

## **A0802. Análisis comparativo de la seguridad vial en carriles bici mediante la técnica AHP**

### **Comparative analysis of road safety in cycle-lanes using the AHP technique**

**Alejandro Ruiz-Padillo**

Laboratório de Mobilidade e Logística, Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul, RS, Brasil  
alejandro.ruiz-padillo@ufsm.br

**André Luiz Dultra Nascimento da Silva**

Laboratório de Sistemas de Transportes, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, Brasil  
andre.dultra@ufrgs.br

**Daniela Lichtler Cassel**

Laboratório de Sistemas de Transportes, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, Brasil  
daniela.cassel@ufrgs.br

**Christine Tessele Nodari**

Laboratório de Sistemas de Transportes, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, Brasil  
piti@producao.ufrgs.br

#### **Resumen**

Este estudio tiene como objetivo obtener una mejor comprensión de los aspectos que inciden en la seguridad vial de los ciclistas en carriles bici usando el Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process) aplicado a las evaluaciones de atributos de seguridad de sendos paneles de expertos compuestos formados en España y Brasil. Entre los principales resultados, destacan que, en ambas realidades analizadas, apenas 20% de los atributos evaluados concentran el 40% del peso de la influencia sobre la seguridad vial en los carriles bici, aunque fueron distintos en cada país, lo que sugiere su tratamiento prioritario y diferenciado al respecto. Del mismo modo, atributos relativos a las características de la bicicleta aparecieron siempre entre los aspectos menos destacables, mientras que factores ligados al proyecto del carril bici y, sobre todo, al desempeño de los ciclistas fueron los más importantes.

#### **Abstract**

This study aims to obtain a better understanding of the aspects that impact on cyclists' traffic safety in cycle-lanes by using the Analytic Hierarchy Process method (AHP). Safety attributes were investigated through two experts panels composed in Spain and Brazil. Among the main results, that revealed a suitable consistency in both realities analyzed, particular highlight is given to that 20% of the assessed attributes concentrated 40% of the weight of influence on safety in cycle-lanes, although they were different in each country, suggesting that prioritizing the treatment of these attributes can lead to significant safety gains. In the same way, attributes related to the characteristics of the bicycle always appeared among the less remarkable aspects, while factors linked to the cycle-lane project and, above all, to the performance of the cyclists were the most important.

## 1. Introducción

La seguridad vial pasó a ganar importancia en las últimas décadas debido al creciente número de accidentes de tráfico. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), los accidentes de tráfico son la octava causa de muerte en el mundo y, si se mantiene la tendencia de crecimiento de los accidentes, en el año 2030 ocuparán el quinto lugar en la misma clasificación (WHO, 2013). El coste de los accidentes es grande e impacta en la sociedad desde el nivel familiar (desestructura las familias, costes financieros, etc.) hasta el nivel de la Administración Pública (pérdida de recursos humanos, gastos de reparación de infraestructura urbana, problemas de salud pública, etc.), alcanzando también los ámbitos económico, ambiental, social y humano (Ferraz et al., 2012).

Los usuarios vulnerables del tráfico, categoría en la cual están los peatones y ciclistas, son muy susceptibles a los accidentes de mayor gravedad, ya que no tienen la protección de una estructura que ofrecen otros modos (Reynolds et al., 2009). Los ciclistas pueden tener hasta 14,6 veces más probabilidades de sufrir impactos fatales en un recorrido determinado comparándose a ocupantes de un coche (OECD, 2013). Solo en Brasil en 2014, fueron registradas 1.357 muertes resultantes de accidentes que involucraron a ciclistas (Brasil, 2014). Para resolver ese problema, diversos estudios sugieren la implementación de estructuras viales destinadas al tráfico de bicicletas, como carriles bici y ciclovías (Teschke et al., 2012; OECD, 2013).

Entre las infraestructuras dedicadas a la bicicleta, las ciclovías –infraestructuras exclusivas para bicicletas, separadas del resto del tráfico– se consideran las menos peligrosas (Reynolds et al., 2009), pero son más costosas porque requieren más espacio e intervenciones más robustas en su implementación. Los carriles bici –también infraestructuras exclusivas, pero sin separación física y ubicadas directamente en la calzada–, tienen generalmente implementación más fácil y económica, pero, debido al bajo nivel de segregación en relación al tráfico motorizado, también menor nivel de seguridad para los ciclistas en comparación con las ciclovías (SEMOB, 2007). Según (Teschke et al., 2012), teniendo en cuenta como referencia una vía sin infraestructuras exclusivas para ciclistas, su riesgo de accidentarse es aproximadamente 89% menor en ciclovías, mientras que en carriles bici el riesgo de los ciclistas se reduce en menor medida, alrededor del 50%.

En los últimos años, creció considerablemente la promoción y fomento del uso de la bicicleta como medio de transporte en las ciudades de todo el mundo, dadas las necesidades actuales de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y de los atascos de tráfico, entre otros beneficios como el fomento de la actividad física y reducción de la contaminación acústica (OECD, 2013; Götschi et al., 2016). Aun así, la bicicleta sigue siendo un factor marginal en las políticas de transporte, con pocas excepciones, lo que, según Götschi et al. (2016), puede derivarse de la baja representatividad relativa de los ciclistas dentro del conjunto de usuarios de la vía (peatones, ciclistas y vehículos motorizados), de barreras socio-psicológicas o simplemente de la falta de priorización.

