

## Evaluación de la eficacia del sistema OPREVU-AES de frenado y evasión autónomo de atropellos de peatones

Francisco Javier Páez Ayuso<sup>1</sup>, Ángel Losada Arias<sup>2</sup>, Luca Piovano<sup>3</sup>, Francisco P. Luque Oostrom<sup>4</sup>, Juan José Herrero Villamor<sup>5</sup>, María Asunción Santamaría Galdón<sup>6</sup>

<sup>1</sup>INSIA-UPM, Universidad Politécnica de Madrid, España. Email: [franciscojavier.paez@upm.es](mailto:franciscojavier.paez@upm.es)

<sup>2</sup>INSIA-UPM, Universidad Politécnica de Madrid, España. Email: [angel.losada.arias@upm.es](mailto:angel.losada.arias@upm.es)

<sup>3</sup>CEDINT-UPM, Universidad Politécnica de Madrid, España. Email: [lpiovano@cedint.upm.es](mailto:lpiovano@cedint.upm.es)

<sup>4</sup>CEDINT-UPM, Universidad Politécnica de Madrid, España. Email: [franluque@cedint.upm.es](mailto:franluque@cedint.upm.es)

<sup>5</sup>INSIA-UPM, Universidad Politécnica de Madrid, España. Email: [juanjose.herrero@upm.es](mailto:juanjose.herrero@upm.es)

<sup>6</sup>CEDINT-UPM, Universidad Politécnica de Madrid, España. Email: [asun@cedint.upm.es](mailto:asun@cedint.upm.es)

### Resumen

Este artículo aborda la evaluación de la eficacia del sistema OPREVU-AES de frenado y evasión autónomo de atropellos de peatones, frente a los sistemas AEB (sistemas de frenada de emergencia autónoma) comerciales. El procedimiento de evaluación se basa en la reconstrucción de una muestra de atropellos (base de datos de INSIA-UPM), utilizando el programa PCCrash®. Cada atropello es simulado en condiciones reales, con un sistema AEB comercial y con el sistema OPREVU-AES. El indicador utilizado es la probabilidad de gravedad de las lesiones (ISP), que estima la probabilidad de lesión en la cabeza del peatón tras el impacto con el área frontal del vehículo. Los resultados muestran que el sistema AEB habría evitado una parte de los atropellos, y especialmente tras la incorporación del sistema OPREVU-AES. En la mayoría de los atropellos en los que la evitación no es posible, se consigue una reducción significativa del ISP.

**Palabras clave:** seguridad de peatones, sistema de frenada autónoma de emergencia AEB, sistema de frenado y evasión autónomo de atropellos, reconstrucción de atropellos, probabilidad de gravedad de las lesiones ISP, evaluación de eficacia.

### Abstract

This article addresses the evaluation of the effectiveness of the OPREVU-AES system for autonomous pedestrian crash avoidance and braking, compared to commercial AEB (Autonomous Emergency Braking Systems) systems. The evaluation procedure is based on the reconstruction of a sample of pedestrian accidents (INSIA-UPM database), using the PCCrash® software. Each accident is simulated under real conditions, using a commercial AEB system and the OPREVU-AES system. The indicator used is the probability of injury severity (ISP), which estimates the probability of injury to the pedestrian's head after impact with the frontal area of the vehicle. The results show that the AEB system would have prevented some of the accidents, especially after the introduction of the OPREVU-AES system. In most cases where avoidance is not possible, a significant reduction in ISP is achieved.

**Keywords:** pedestrian safety, autonomous emergency braking system AEB, autonomous collision prevention and braking system, reconstruction of collisions, probability of severity of injuries ISP, evaluation of the effectiveness

### 1. Introducción

Los peatones constituyen el principal grupo de interés para la adopción de medidas de mejora de la seguridad vial en entorno urbano. En la década 2010-2020, los peatones representaron el 21% del total de fallecidos en accidentes de tráfico en España, y un 50% de los decesos acaecidos en ciudad, lo que indica la importancia de la siniestralidad de este grupo de

usuarios vulnerables (*Vulnerable Road Users*, VRU) en zona urbana ([1]).

En este contexto, destacan los actuales sistemas avanzados de asistencia al conductor (ADAS) aplicables al reconocimiento y actuación en caso de detección de situaciones críticas de atropello a dichos peatones [2].

Los sistemas de actuación en caso de atropello inminente embarcados en los vehículos actuales han sido desarrollados para la aplicación de una frenada de emergencia autónoma en caso de riesgo crítico (AEB, sistemas de frenada de emergencia autónoma) [3]. Estos sistemas son objeto de investigación continua dirigida tanto a la mejora de los algoritmos de identificación del comportamiento de los peatones como de las maniobras de evitación segura ([4], [5]).

