  $\omega_1=0.43$ ;  $\omega_2=0.29$ ;  $\omega_3=0.19$ ;  $\omega_4=0.09$
4. Lo relativo a los adelantamientos:  $\omega_1=0.6$ ;  $\omega_2=0.4$
5. Equipamiento de seguridad:  $\omega_1=0.6$ ;  $\omega_2=0.4$
6. Capa de rodadura:  $\omega_1=0.66$ ;  $\omega_2=0.34$
7. Consistencia:  $\omega_1=0.02$

Respecto a los valores de referencia de cada descriptor, se toman, a modo de ejemplo, los siguientes datos:

1. Índice de peligrosidad.  $d_1=0.4$ .
2. Trazado:  $d_1=0.05$ ;  $d_2=0.07$ ;  $d_3=0.07$ .
3. Intersecciones:  $d_1=0.4$ ;  $d_2=0.2$ ;  $d_3=0.6$ ;  $d_4=0.2$ .
4. Lo relativo a los adelantamientos:  $d_1=0.2$ ;  $d_2=0.01$

5. Equipamiento de seguridad:  $d_1=0.5$ ;  $d_2=0.7$ .
6. Capa de rodadura:  $d_1=0.15$ ;  $d_2=0.6$ ;
7. Consistencia:  $d_1=0.15$ .

Finalmente, el índice *IRV*, según la fórmula (2), resulta ser:  $IRV= 0.303$ , valor que indicaría que el tramo de carretera interurbana estudiado tiene un “*riesgo medio*”, lo que indica que, a pesar de no ser alarmante el resultado, hay margen para la disminución del riesgo vial del tramo, por lo que se debería hacer una inspección de seguridad vial encaminada al estudio de las medidas oportunas necesarias para la mejora de su seguridad.

## 5. CONCLUSIONES

- Es posible relacionar los datos obtenidos fruto de la reconstrucción de accidentes en una carretera con las características de la vía, disponiendo así de una base de datos fiable acerca de los factores que caracterizan la seguridad en ella.
- La subjetividad existente en la evaluación de la seguridad viaria en la actualidad y en el futuro de una carretera, se puede eliminar, al menos en parte, mediante la aplicación de procesos jerárquicos analíticos para decidir la importancia relativa de los diversos factores que influyen en dicha seguridad.
- Es posible cuantificar el nivel de riesgo de un tramo de carretera interurbana mediante la aplicación de un índice como el *IRV* expuesto. Esto permite tomar decisiones encaminadas a la mejora de la seguridad viaria, en función de la evolución del *IRV* y, asimismo, comparar unos tramos de carreteras con otros y, también, unas carreteras con otras, desde el punto de vista de su riesgo viario.
- Se pueden crear mapas temáticos que permitan identificar zonas o tramos relativos a algunos parámetros, tales como: itinerarios seguros; zonas con deficiencias de señalización; ubicación de zonas potencialmente peligrosas; zonas con riesgo alto de accidentes; etc.
- La determinación del Índice de Riesgo Viario (*IRV*) en distintos tramos de carretera puede contribuir de manera decisiva en un sistema de gestión integral de la seguridad vial, en tanto en cuanto permitirá decidir si se hace necesaria la toma de medidas paliativas que reduzcan las consecuencias de los accidentes o bien la necesidad de implementar medidas preventivas fruto de la evaluación de la seguridad vial en el tramo de estudio.
- La obtención de un elevado *IRV*, indicaría la necesidad urgente de llevar a cabo una inspección para mejorar las condiciones de seguridad vial del tramo. Asimismo, el índice descrito se podría utilizar como una herramienta más de apoyo para evaluar la realidad de la seguridad viaria, por lo que sería muy útil en las auditorías de seguridad vial. Asimismo este indicador puede ser útil para clasificar los tramos de carretera según su nivel de riesgo, de acuerdo con la normativa vigente.

## 6. REFERENCIAS

Alonso Trigueros, J. (2006) Hacia una cuantificación de la accesibilidad urbana. CIMO

2006. 1º Congreso Internacional: los Ciudadanos y la gestión de la MOvilidad. p. 122.

Alonso Trigueros, J., Vázquez Gallo, M. J., (2008) Planificación de la accesibilidad urbana basada en índices jerárquicos analíticos, CIMO 2008. 2º Congreso Internacional: los Ciudadanos y la gestión de la MOvilidad. Depósito Legal M-41995-2008.

Campos, V.B.G., Ramos, R. A. R. (2005) Sustainable mobility evaluation in urban areas. *Advanced OR and AI Methods in Transportation*. 172-177.

Castro, M., Pardillo-Mayora, J., Sánchez, J. (2005) Alignment Indices as a tool to evaluate safety and design consistency in two lane rural roads. 3rd International Symposium on Highway Geometric Design, Chicago, USA.

Fernandes, A., Neves, J. (2011) Modeling road accidents using compound road environments, 3rd International Conference on Road Safety and Simulation. USA.

García, R., Delgado, D., Díaz, E. (2012), Modelos de perfil de velocidad para evaluación de consistencia del trazado en carreteras de la provincia de Villa Clara, Cuba. *Revista Ingeniería de Construcción*, Vol. 27, Nº 2. 71-82.

Saaty, T.L. (1980) *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill. New York.

Sinha, K.C., Labi, S. (2007) *Transportation decision making*. John Wiley & Sons. New Jersey.

Taira, H., Fan, Y., Yoshiya, K., Miyagi, H. (1996) A Method of Constructing Pairwise Comparison Matrix in Decision Making. *IEEE*, 2511-2516.

Directiva 2008/96/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de noviembre sobre gestión de la seguridad de las infraestructuras viarias. (Diario Oficial de la Unión Europea 29/11/2008).

<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:319:0059:0067:ES:PDF>

Ley 25/1988, de 29 de julio, de Carreteras

<https://www.boe.es/boe/dias/1988/07/30/pdfs/A23514-23524.pdf>

RANKING FOR EUROPEAN ROAD SAFETY. SIXTH FRAMEWORK PROGRAMME SPECIFIC TARGETED RESEARCH OR INNOVATION PROJECT. TREN-04-FP6TR-S07.36996/001678

[http://www.rankers-project.com/media/road\\_safety\\_index.pdf](http://www.rankers-project.com/media/road_safety_index.pdf)

Real Decreto 345/2011, de 11 de marzo, sobre gestión de la seguridad de las infraestructuras viarias en la Red de Carreteras del Estado. <http://www.boe.es/boe/dias/2011/03/12/pdfs/BOE-A-2011-4555.pdf>

Road Safety Inspection Guidelines for Safety Checks of Existing Roads, World Road Association (PIARC), 2013, ISBN 978-2-84060-259-8. <http://www.piarc.org/es>

Road Safety Audit Guidelines for Safety Checks on New Road Projects, World Road Association (PIARC), 2012, ISBN 978-2-84060-199-0. <http://www.piarc.org/es>

Road Accident Investigation Guidelines for Road Engineers, World Road Association (PIARC), 2013, ISBN 978-2-84060-321-4. <http://www.piarc.org/es>

7th Road Safety PIN Report, European Transport Safety Council, 2013, ISBN: 978-9-07602-438-7. [http://etsc.eu/documents/PIN\\_Annual\\_report\\_2013\\_web.pdf](http://etsc.eu/documents/PIN_Annual_report_2013_web.pdf)