Con respecto a la baja representatividad, uno de los principales motivos es la percepción de la seguridad vial (Teschke et al., 2012; OECD, 2013; Götschi et al., 2016). Esto se convierte en un círculo vicioso: la baja representatividad del modo ciclista limita la planificación de infraestructuras seguras para los ciclistas, que a su vez inhibe el crecimiento en representatividad del modal. Este hecho pone en evidencia la importancia de los estudios y las inversiones en esta área.

Con el objetivo de reducir el número de accidentes, se adoptan medidas atenuantes que influyen sobre los diferentes factores presentes en un accidente: factores humanos, del vehículo y los viarios y ambientales (Naing et al., 2007). Sin embargo, la dificultad está en la elección de qué medidas de

mitigación deben aplicarse, ya que hay pocos estudios disponibles para guiar las decisiones de política y planificación en relación a las principales fuentes de peligro en el ambiente viario hacia los ciclistas (OECD, 2013). Por tanto, entender los factores determinantes de riesgo es el primer paso para reducir los accidentes con ciclistas (Teschke et al., 2012).

En ese contexto, el objetivo de este estudio es obtener una mayor comprensión de los aspectos que impactan en la seguridad vial de los ciclistas en los carriles bici y establecer la importancia relativa entre los diferentes criterios y sub-criterios identificados en la literatura mediante el método AHP (Analytic Hierarchy Process o Proceso Analítico Jerárquico) aplicado a sendos paneles de expertos en España y Brasil con la finalidad de evitar resultados sesgados y representativos de las dos realidades analizadas. Estos paneles de expertos fueron compuestos por técnicos, investigadores y representantes de entidades españolas y brasileñas que promocionan el transporte por bicicleta.

## 2. Revisión de la literatura

Los problemas de seguridad vial son complejos debido a la gran cantidad de factores influyentes. En la actualidad, el concepto de “causa del accidente” da lugar a una idea de “factores contribuyentes” para los accidentes. Este enfoque denota una preocupación para explicar el accidente como resultado de una combinación de factores que contribuyeran para su desencadenamiento. Así, es evidente la necesidad de que los estudios de seguridad vial para los ciclistas abarquen los tres componentes del sistema de transporte: el usuario, la vía y el vehículo (Naing et al., 2007).

La mayoría de los accidentes con ciclistas se debe a que una de las partes implicadas en el accidente no percibió la presencia de la otra o interpretó de manera incorrecta su siguiente maniobra, lo que resultó en un conflicto (Walker et al., 2013). Al tráfico de los ciclistas en los carriles bici están asociados los riesgos de conflicto entre los que viajan en direcciones opuestas, ciclistas y peatones, ciclistas y otros vehículos e, incluso, entre los ciclistas con diferentes perfiles de velocidad (HCM, 2010; Walker et al., 2013; Córdova Júnior y Nodari, 2014). Algunos ciclistas no respetan los semáforos y este comportamiento está relacionado con un mayor riesgo de conflictos, así como el estado psicofísico durante la conducción: aproximadamente el 50% de los accidentes de tráfico son asociados con el uso de drogas o alcohol (Queiroz y Oliveira, 2003; Crundall et al., 2012; Sordyl, 2015).

García et al. (2013) relacionaron el bajo uso de los equipos de protección individual entre los ciclistas con sus altas tasas de mortalidad en Brasil, donde su uso no es obligatorio, a diferencia de otros países. De hecho, Thompson et al. (1996) mostraron que el uso del casco fue eficaz en la protección contra los accidentes con lesiones faciales o en la cabeza, especialmente cuando se combina con programas de formación y concienciación sobre la importancia de este hábito. En relación con los equipamientos del vehículo, fue observado que, en Pelotas, Rio Grande do Sul (Brasil), menos del 1% de las bicicletas contaba con los equipos de seguridad requeridos por la ley, solo el 28% tenía elementos reflectantes traseros y el 15% no tenía frenos (Bacchieri et al., 2010).

Aspectos relacionados con el proyecto del carril bici también pueden interferir en la seguridad del ciclista. Atributos tales como el diseño geométrico, medidas para calmar el tráfico, la protección física de los peatones y ciclistas o señalización y control de las vías, son iniciativas que pueden contribuir a la reducción de accidentes (SEMOB, 2007). Así, proyectos que permiten vehículos aparcados junto al carril bici pueden afectar a la seguridad de los ciclistas, ya que al abrir la puerta (fenómeno llamado

doorring en la literatura), los ocupantes del vehículo pueden golpear a un ciclista o alterar su trayectoria, causando un accidente.

Las condiciones de conservación de la vía pueden ser importantes para la seguridad de los usuarios que transitan en los carriles bici. La calidad del pavimento tiene un efecto significativo sobre la seguridad, ya que la bicicleta tiene una baja capacidad de absorción de vibraciones y de los impactos resultantes de irregularidades, en contraste con los modos motorizados. Por tanto, estas vías deben proporcionar superficie lisa, antideslizante y condiciones de iluminación adecuadas para el tráfico, así como un diseño de drenaje eficiente (FHWA, 1979; SEMOB, 2007; Gondim, 2010; Twisk y Reurings, 2013). En el caso del proyecto de drenaje de la vía, que busca mantener la calle sin acumulación de agua, los dispositivos de drenaje existentes se pueden aprovechar para la infraestructura ciclista. No obstante, es necesario prestar atención a la ubicación de los dispositivos de drenaje, ya que pueden ser peligrosos para el ciclista: imbornales alineados en la dirección de rodadura de la bicicleta, por ejemplo, pueden configurar una trampa para los ciclistas.