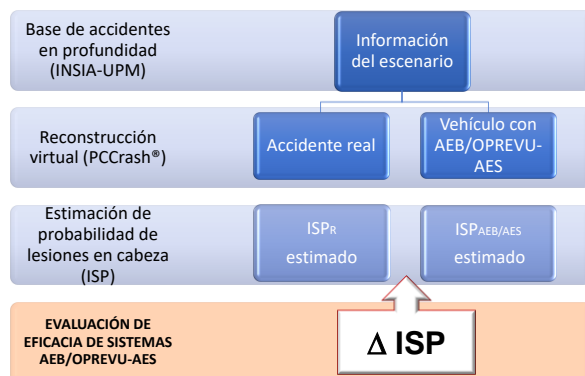
Para la implementación de dichas mejoras, debe ser evaluada la eficacia de los nuevos sistemas en relación con la reducción de lesiones en los usuarios vulnerables expuestos ([6]), con antelación a su salida al mercado.

En este artículo se analizan los resultados de la evaluación de la eficacia del nuevo sistema OPREU-AES de frenado y evasión autónomo de atropellos de peatones (descrito en detalle en [7]), en relación con los sistemas AEB comerciales.

El indicador de medida de eficacia utilizado ha sido la probabilidad de gravedad de las lesiones (ISP, Injury Severity Probability [8], [9]), el cual estima la probabilidad de lesión en la cabeza del peatón en función de la velocidad de atropello y de la zona de impacto de la cabeza sobre el área frontal del vehículo (capó o parabrisas).

## 2. Metodología

El procedimiento de trabajo presentado en esta sección (Figura 1) se ha desarrollado en el marco de los proyectos OPREU (RTI2018-096617-B-100, Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades) y SEGVAUTO-4.0-CM (S2018/EMT-4362, Comunidad de Madrid). Esta metodología se ha definido para integrar la investigación en el escenario de cada atropello, la realización de reconstrucciones virtuales, y la evaluación de la eficacia de los sistemas de evitación de atropellos mediante el indicador de probabilidad de gravedad de lesiones en cabeza ISP.



**Figura 1.** Metodología de evaluación de la eficacia del sistema OPREU-AES. Fuente: elaboración propia

### 2.1. Investigación en el escenario de atropellos y reconstrucción virtual

Para investigar y reconstruir una muestra de accidentes de atropello ocurridos en Madrid, se creó un equipo multidisciplinar con el apoyo de las fuerzas policiales locales, los servicios de urgencias y los hospitales.

El muestreo se basó en tres criterios principales: en primer lugar, según las características de la carretera, los accidentes seleccionados deben ocurrir en zonas urbanas; el segundo criterio se refiere al tipo de vehículo, considerando únicamente los accidentes en los que el vehículo implicado sea un automóvil turismo, un SUV (Sport Utility Vehicle) o una furgoneta ligera; el tercero se refiere a la configuración del accidente, considerando únicamente casos en los que el peatón es golpeado por la parte delantera del vehículo. No se impusieron restricciones sobre las características del peatón como sexo, edad, estatura o peso. La muestra analizada ha incluido un total de 40 atropellos (base de datos de INSIA-UPM).

La investigación en el escenario de los accidentes y la recopilación de datos ha constituido el primer paso del proceso. El equipo de investigación, en colaboración con las fuerzas policiales, acude al lugar para recabar toda la información disponible sobre el escenario, la geometría de las carreteras, la visibilidad, las evidencias visuales, como marcas de neumáticos, así como daños en vehículos. La información sobre las lesiones es obtenida de los servicios de emergencia y de los datos hospitalarios y utilizada en la fase de análisis para determinar los mecanismos de lesión.

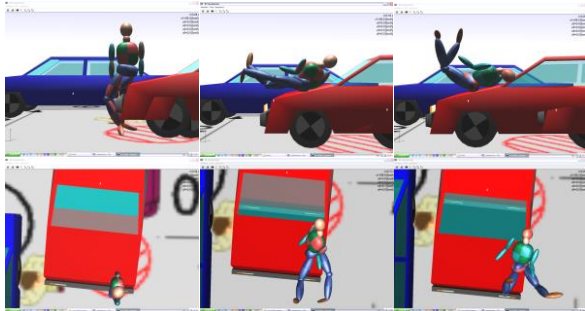
Una vez concluidas las fases de investigación y compilación de datos, se analiza, revisa y prepara la información disponible para su utilización en la reconstrucción, empleando el software PCCrash®.

A continuación se selecciona el vehículo correspondiente en cada caso y se carga de la base de datos de vehículos disponible en el programa informático; sus características se configuran de acuerdo con el vehículo real. Para ello se mide con precisión la geometría frontal de los vehículos reales.

A partir de estudios antropométricos ([10], [11]), se definen modelos multicuerpo de peatón, representativos de la población española actual tanto para hombres como para mujeres, y para un amplio rango de edades.

Finalmente, las reconstrucciones virtuales de los accidentes se realizan utilizando el software PCCrash® de reconstrucción. Las condiciones iniciales tienen una fuerte influencia en la cinemática de reconstrucción ([12]). Numerosos parámetros, tales como la velocidad de aproximación ( $V_0$ ), velocidad de atropello ( $V_A$ ), la

trayectoria, la posición, el movimiento de los peatones, las maniobras y las secuencias del conductor, se modifican y prueban en diferentes combinaciones en un proceso iterativo que conduce a una reconstrucción fiable (Figura 2), emparejando tanto los puntos de impacto con la evidencia visual, como abolladuras o marcas, y con los lugares y mecanismos de lesión, como las posiciones finales de vehículo y peatón.



**Figura 2.** Secuencias cinemáticas de la reconstrucción virtual de un atropello. Fuente: elaboración propia

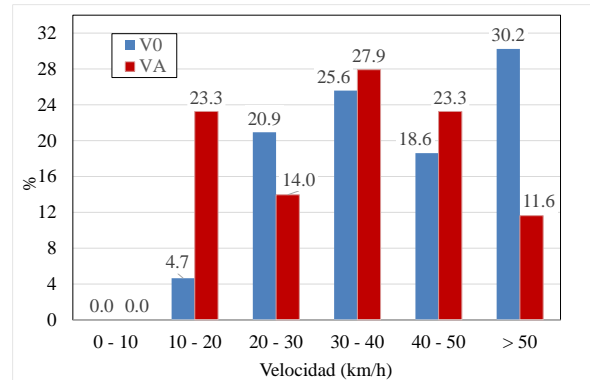
Se establecen algunas hipótesis iniciales para que todas las reconstrucciones se realicen desde un enfoque común:

1. El tiempo de reacción del conductor se considera un segundo en todos los casos.
2. El retraso para un sistema de frenado convencional es de 0.25s.
3. El Punto de Percepción Posible (PPP) del conductor es el momento en que el peatón pisa el pavimento y ningún obstáculo cubre el campo de visión de dicho conductor.
4. Se establecen tres niveles de intensidad para la fuerza de frenado antes de la colisión: sin frenada, cuando las pruebas demuestran que el conductor no tuvo tiempo de reaccionar o desconocía completamente la presencia de peatones en el carril del vehículo; una frenada de intensidad media, por defecto para la mayoría de los accidentes; y una frenada completa cuando las evidencias, como las marcas de los neumáticos, lo indican.

La distribución de la velocidad de aproximación ( $V_0$ ) y de la velocidad de atropello ( $V_A$ ) en los accidentes de la muestra se presenta en la Figura 3. La probabilidad de un peatón de fallecer en un accidente crece con la velocidad a la que se produce el impacto con el vehículo. Así, mientras en un atropello a 30 km/h la probabilidad de sufrir heridas mortales es del 10%, esta probabilidad crece hasta el 80% a 50 km/h, y roza el

100% a partir de 60 km/h, según una revisión de investigaciones de la OMS y OCDE/ECMT ([13]).

En la muestra de atropellos analizada en el presente documento la velocidad de atropello supera: los 30 km/h en el 62.8 % de los casos, y los 50 km/h en el 11.6% de dichos casos.



**Figura 3.** Distribución de la velocidad de aproximación ( $V_0$ ) y de la velocidad de atropello ( $V_A$ ) en los accidentes de la muestra. Fuente: elaboración propia

## 2.2. Sistemas AEB y OPREVU-AES

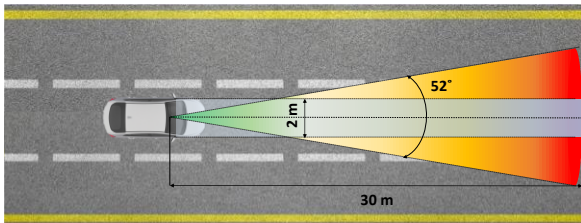
El procedimiento de evaluación de eficacia descrito en este documento se basa en la reconstrucción de una muestra de atropellos (40 casos), utilizando el programa informático PCCrash®. Cada atropello es simulado en condiciones reales, con un sistema AEB comercial y con el sistema OPREVU-AES.

El sistema AEB comercial se anticipa a la respuesta del conductor en caso de posible colisión frontal con peatones o, de producirse esta, reducir la gravedad de los daños en la medida de lo posible. Estos sistemas constan de un sensor de fusión, que combina la actuación de un cámara y un dispositivo LIDAR. Este sistema se ha calibrado mediante pruebas en la pista de INSIA-UPM, utilizando un vehículo Hyundai Ioniq 1.6 GDI HEV Style DCT, y tomando como referencia los ensayos de validación CPNA-50 y CPNA-25 (Car-to-Pedestrian Nearside Adult) de la Euro NCAP ([14]). Los datos obtenidos a través de un sistema de registro de doble antena incorporado al vehículo son exportados y analizados, arrojando los siguientes datos de funcionamiento (Figura 4):

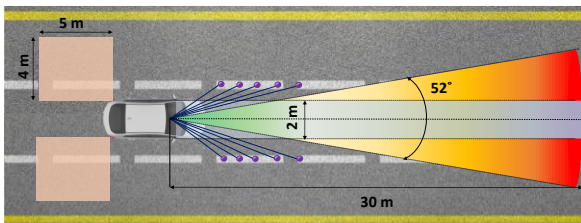
- La cámara cubre un rango de  $\pm 26^\circ$  (amplitud de  $52^\circ$ ).
- La identificación del peatón se realiza a una distancia máxima de 30 m.