Las condiciones de funcionamiento de la vía son otro factor importante para la seguridad de los ciclistas en los carriles bici. Debido a que los carriles bici están situados cerca de las calzadas y aceras, el trayecto a lo largo de ellas está sujeto a diversos tipos de conflictos con otros usuarios (NACTO, 2014; Tuckel et al., 2014). Así, las paradas de autobuses no deben colocarse cerca de las esquinas y el flujo de pasajeros en cada parada debe ser estudiado con el fin de prever un área de espera adecuada al número de personas, buscando la prevención de conflictos entre los pasajeros que esperan los autobuses y los ciclistas. Efectos aerodinámicos son otro factor influyente del tráfico adyacente al carril bici sobre los usuarios: la FHWA (1979) explica que, a ciertas velocidades, los vehículos pesados pueden generar corrientes de aire suficientemente fuertes como para derribar al ciclista.

Teniendo en cuenta esta revisión de la literatura, se observa la existencia de una amplia gama de atributos que influyen en la seguridad vial de los ciclistas cuando se desplazan en los carriles bici. Una herramienta útil para el propósito de comprender la importancia relativa de estos atributos es el método AHP, que ha sido ampliamente utilizado desde la década de 1970 en la investigación relacionada con la toma de decisiones en diversos ámbitos científicos y técnicos.

El AHP se ha vuelto atractivo por permitir el tratamiento de varios criterios, por facilitar la comprensión por parte de los decisores y por la capacidad de analizar simultáneamente datos cualitativos y cuantitativos (Saaty, 1980; Sordyl, 2015). El resultado de la aplicación de esta técnica como método para ponderación de atributos es una clasificación de cada grupo de criterios y sub-criterios de acuerdo con su importancia relativa, por lo que es posible deducir sus pesos en el proceso de toma de decisiones (Egilmez et al., 2015; Sordyl, 2015).

### **3. Metodología**

El presente estudio se realizó en 8 pasos como se muestra en la Figura 1. La descripción de estos pasos, junto con el escenario de aplicación del estudio y la técnica AHP, se describen a continuación.

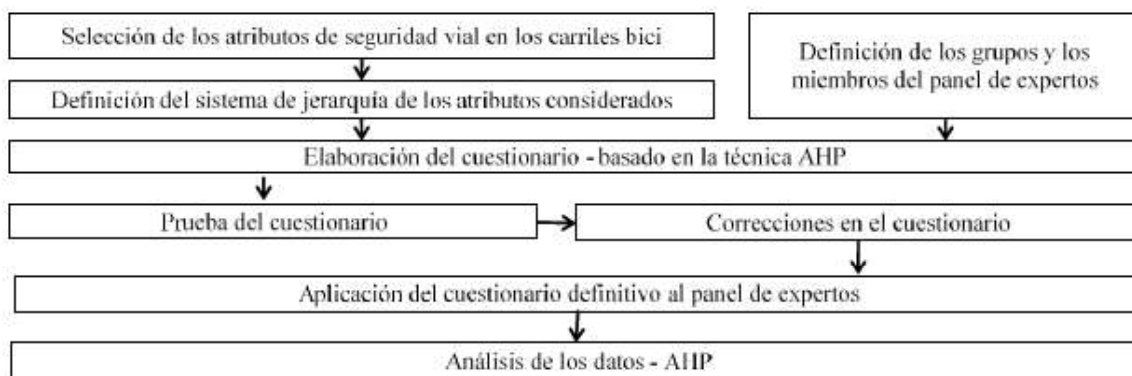


Fig. 1. Etapas de estudio

### 3.1. Escenarios de estudio

Este estudio se ocupa de la evaluación de la seguridad vial centrada en el ciclista en sus movimientos a través de los carriles bici. Atributos de seguridad en los carriles bici correspondientes a los tres componentes del sistema de transporte (usuario, vehículo y vía) fueron evaluados desde el punto de vista de expertos. Puesto que los paneles de expertos incluyen participantes de diferentes regiones de España y de Brasil, la investigación se refiere a ambas realidades.

### 3.2. Etapas de estudio

Los atributos relevantes seleccionados en el estudio bibliográfico fueron jerarquizados con el objetivo de su ponderación mediante la técnica del AHP, siendo estructurados en un primer nivel con el objetivo de la decisión –la seguridad vial del ciclista en carriles bici– y un segundo nivel con los atributos, organizados como criterios y sub- criterios del problema (20 en total) (Egilmez et al., 2015; Sordyl, 2015).

A partir de esta estructura jerárquica, fue construido el cuestionario que se presentó a los expertos para la realización de las comparaciones por pares de atributos en cada nivel de la jerarquía. El cuestionario elaborado fue probado previamente en una muestra restringida seleccionada al efecto, permitiendo su mejora y dando origen al cuestionario definitivo (Egilmez et al., 2015; Ruiz-Padillo et al., 2016). Las matrices de comparaciones se originaron a partir de evaluaciones de tres diferentes grupos de especialistas: (i) expertos técnicos en proyecto, conservación y operación de infraestructuras ciclistas; (ii) expertos académicos en seguridad vial; y (iii) representantes de organizaciones que promueven el uso de la bicicleta como medio de transporte.

Los cuestionarios se presentaron en hojas de cálculo dinámicas, donde se elaboraban las preguntas a los expertos en función de las respuestas anteriores dadas por el entrevistado. Los cuestionarios fueron distribuidos por correo electrónico e incluyeron una breve explicación del proceso y algunos conceptos importantes en la investigación, además de las instrucciones para completar el cuestionario. Seguidamente, se presentaban los diferentes grupos de atributos utilizados en la investigación con un breve comentario explicativo sobre su significado y, después, se pedía a los encuestados que ordenasen los atributos de mayor a menor importancia dentro de cada grupo con respecto a la seguridad del ciclista en su desplazamiento por carriles bici (objetivo de la investigación).