- La distancia lateral entre el peatón y el vehículo (respecto al eje longitudinal de este último), debe ser inferior a 1 m (zona de activación del AEB).

Frente al anterior, el sistema OPREVU-AES ([7]) añade a la función del AEB la actuación sobre el sistema de dirección, para generar una maniobra de evasión y evitar un posible atropello al peatón, completando su operación con el detector de ángulo muerto para tráfico posterior-lateral y el reconocimiento de vehículo de frente con el sensor de fusión (Figura 5). Adicionalmente, aborda la incorporación de predictores del comportamiento del peatón dentro de los algoritmos de toma de decisión en las maniobras de evitación del atropello, tomando en consideración variables conductuales de dicho usuario que no han sido incorporadas hasta el momento, como el porcentaje de tiempo de atención del peatón durante el cruce.



**Figura 4.** Esquema de sistema AEB comercial. Fuente: elaboración propia



**Figura 5.** Esquema de sistema OPREVU-AES ([7]). Fuente: elaboración propia

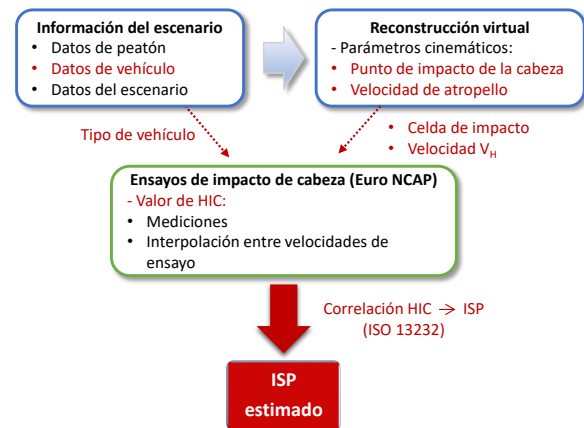
Este sistema de evasión requiere una distancia mínima al peatón para la ejecución de la maniobra: entre 40 km/h y 55 km/h, una distancia mínima de 12 m; entre 56 km/h y 65 km/h, una distancia de 18 m; y para velocidades entre 66 km/h y 70 km/h, la distancia debe ser superior a 24 m.

### 2.3. Estimación de probabilidad de gravedad de lesiones en cabeza (ISP)

Las lesiones en la cabeza son habitualmente las más graves que sufren los peatones cuando son atropellados por un vehículo. Dicha gravedad depende de un gran número de parámetros tales como: la velocidad de colisión, el punto de impacto de la cabeza o la rigidez del componente golpeado sobre el frontal del vehículo.

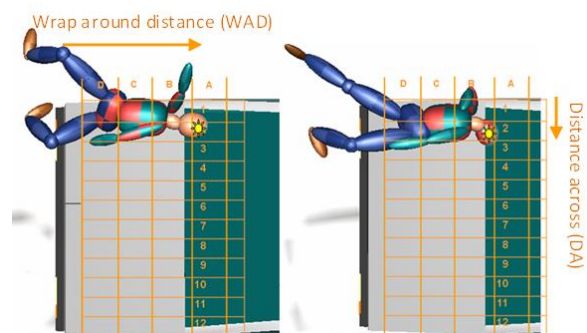
La intensidad del impacto en la cabeza suele evaluarse mediante el criterio de lesión en la cabeza HIC (Head Injury Criterion [15]). El HIC puede correlacionarse con el riesgo de lesión grave, lo que da una idea muy clara de la gravedad del impacto en la cabeza.

La metodología utilizada en esta investigación para estimar la gravedad de la lesión craneal se describe en la Figura 6.



**Figura 6.** Metodología de estimación de la probabilidad de lesiones en cabeza (ISP). Fuente: elaboración propia

En primer lugar, la posición del punto de impacto de la cabeza se obtiene a partir de la reconstrucción virtual, y se representa mediante una fila y una columna correspondientes al WAD (Wrap Around Distance) y a la distancia a través de la parte frontal DA (Distance across), respectivamente, de acuerdo con la división de la parte frontal especificada por Euro NCAP ([16]) para las pruebas de peatones (Figura 7). Del mismo modo, también se obtiene la velocidad de impacto de la cabeza ( $V_H$ ) a partir de la reconstrucción.

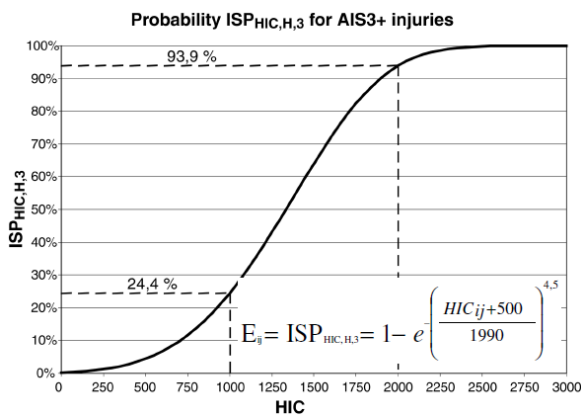


**Figura 7.** Estimación de la celda de impacto de la cabeza sobre el frontal del vehículo a partir de la reconstrucción. Fuente: elaboración propia

Luego se utilizan los datos de varias pruebas de laboratorio realizadas en Applus+ IDIADA para estimar el HIC correspondiente, llevadas a cabo en el marco del proyecto FIT - 370100 - 2007 - 51 ([17]). Se

trata de ensayos realizados para la puntuación peatonal Euro NCAP utilizando el impactador de cabeza para diferentes vehículos, a diferentes velocidades, impactando sobre el frontal del vehículo. Los componentes duros bajo el capó, como la batería y el motor, son considerados en correlación con las características de cada marca y modelo. La velocidad de impacto de la cabeza obtenida desde las reconstrucciones se correlaciona con la velocidad más cercana disponible de los ensayos y, en caso necesario, se ajusta el valor del HIC mediante interpolación.

Finalmente, para estimar la gravedad de la lesión en la cabeza, el valor del HIC estimado permite determinar la probabilidad de sufrir una lesión craneal grave (AIS3+, Abbreviated Injury Scale) ( $ISP_{HIC,H,3}$ ) basándose en la correlación especificada en la Figura 8 ([9], [18]).



**Figura 8.** Correlación entre el valor de HIC y la probabilidad de sufrir una lesión en la cabeza de gravedad AIS3+ ( $ISP_{HIC,H,3}$ ) ([9], [18])

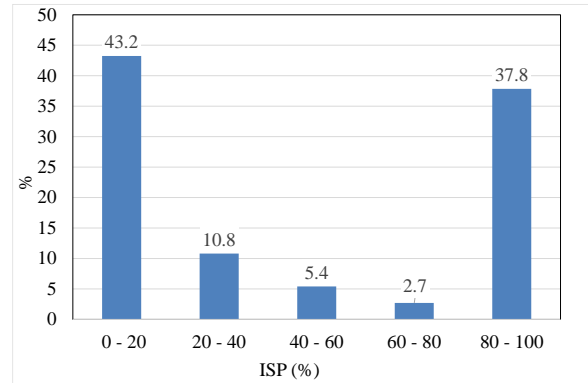
La escala AIS fue originalmente desarrollada para ser empleada por investigadores de accidentes, para estandarizar datos sobre la frecuencia y gravedad relativa a lesiones. El diccionario de AIS está dividido en nueve secciones, correspondientes a las distintas partes del cuerpo humano: cabeza (cerebro y cráneo); cara; cuello; tórax; abdomen y pelvis; columna vertebral; extremidades superiores; y extremidades inferiores. Dentro de cada sección, las lesiones tienen asignado un código de gravedad, según la Tabla 1.

**Tabla 1.** Descripción de la gravedad de las lesiones en función del valor del código AIS

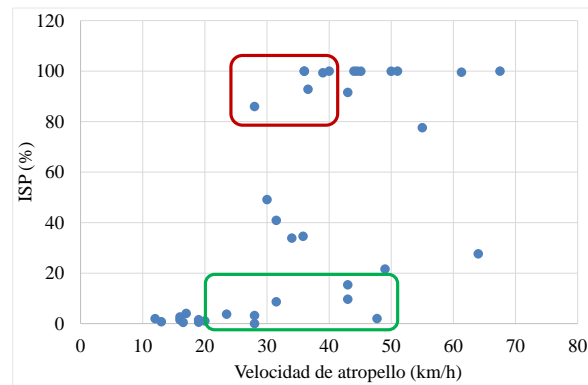
Código AIS	Descripción
1	Menor
2	Moderado
3	Serio
4	Severo
5	Crítico
6	Máximo
9	Desconocido

Fuente: elaboración propia

La distribución de la probabilidad de gravedad de lesiones en cabeza (ISP) en los accidentes de la muestra se presenta en la Figura 9. Asimismo, se muestra la evolución del valor de ISP en función de la velocidad de atropello en dichos accidentes (Figura 10).