Finalmente, los expertos debían asignar un nivel de importancia en la comparación de cada criterio o sub - criterio con los otros, utilizando una escala predefinida, teniendo en cuenta el propósito y la

jerarquía establecida en la investigación. Completo el cuestionario, el experto debía devolver el archivo a los autores del estudio.

Tras el proceso de envío del cuestionario y recepción de respuestas, todos los datos recibidos fueron agregados para alcanzar las evaluaciones globales representativas del panel de expertos. Para eso se utilizó la media geométrica de los datos individuales, ya que esta fue la técnica de agregación propuesta por Saaty en el caso de obtención de comparaciones por pares entre criterios y sub-criterios de varios expertos y tomadores de decisiones (Saaty, 1980; Ruiz-Padillo et al., 2016).

### 3.3. El Proceso Analítico Jerárquico - AHP

El proceso de aplicación del método AHP se basa en la organización y la comparación de elementos del problema jerárquicamente y en el análisis de la consistencia lógica de los resultados. Para este propósito, se construyen matrices cuadradas simétricas inversas para cada grupo de atributos (tamaño  $n \times n$ , siendo  $n$  el número de elementos), donde cada valor de la matriz representa el número de veces que el atributo de la línea es más importante que el atributo localizado en la columna. En estas comparaciones, el AHP utiliza una escala predefinida, llamada escala fundamental de Saaty, que toma valores entre 1 y 9 (y sus inversos, 1 a 1/9) (Saaty, 1980; Kablan, 2004). A partir de estas matrices se calcula el autovector vinculado al valor propio dominante de la matriz, cuyos valores representan las importancias relativas entre los atributos de cada nivel de la jerarquía en relación con el elemento de nivel superior (Kablan, 2004).

El procedimiento de cálculo de estos vectores de ponderación establecidos en AHP es aproximado, ya que, en la práctica, el decisor puede cometer ciertas inconsistencias en la estimación de las comparaciones de importancia relativas de criterios por pares. Por tanto, el método también incluye una estimación de la consistencia del proceso, que evalúa el nivel de aproximación alcanzado con el resultado (Saaty, 1980; Kablan, 2004), a través de la denominada razón de consistencia (RC), calculada según la Ecuación 1:

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (Ec. 1)$$

donde IR es el índice de consistencia aleatorio, parámetro fijado por Saaty en función del tamaño de la matriz de comparaciones por pares (Saaty, 1980); e IC es el índice de consistencia, que se obtiene mediante la Ecuación 2:

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (Ec. 2)$$

donde  $\lambda_{max}$  es el autovalor dominante de la matriz y  $n$  el tamaño de la matriz.

En general, si la razón de consistencia es mayor de 0,10 (10%), se recomienda estudiar nuevamente el problema y revisar las evaluaciones. Para  $n = 3$ , este umbral se fija en 5% y para  $n = 4$  en 8% (Ruiz-Padillo et al., 2016).

Por último, los pesos obtenidos deben ser normalizados, para presentarlos en forma adimensional. Entre las diferentes técnicas de normalización, este estudio utilizó el procedimiento lineal.

#### 4. Presentación y discusión de los resultados

La Tabla 1 muestra la selección, definición y estructuración de los atributos que afectan a la seguridad de ciclistas en los carriles bici realizadas para este estudio. Estos atributos se organizaron a partir de la revisión de la literatura y de la estructura tradicional de los factores contribuyentes para accidentes (factores viarios-ambientales: proyecto, mantenimiento y operación del carril bici; vehiculares: características de la bicicleta; y humanos: comportamiento de los usuarios de la vía) y, además, fueron clasificados en criterios y sub-criterios en relación al objetivo del trabajo: seguridad de los ciclistas en carriles bici.

Tabla 1: Descripción y estructura jerárquica de los atributos considerados en el estudio

Criterios	Sub-criterios	Descripción	Referencias
Proyecto del carril bici	Geometría	Aspectos en planta y alzado del proyecto geométrico del carril bici (anchura, rampas de acceso, curvas, pendientes, etc.)	FHWA (1979); Gondim (2010)
	Pavimento	Características de la capa de rodadura del carril bici, en relación al material, el tipo de ejecución, la pintura de la plataforma, etc.	FHWA (1979); Gondim (2010)
	Señalización	Relativo al proyecto de señalización horizontal (señales pintadas en el pavimento, ojos de gato...) y vertical (señales, semáforos, etc.) de la vía	FHWA (1979); Gondim (2010)
	Entorno	Aspectos del entorno que afecten la visibilidad de los usuarios o potencien los conflictos (como señales, papeleras, contenedores, árboles...)	Gondim (2010)
Mantenimiento de la vía	Estado de la superficie	Condiciones de la superficie de rodadura del carril bici. Considera la integridad del pavimento y la limpieza de la superficie	HCM (2010)
	Obstáculos	Presencia de obstáculos en el carril bici que interfieran temporalmente en el paso o la visibilidad de los usuarios (como ramas, basura, etc.)	HCM (2010)
	Iluminación	Estado de farolas y lámparas y posibles obstrucciones de la fuente de luz	Twisk y Reurings (2013)
	Drenaje	Conservación del sistema de drenaje de la vía, evitando la acumulación o circulación excesiva de agua sobre el carril bici	FHWA (1979)
Operación de la vía	Tráfico motorizado	Presencia de volumen elevado de tráfico motorizado en los carriles adyacentes al carril bici	NACTO (2014)
	Velocidades relativas	Referido a la diferencia de velocidad, tanto entre los propios ciclistas en el carril bici, como entre los ciclistas y otros usuarios de la vía	Córdova Júnior y Nodari (2014)
	Vehículos pesados	Referido a los efectos aerodinámicos y las vibraciones resultantes de la utilización de los carriles adyacentes al carril bici por vehículos de gran tamaño	FHWA (1979)
	Riesgo de conflictos	Situaciones de riesgo de conflictos entre los usuarios, debido a la operación de la vía (cruces, accesos, pasos de peatones, paradas de autobús, etc.)	HCM (2010); Tuckel <i>et al.</i> (2014)
Características de la bicicleta	Mantenimiento de la bicicleta	Estado de conservación de los elementos de la bicicleta (neumáticos, frenos, marco, etc.)	Walker <i>et al.</i> (2013); Bacchieri <i>et al.</i> (2010)