**Figura 9.** Distribución de la probabilidad de gravedad de lesiones en cabeza (ISP) en los accidentes de la muestra. Fuente: elaboración propia



**Figura 10.** Evolución del ISP en función de la velocidad de atropello en los accidentes de la muestra. Fuente: elaboración propia

La velocidad de atropello constituye una de las variables principales de influencia sobre el valor de ISP, aunque no es la única. La ubicación de la celda de impacto de la cabeza sobre el frontal del vehículo también presenta gran relevancia. De este modo:

- En el 50% de los casos con valores de ISP muy bajos (0 - 20), la velocidad de atropello es igual o superior a 20 km/h, debido a impactos de la cabeza sobre celdas con capacidad de absorción de energía (cuadro en color verde en Figura 10).
- En el 43% de los atropellos con valores de ISP muy altos (80 - 100), la velocidad de atropello es igual o inferior a 40 km/h, debido a impactos de la cabeza sobre celdas de elevada rigidez (cuadro en color rojo en Figura 10).

### 3. Resultados

Aplicando la metodología propuesta, cada uno de los atropellos de la muestra ha sido reconstruido tres veces:

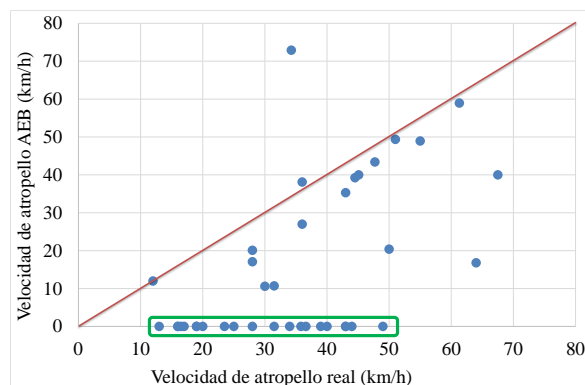
1. En condiciones reales, a partir de la información recogida en el escenario del siniestro.
2. Considerando la modificación de la fase previa a la colisión mediante la instalación del sistema AEB comercial.
3. Simulando la fase previa a la colisión mediante la instalación del sistema OPREVU-AES.

En cada uno de los casos se ha evaluado la variación de la velocidad de atropello y de la probabilidad de gravedad de lesiones en cabeza (ISP) tras la incorporación de los dos sistemas considerados, AEB y OPREVU-AES.

El cambio de la velocidad de atropello debido a dichos sistemas también implica una modificación de la celda de impacto de la cabeza sobre el frontal del vehículo, influyendo ambas variables sobre el valor del ISP final.

#### 3.1. Sistema AEB comercial

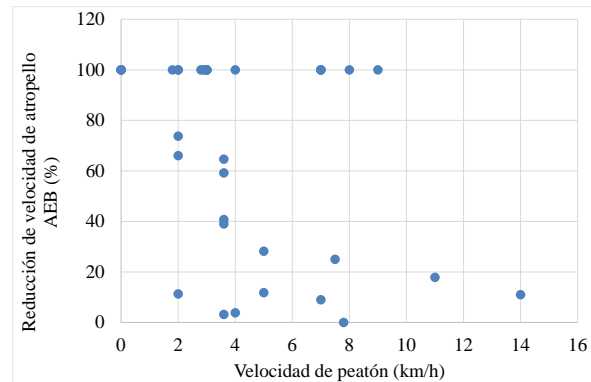
La instalación de la función de frenada de emergencia autónoma, presente en los dos sistemas propuestos en este documento, posibilita la evitación del 53.8% de los atropellos de la muestra (Figura 11, cuadro en color verde). Junto a esto, la reducción promedio de la velocidad de atropello en dichos accidentes es del 62.7%.



**Figura 11.** Comparación de la velocidad de atropello real frente a dicha velocidad tras la instalación del sistema AEB comercial. Fuente: elaboración propia

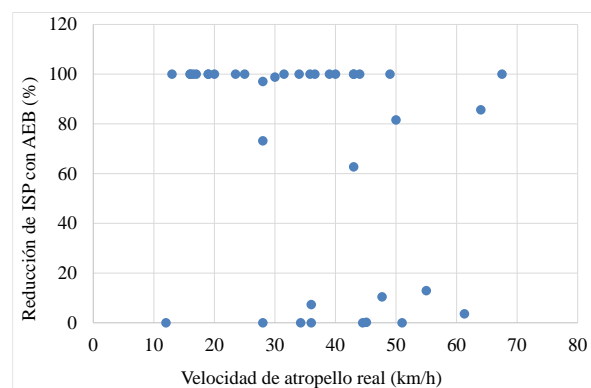
Dicha capacidad de evitación está condicionada por la velocidad de circulación del vehículo en los instantes previos al atropello, y por la velocidad del peatón (Figura 12), dado que el tiempo de activación preimpacto está relacionado con el instante en que

dicho peatón penetra en la estrecha zona de activación del sistema AEB. El aumento de las velocidades de circulación y del peatón reduce las posibilidades de evitación de este dispositivo.



**Figura 12.** Reducción de la velocidad de atropello frente a la velocidad del peatón, tras la instalación del sistema AEB comercial. Fuente: elaboración propia

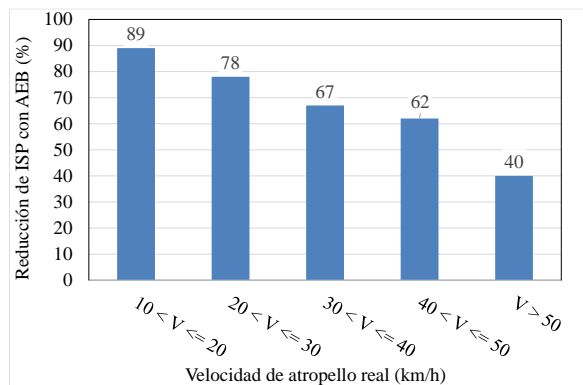
Junto a lo anterior, la capacidad del sistema AEB para la reducción de la probabilidad de gravedad de lesiones en cabeza (ISP) se muestra en las siguientes figuras (Figura 13 y Figura 14). La reducción promedio del ISP en los atropellos de la muestra es del 65%; y en el 64% de los casos la reducción de dicha probabilidad supera el 80%.



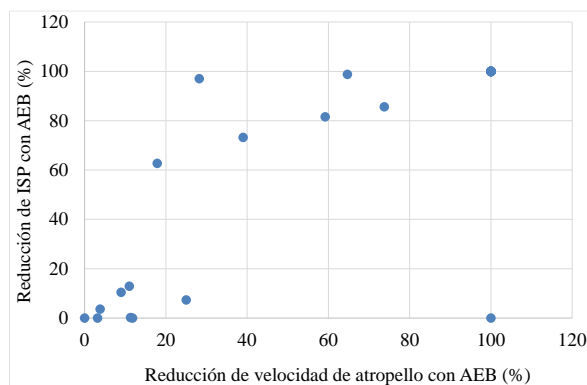
**Figura 13.** Reducción del ISP frente a la velocidad de atropello real, tras la instalación del sistema AEB comercial. Fuente: elaboración propia

Finalmente, se presenta la correlación entre la reducción del ISP y la reducción de la velocidad de atropello, tras la instalación del sistema AEB comercial (Figura 15).

A partir de reducciones de velocidad del 30% se consiguen reducciones del ISP superiores al 70%, lo cual confirma la importancia de la velocidad de atropello como una de las variables principales de influencia sobre la probabilidad de gravedad de lesiones en cabeza.



**Figura 14.** Reducción promedio del ISP por rangos de velocidad de atropello real, tras la instalación del sistema AEB comercial. Fuente: elaboración propia



**Figura 15.** Correlación entre reducción del ISP y reducción de la velocidad de atropello, tras la instalación del sistema AEB comercial. Fuente: elaboración propia

### 3.2. Sistema OPREVU-AES

Como ha sido descrito en el Apartado 2.2, el sistema OPREVU-AES incorpora la función de frenada de emergencia autónoma del sistema AEB comercial. Por ello, la eficacia descrita en el apartado precedente también aplica al nuevo sistema de evasión.

Este sistema de evasión requiere una distancia mínima al peatón para la ejecución de la maniobra en condiciones de seguridad: desde 12 m (velocidad de circulación entre 40 km/h y 55 km/h), hasta 24 m (velocidad de circulación entre 66 km/h y 70 km/h). Por ello, la posibilidad de realización de esta maniobra evasiva está condicionada por la detección temprana del peatón, así como por las restricciones del entorno del atropello.

El 46.2% de los accidentes de la muestra no son evitables empleando únicamente el sistema AEB comercial. Y en un 5% de los atropellos, no es posible realizar una maniobra de evasión debido a restricciones

de la infraestructura (vías de un único carril de circulación).

Tomando en consideración la zona de activación del sistema AEB comercial, el nuevo sistema OPREVU-AES podría evitar un 2.5% de los casos. En el resto de los casos (38.7%), la eficacia del nuevo sistema de evasión requiere de la ampliación del área de activación en dirección lateral por encima de los 2 metros.

## 4. Conclusiones

Enfoques multidisciplinares, como el presentado en este estudio, facilitan la identificación de parámetros críticos y simplifican el desarrollo de soluciones prácticas al cuantificar su impacto potencial en futuras acciones para mejorar la seguridad de los peatones.

Con esta metodología se crea una base de datos con 40 atropellos, incluyendo información detallada del vehículo, peatón (edad, peso, altura, codificación de lesiones, cinemática del movimiento), y escenario. Las reconstrucciones de esos accidentes se realizan utilizando técnicas avanzadas de simulación para estimar con precisión múltiples parámetros de la colisión, así como de las fases anterior y posterior al impacto.