	Elementos de percepción	Existencia de elementos que faciliten la identificación del ciclista por otros usuarios (luces, reflectores, timbre, etc.)	Bacchieri <i>et al.</i> (2010)
	Accesorios de ayuda	Existencia o instalación de accesorios y componentes de asistencia al ciclista en la bicicleta, como espejo retrovisor, guantes, gafas, suspensión, etc.	Queiroz y Oliveira (2003)
Comportamiento de los usuarios	Comunicación entre usuarios	Señales visuales, sonoras y luminosas proporcionadas por los diferentes usuarios de la vía (timbre de la bicicleta, bocina e intermitentes de los vehículos a motor, etc.)	Walker <i>et al.</i> (2013)
	EPIs de los ciclistas	Referido al uso de Equipos de Protección Individual (EPI) por parte del ciclista (casco, gafas, guantes, rodilleras, etc.)	Garcia <i>et al.</i> (2013); Thompson <i>et al.</i> (1996)
	Experiencia del ciclista	Referido al nivel de destreza en la conducción de la bicicleta, el conocimiento del ciclista sobre las rutas deseadas, su estado físico, etc.	Crundall <i>et al.</i> (2012)
	Actitudes de los usuarios	Ejecución de maniobras imprudentes o desacertadas, cómo conducir, aparcar o caminar sobre el carril bici, pedalear a contramano o adelantar peligrosamente en el carril bici, saltarse un semáforo en rojo, cruzar la vía sin cuidado, etc.	Córdova Júnior y Nodari (2014); Sordyl (2015)
	Estado psicofísico de los usuarios	Considera situaciones donde los usuarios tienen su estado afectado por el efecto de las sustancias psicoactivas como el alcohol, relajantes y tranquilizantes, marihuana, cocaína, entre otros.	Queiroz y Oliveira (2003); Sordyl, (2015)

El cuestionario elaborado fue respondido por un total de 26 expertos españoles y 28 expertos brasileños, números dentro de las recomendaciones de Turoff (1970), que indica un número de participantes en el panel entre 10 y 50. La Tabla 2 resume la distribución de las poblaciones encuestadas en los dos paneles de expertos, y muestra que los tres grupos de expertos han estado representados de manera equilibrada. A partir de los resultados de los paneles de expertos fue posible construir matrices de comparaciones por pares entre los criterios (primer nivel de atributos, lo que resulta en una matriz 5×5) y de los cinco subgrupos contenidos en el nivel inferior (obteniendo una matriz de 5×5, tres matrices 4×4 y una matriz 3×3), para cada país.

Tabla 2: Resumen de los datos de los expertos que participaron en el panel

Grupo	Cuest. respondidos		Descripción
	España	Brasil	
Técnicos	12	11	Profesionales de empresas privadas y entidades públicas en diferentes ciudades de Brasil con experiencia en el proyecto y la construcción de carriles bici.
Académicos	4	9	Expertos en seguridad vial del ámbito académico, pertenecientes a diferentes universidades de Brasil.
Ciclistas	10	8	Representantes de entidades relacionadas con la promoción del transporte en bicicleta de diferentes estados y ciudades de Brasil.

A partir de las seis matrices de cada panel se obtuvieron los vectores de pesos de los atributos estudiados sobre la seguridad en los carriles bici. Estos pesos, normalizados y en notación porcentual,



se muestran en la Tabla 3 para cada panel. La Tabla 3 también muestra los valores de la razón de consistencia (RC) para cada uno de los grupos de la jerarquía establecida y se ve que todos están dentro de los límites establecidos en función del tamaño de la matriz de comparaciones. Por tanto, los pesos obtenidos son válidos y cuentan con la robustez de la técnica aplicada a respuestas derivadas de paneles de expertos en el asunto evaluado.

Tabla 3. Valores de los pesos de los atributos y de las razones de consistencia obtenidos en el AHP

Criterios	Pesos totales		Sub-criterios	Pesos totales		Pesos finales	
	España	Brasil		España	Brasil	España	Brasil
Proyecto del carril bici	18,21%	25,50%	Geometría	36,66%	43,35%	6,68%	11,05%
			Pavimento	28,38%	28,47%	5,17%	7,26%
			Señalización	17,51%	17,03%	3,19%	4,34%
			Entorno	17,46%	11,14%	3,18%	2,84%
			RC	1,18%	6,14%		
Mantenimiento de la vía	15,77%	19,01%	Estado de la superficie	25,14%	34,35%	3,96%	6,53%
			Obstáculos	51,26%	38,63%	8,08%	7,34%
			Iluminación	12,02%	14,0%	1,90%	2,78%
			Drenaje	11,58%	12,43%	1,83%	2,36%
			RC	0,30%	2,41%		
Operación de la vía	30,47%	17,99%	Tráfico motorizado	21,41%	14,42%	6,52%	2,59%
			Velocidades relativas	31,06%	46,43%	9,46%	8,35%
			Vehículos pesados	12,44%	12,62%	3,79%	2,27%
			Riesgo de conflictos	35,10%	26,53%	10,69%	4,77%
			RC	2,51%	1,67%		
Características de la bicicleta	4,19%	6,12%	Mantenimiento de la bicicleta	29,28%	34,24%	1,23%	2,10%
			Elementos de percepción	56,20%	50,69%	2,36%	3,10%
			Accesorios de ayuda	14,52%	15,06%	0,61%	0,92%
			RC	0,43%	0,13%		
Comportamiento de los usuarios	31,36%	31,38%	Comunicación entre usuarios	22,62%	17,30%	7,09%	5,43%
			EPIs de los ciclistas	7,17%	9,31%	2,25%	2,92%
			Experiencia del ciclista	16,74%	12,63%	5,25%	3,96%
			Actitudes de los usuarios	36,89%	38,40%	11,57%	12,05%
			Estado psicofísico de los usuarios	16,58%	22,35%	5,20%	7,01%
RC	5,40%	1,33%	RC	0,92%	1,09%		

En la Tabla 3 se observa que el criterio de mayor importancia para los dos paneles fue el Comportamiento de los usuarios (importancia mayor del 31%), seguido de los tres criterios relativos a los factores viarios-ambientales del problema. Por último, con importancia relativa notablemente menor, aparece el criterio de las Características de la bicicleta (importancia del 4,19 y 6,12% para los casos español y brasileño, respectivamente). Basado en la Tabla 3, el análisis de los sub-criterios dentro de cada grupo permite ver que en todos los casos los más importantes son los mismos para las dos realidades analizadas: Geometría y Pavimento del proyecto; Estado de la superficie y obstáculos;

Velocidades relativas y Riesgo de conflictos; Elementos de percepción de la bicicleta; y Actitudes de los usuarios.

Los pesos finales de los sub-criterios fueron obtenidos agregando los valores de acuerdo con la jerarquía definida, simplemente multiplicando los pesos directos de cada uno de los sub-criterios por el valor del peso del criterio del que dependen. La ordenación de los sub-criterios en función de los pesos finales permite clasificarlos en 3 clases de acuerdo a su representatividad en el conjunto conforme la metodología de evaluación de la curva ABC (Carvalho, 2002), presentada en la Tabla 4, lo que ayuda señalar los atributos que deben ser priorizados para la implementación de medidas de prevención y mitigación de accidentes de tráfico en los carriles bici, dada su eficacia en el aumento de la seguridad:

- Clase A: atributos de mayor importancia relativa que corresponden al 20% del total de sub-criterios (4 sub-criterios de 20) y representan un peso acumulado de aproximadamente el 40%. En el caso brasileño, se puede ver que los sub-criterios de esta clase provienen cada uno de un criterio, a excepción del criterio de las Características de la bicicleta, cuyos sub-criterios aparecen todos en la Clase C (fundamentalmente por el bajo peso del criterio del que dependen). En el caso español, presenta dos sub-criterios del grupo de operación de la vía y ninguno del Proyecto, así como tampoco de las Características de la bicicleta. En ambos casos, el sub-criterio más importante representa las Actitudes de los usuarios, pero los españoles dan mucha mayor importancia al Riesgo de conflictos que a la Geometría de la vía, lo que puede deberse a las mejores condiciones en España de proyecto y operación de los carriles bici (que no preocupan tanto como en Brasil).
- Clase B: atributos de importancia relativa intermedia que corresponden al 30% del total de sub-criterios (6 sub-criterios de 20) y totalizan un peso aproximado del 35%. En ella coinciden para los dos países atributos como la Comunicación y el Estado psicofísico de los usuarios, y el Pavimento proyectado. Destaca la mayor importancia dada en España al Tráfico de vehículos motorizados, lo que podría tener relación con una mayor preocupación en relación al riesgo de accidentes entre vehículos y bicicletas de la que existe en Brasil, donde infelizmente son bastante más frecuentes. A su vez, el Estado de la superficie preocupa más en Brasil, donde la realidad del mantenimiento de las vías se presenta generalmente deficitaria.
- Clase C: atributos de menor importancia relativa que corresponden al 50% del total de sub-criterios (10 sub-criterios de 20) y totalizan aproximadamente 25% del peso total del problema. Es interesante resaltar que los dos sub-criterios con menor importancia coinciden en los dos casos estudiados, ambos pertenecientes al grupo de Características de la bicicleta, cuya totalidad de atributos se encuentra en esta clase. Por otro lado, las diferencias significativas sobre el sub-criterio de Vehículos pesados puede comentarse de la misma manera que fue discutido en relación al Tráfico de vehículos de motorizados.

## 5. Conclusiones

El objetivo de este estudio fue identificar los atributos más influyentes en la seguridad vial de ciclistas en sus desplazamientos por carriles bici y encontrar la importancia relativa entre ellos a través del método AHP. Para el análisis, los atributos fueron clasificados de acuerdo a cinco criterios, que se subdividieron en 20 sub-criterios. Basado en la estructura jerárquica de atributos, fue elaborado un cuestionario en hoja de cálculo dinámica que fue enviado por correo electrónico a los integrantes de dos paneles de expertos construido al efecto en España y Brasil, que permitió obtener sus opiniones

en relación a los objetivos de la investigación en ambas realidades de tráfico. Los paneles de expertos incluyeron técnicos, académicos y representantes de organizaciones que promueven el uso de la bicicleta de diferentes ciudades españolas y brasileñas.