La información recopilada se ha utilizado para evaluar la eficacia de dos sistemas de seguridad primaria, un sistema AEB comercial y el sistema OPREVU-AES de frenado y evasión autónomo, desarrollado en el marco de los proyectos OPREVU (RTI2018-096617-B-100) y SEGVAUTO-4.0-CM (S2018/EMT-4362). El rendimiento de estos sistemas se ha modelado en las reconstrucciones, analizando su capacidad para reducir la gravedad de los atropellos de la muestra.

Numerosas investigaciones en las últimas décadas han concluido que la probabilidad de un peatón de fallecer o resultar gravemente lesionado en un accidente crece con la velocidad a la que se produce el impacto con el vehículo. No obstante, las características de la celda de impacto de la cabeza sobre el frontal del vehículo también presentan gran relevancia.

La eficacia de la función de frenada de emergencia autónoma, presente en ambos sistemas (AEB comercial y OPREVU-AES), se verifica por su capacidad de evitación del 54% de los atropellos de la muestra y por la reducción promedio del ISP del 65%, tras su instalación en los vehículos implicados.

La función de evasión del atropello del nuevo sistema OPREVU-AES propuesto presenta un gran potencial de mejora de la seguridad primaria. No obstante, esta función requiere una distancia mínima al peatón para la ejecución de la maniobra en condiciones de

seguridad. El incremento de la eficacia del mismo hace necesario el aumento del área de activación en dirección lateral por encima de los 2 metros.

## 5. Referencias

- [1] Observatorio Nacional de Seguridad Vial, Dirección General de Tráfico . “Avance de las principales cifras de la Siniestralidad Vial [Online] (2020)”. Disponible en: <https://www.dgt.es/menusecundario/dgt-en-cifras/dgt-en-cifras-resultados/dgt-en-cifras-detalle/?id=00810>. 2020
- [2] Hamdane, H., Serre, T., Anderson, R., Masson, C., Yerpez, J. “Description of pedestrian crashes in accordance with characteristics of Active Safety Systems”. IRCOBI 2014 Congress. 2014
- [3] López A.; SheronyR., Chien S.; Li L.; Yi Q. and Chen Y. “Certainty and Critical Speed for Decision Making in Tests of Pedestrian Automatic Emergency Braking Systems”. IEEE Transactions on ITS. 2016
- [4] Vasuki P. et Veluchamy S. “Pedestrian detection for driver assistance systems”. International Conference on Recent Trends in Information Technology (ICRTIT). 2016
- [5] Zhuping Zhou; Yunlong Peng; Yifei Cai. “Vision-based approach for predicting the probability of vehicle-pedestrian collisions at intersections”. IET Intell. Transp. Syst. 2020
- [6] Yao, J., Yang, J. and Otte, D. “Investigation of head injuries by reconstructions of real-world vehicle-versus-adult-pedestrian accidents”. Safety Science. 2008
- [7] Ángel Losada et al. “Diseño y simulación de un sistema de frenado y evasión autónomo (OPREU-AES) para la evitación del atropello de peatones en diferentes condiciones de tráfico”. CIBIM 2022. 2022
- [8] INSIA, Applus IDIADA, CENTRO ZARAGOZA and SERNAUTO. “Investigación industrial en la protección de peatones a partir del estudio en profundidad de accidentes de tráfico en Madrid, Zaragoza y Barcelona”. FIT 370100-2007-51 project report. 2008
- [9] ISO International Standard. “ISO 13232-5:2005 Motorcycles - Test and analysis procedures for research evaluation of rider crash protective devices fitted to motorcycles. Part 5: Injury indices and risk/benefit analysis”. 2005
- [10] Benjumea, A. “Datos antropométricos de la población laboral española”. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2001
- [11] Ministerio de Sanidad de España. “Estudio antropométrico de la población femenina española”. 2008
- [12] Untaroiu, C. D., et al "Analysis of running child pedestrians impacted by a vehicle using rigid-body models and optimization techniques". Safety Science. 2010
- [13] Dirección General de Tráfico. “Revista de Tráfico y Seguridad Vial. Número 230”. 2015
- [14] Euro NCAP. “Test protocol, AEB/LSS VRU systems (Version 4.1)”. 2022
- [15] SAE International Standard. “SAE J885. Human Tolerance to Impact Conditions as Related to Motor Vehicle Design”. 2011
- [16] Euro NCAP. “Pedestrian Testing Protocol (Version 5.3)”. 2011
- [17] Applus+IDIADA, Centro Zaragoza, INSIA. “Investigación Industrial en la Protección de Peatones a partir del Estudio en Profundidad de Accidentes de Tráfico en Madrid, Zaragoza y Barcelona.”, Proyecto FIT - 370100 - 2007 -51. 2007
- [18] Matthias Kuehn, Robert Froeming y Volker Schindler. “Assessment of vehicle related pedestrian safety”. ESV 19. 2005