Los resultados del análisis muestran que el criterio que más afecta a la seguridad de los ciclistas es el comportamiento de los usuarios (más del 30% en ambos casos), lo que demuestra la importancia de las medidas correctoras de carácter educativo, como la mejora de educación vial en las escuelas y mediante campañas sociales. Los siguientes tres criterios de mayor impacto en la seguridad fueron el proyecto del carril bici, mantenimiento de la vía y operación de la vía. Estos tres criterios se refieren a características viales y ambientales y juntos representan más del 60% del peso de importancia total en la seguridad vial de los ciclistas en los carriles bici de ambos países.

Estos criterios comúnmente presentan mayores oportunidades para adopción de medidas (en comparación con los factores humanos y vehiculares), ya que los criterios relacionados con los factores humanos implican tener que lidiar con los aspectos inherentes de la sociedad (cultura, tradición, forma de pensar) y los relacionados con factores de vehículos se ven obstaculizados por el hecho de que los vehículos son responsabilidad de cada individuo, haciendo difícil la realización de una acción que cubra la totalidad de la flota de vehículos del modo ciclista. Por último, el criterio de menor importancia está constituido por las características de la bicicleta, lo que sugiere el bajo potencial de impacto en el caso de mejoras en bicicletas.

Tabla 4: Pesos finales de los sub-criterios obtenidos en el AHP, clasificados y tratados de acuerdo con la técnica de la curva ABC, para las realidades española y brasileña de carriles bici

Posición	España			Brasil			Peso de la clase
	Sub-criteri	Peso final	Peso final acumulado	Sub-criteri	Peso final	Peso final acumulado	
Clase A	1	Actitudes de los usuarios	11,57%	11,57%	Actitudes de los usuarios	12,05%	≈40%
	2	Riesgo de conflictos	10,69%	22,26%	Geometría	11,05%	
	3	Velocidades relativas	9,46%	31,72%	Velocidades relativas	8,35%	
	4	Obstáculos	8,08%	39,81%	Obstáculos	7,34%	
Clase B	5	Comunicación entre usuarios	7,09%	46,90%	Pavimento	7,26%	≈35%
	6	Geometría	6,68%	53,58%	Estado psicofísico usuario	7,01%	
	7	Tráfico de motorizados	6,52%	60,10%	Estado de la superficie	6,53%	
	8	Experiencia del ciclista	5,25%	65,35%	Comunicación entre usuarios	5,43%	
	9	Estado psicofísico usuario	5,20%	70,55%	Riesgo de conflictos	4,77%	
	10	Pavimento	5,17%	75,72%	Señalización	4,34%	
Clase C	11	Estado de la superficie	3,96%	79,68%	Experiencia del ciclista	3,96%	≈25%
	12	Vehículos pesados	3,79%	83,47%	Elementos de percepción	3,10%	
	13	Señalización	3,19%	86,66%	EPIs del ciclista	2,92%	
	14	Entorno	3,18%	89,84%	Iluminación	2,84%	
	15	Elementos de percepción	2,36%	92,19%	Entorno	2,78%	
	16	EPIs del ciclista	2,25%	94,44%	Tráfico de motorizados	2,59%	
	17	Iluminación	1,90%	96,34%	Drenaje	2,36%	
	18	Drenaje	1,83%	98,16%	Vehículos pesados	2,27%	
	19	Mantenimiento bicicleta	1,23%	99,39%	Mantenimiento bicicleta	2,10%	
20	Accesorios de ayuda	0,61%	100,00%	Accesorios de ayuda	0,92%		

Con respecto a los sub-criterios, se verifica que aproximadamente el 40% del peso relativo total de los 20 sub-criterios evaluados se concentra en apenas 4 atributos, que coinciden en evaluar las actitudes de los usuarios, las velocidades relativas entre vehículos y obstáculos presentes en la vía. Por lo tanto, las acciones a esos pocos sub-criterios tienden a tener un gran impacto en la mejora de seguridad de los carriles bici. El 60% del peso relativo restante se distribuye en los otros 16 sub-criterios, con algunas diferencias entre los dos ámbitos estudiados.

La ponderación de atributos y su análisis se pueden considerar válidos una vez que los dos paneles de expertos se constituyeron adecuadamente y las consistencias de los resultados obtenidos alcanzaron valores muy inferiores a los límites requeridos por el método AHP.

Los resultados de este estudio pueden servir como una ayuda a los tomadores de decisiones en la definición de las prioridades de las medidas que deben adoptarse para mejorar la seguridad de los ciclistas en los carriles bici en diferentes contextos, como el español y el brasileño. Las medidas viales y ambientales, además de ser las más fáciles de implementar, se muestran bastante eficaces siempre que sea garantizada la atención necesaria en las etapas de proyecto, construcción, mantenimiento y operación de la vía. Como sugerencia para futuros estudios se recomienda evaluar el funcionamiento de carriles bici en operación de acuerdo con los criterios enumerados para identificar las principales deficiencias del sistema, así como ampliar el estudio para ciclovías u otros escenarios específicos en diferentes ciudades, con el fin de hacer comparaciones entre ellos y evaluar la relación de las importancias relativas entre los encuestados activos o no en el uso de la bicicleta como medio de transporte.

## Referencias

- Bacchieri, G.; A. J. D. Barros; J. V. dos Santos; H. Gonçalves; D. P. Gigante, 2010. Intervenção comunitária para prevenção de acidentes de trânsito entre trabalhadores ciclistas. *Saúde Pública*, v. 44, n. 5, p. 867-876.
- Brasil, 2014. Ministério da Saúde. DATASUS. Informações de Saúde (TABNET): estatísticas vitais. Disponible en: <<http://datasus.saude.gov.br/informacoes-de-saude>>. Acceso en: 21 mayo 2018.
- Carvalho, J. M. C. Logística. 3ª ed. Edições Silabo, Lisboa; 2002.
- Córdova Júnior, R. S.; C. T. Nodari, 2014. Investigação dos fatores que influenciam na segurança cicloviária em áreas urbanas. Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Curitiba.
- Crundall, D.; E. van Loon; A. W. Stedmon; E. Crundall, 2012. Motorcycling experience and hazard perception. *Accident Analysis and Prevention*, v. 50, p. 456-464.
- Egilmez, G.; S. Gumus; M. Kucukvar, 2015. Environmental sustainability benchmarking of the U.S. and Canada metropolises: An expert judgment-based multi-criteria decision making approach. *Cities*, v. 42, p. 31-41.
- Ferraz, A. C. P.; A. Raia Jr.; B. Bezerra; T. Bastos; K. Rodrigues. *Segurança Viária*. Suprema Gráfica e Editora, São Carlos; 2012.
- FHWA. A bikeway criteria digest: the ABCD's of bikeways. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Association, Washington, D.C; 1979.
- Garcia, L. P.; L. R. S. de Freitas; E. C. Duarte, 2013. Mortalidade de ciclistas no Brasil: características e tendências no período 2000 - 2010. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v. 16, n. 4, p. 918-929.
- Gondim, M. F. *Cadernos de desenho: ciclovias*. Editora da COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro; 2010.
- Götschi, T.; J. Garrard; B. Giles-Corti, 2016. Cycling as a part of daily life: A review of health perspectives. *Transport Reviews*, v. 36, n. 1, p. 45-71.
- HCM, 2010. Highway Capacity Manual. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, USA; 2010.
- Kablan M. M., 2004. Decision support for energy conservation promotion: analytic hierarchy process approach. *Energy Policy*, v. 32, n. 10, p. 1151-1158.

- NACTO. Urban Bikeway Design Guide. National Association of City Transportation Officials, New York; 2014.
- Naing, C.; S. Bayer; P. Van Elslande; K. Fouquet, 2007. Which Factors and Situations for Human Functional Failures? Developing Grids for Accident Causation Analysis. Traffic Accident Causation in Europe Project.
- OECD, 2013. Cycling, Health and Safety. Organization for Economic Co-operation and Development, Paris.
- Queiroz, M. S.; P. C. P. Oliveira, 2003. Acidentes de trânsito: uma análise a partir da perspectiva das vítimas em Campinas. *Psicologia e Sociedade*, v. 15, n. 2, p. 101-23.
- Reynolds, C. C. O.; M. A. Harris; K. Teschke; P. A. Crompton; M. Winters, 2009. The impact of transportation infrastructure on bicycling injuries and crashes: a review of the literature. *Environmental Health*, v. 8, n. 47.
- Ruiz-Padillo, A.; D. P. Ruiz; A. Torija; A. Ramos-Ridao, 2016. Selection of suitable alternatives to reduce the environmental impact of road traffic noise using a fuzzy multi-criteria decision model. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 61, p. 8-18.
- Saaty, T. L. *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York; 1980.
- SEMOB, 2007. Plano de Mobilidade por Bicicleta nas Cidades. Ministério dos Transportes, Secretaria Nacional de Transporte e de Mobilidade Urbana Brasília, DF.
- Sordyl, J., 2015. Application of the AHP method to analyze the significance of the factors affecting road traffic safety. *Transport Problems: an International Scientific Journal*, v. 10, n. 2, p. 57-68.
- Teschke, K.; M. A. Harris; C. C. O. Reynolds; M. Winters; S. Babul; M. Chipman; M. D. Cusimano; J. R. Brubacher; G. Hunte; S. M. Friedman; M. Monro; H. Shen; L. Vernich; P. A. Crompton, 2012. Route infrastructure and the risk of injuries to bicyclists: A case-crossover study. *American Journal of Public Health*, v. 102, n.12, p. 2336–2343.
- Thompson, D. C.; F. P. Rivara; R. S. Thompson, 1996. Effectiveness of bicycle helmets in preventing head injuries: a case-control study. *Journal of American Medical Association*, v. 276, n. 24, p. 1968-1973.
- Tuckel, P.; W. Milczarski e R. Maisel, 2014. Pedestrian injuries due to collisions with bicycles in New York and California. *Journal of Safety Research*, v. 51, p. 7-13.
- Turoff, M., 1970. The design of a policy Delphi. *Technological Forecasting and Social Change* v. 2, p. 149-171.
- Twisk, D. A. M.; M. Reurings, 2013. An epidemiological study of the risk of cycling in the dark: the role of visual perception, conspicuity and alcohol use. *Accident Analysis and Prevention*, v. 60, p. 134-140.
- Walker, I.; I. Garrard; F. Jowitt, 2013. The influence of a bicycle commuter's appearance on drivers' overtaking proximities: an on-road test of bicyclist stereotypes, high-visibility clothing and safety aids in the United Kingdom. *Accident Analysis and Prevention*, v. 64, p. 69-77.
- WHO, 2013. Global Status Report On Road Safety 2013: Supporting a Decade Of Action. World Health Organization, Geneva.