

# ANÁLISIS DE SINIESTRALIDAD POR FAUNA E INTEGRACIÓN DE SISTEMAS DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA EL DESARROLLO DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN CARRETERAS Y AUTOVÍAS

Carlos Real Gutiérrez<sup>1</sup>, Sara García Argüelles<sup>2</sup>,  
Juan Antonio Ruiz De Villa<sup>3</sup>, Jorge Rodríguez Hernández<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Cantabria, Santander, España, carlos.real@unican.es

<sup>2</sup> Universidad de Cantabria, Santander, España, sara.garciaarguelles@unican.es

<sup>3</sup> Experto independiente, Santander, España, jaruizdevilla@gmail.com

<sup>4</sup> Universidad de Cantabria, Santander, España, jorge.rodriguez@unican.es

## Resumen

La interacción entre infraestructuras viarias y fauna silvestre constituye un problema creciente tanto desde el punto de vista de la Seguridad Vial como de la conservación de la biodiversidad. En este contexto, el presente trabajo aborda el análisis de la siniestralidad asociada a fauna en la Red de Carreteras del Estado (RCE) en Cantabria, así como la Red Autonómica, a partir de datos históricos de accidentes procedentes de la Dirección General de Tráfico en el periodo 2016–2023.

El estudio se basa en un enfoque estadístico y geoespacial orientado a la identificación de patrones espacio-temporales de riesgo, analizando la distribución de accidentes en función de variables como la localización, la especie implicada, la estacionalidad, la franja horaria y la intensidad de tráfico. Los resultados obtenidos evidencian una elevada concentración de accidentes en determinados tramos de la red, así como la existencia de patrones recurrentes asociados a condiciones de baja visibilidad, periodos de mayor actividad de la fauna y zonas con elevada IMD (intensidad media diaria de tráfico).

A partir de este análisis, se plantea un enfoque integrado que combina el uso de información histórica con el desarrollo de sistemas de monitorización basados en visión artificial para la detección y caracterización de la presencia de fauna en el entorno de la carretera. Estos desarrollos, actualmente en fase de investigación, se orientan a mejorar la disponibilidad de información en tiempo real y a apoyar la activación de medidas de mitigación en función de las condiciones de riesgo observadas.

El trabajo se enmarca en la implementación de un escenario piloto que integra tecnologías de monitorización, sistemas de disuasión adaptativa y medidas de conectividad ecológica, con el objetivo de avanzar hacia soluciones aplicables, escalables y basadas en datos para la reducción de la siniestralidad por fauna en carreteras.

**Palabras Clave:** Siniestralidad vial; Fauna silvestre; Fragmentación de hábitats; Visión artificial

## 1. Introducción

En España, los accidentes de tráfico con animales superan los 35.000 anuales, con importantes pérdidas humanas y materiales [1]. Esta situación se ve favorecida por el crecimiento de las poblaciones de algunas especies de animales, la expansión de la red viaria y la consiguiente fragmentación de hábitats, que incrementan la interacción entre fauna y vehículos [2,3].

La literatura científica coincide en el carácter multifactorial de estos accidentes, donde influyen conjuntamente factores como la infraestructura, el tráfico, el ambiente, el paisaje y el comportamiento animal [4]. Además, su distribución no es uniforme, sino que presenta patrones espaciales y temporales, concentrándose en determinados tramos y franjas horarias [5–7].

Estos patrones dependen de condiciones locales como el entorno, la intensidad de tráfico o la presencia de corredores ecológicos, generando “puntos calientes” o “hotspots” que requieren intervenciones específicas. En este sentido, nuevas fuentes de datos como la ciencia ciudadana han demostrado utilidad para identificar y caracterizar estos puntos en redes complejas [8], evidenciando que las medidas generalistas son poco eficaces y deben adaptarse a cada contexto.

En cuanto a la mitigación, la combinación de vallados y pasos de fauna es la solución más efectiva para reducir atropellos y mantener la conectividad ecológica [9,10], logrando en algunos casos reducciones superiores al 80% en colisiones con grandes mamíferos, aunque con variabilidad según el diseño y ejecución [10,11]. Esto subraya la necesidad de un enfoque espacial integral del corredor viario en cada caso particular.

No obstante, existen limitaciones en los datos, ya que los registros pueden subestimar la mortalidad real, especialmente en cuanto a animales heridos que no permanecen en la calzada. Además, la escala de análisis influye en la identificación de los “hotspots” y en la priorización de actuaciones [12], lo que exige enfoques integrados que combinen distintas fuentes y escalas.

Paralelamente, han surgido avances en tecnologías de monitorización de fauna, desde métodos manuales hasta sistemas automatizados con cámaras, sensores e integración digital. Destacan sistemas de visión artificial RGB, dispositivos IoT y procesamiento distribuido para detección en tiempo real [13–15], junto con enfoques multisensor [16] y el uso de vehículos como plataformas de monitorización [17].

A pesar de su potencial, estas tecnologías aún están en fases iniciales, con limitaciones en robustez, comunicaciones e integración. Actualmente, su mayor valor reside en complementar métodos tradicionales, mejorando la monitorización y la identificación de tramos de riesgo.

En este contexto, este trabajo analiza la siniestralidad por fauna en Cantabria mediante datos históricos para identificar patrones espacio-temporales y apoyar la gestión viaria, proponiendo un enfoque integrado que combina análisis de datos y monitorización mediante visión artificial RGB en un escenario piloto orientado a soluciones escalables.

## 2. Metodología

El presente trabajo se estructura en dos líneas complementarias: el análisis de datos históricos de siniestralidad para la identificación de patrones de riesgo asociados a la interacción entre fauna silvestre e infraestructuras viarias, y el desarrollo de sistemas de visión artificial en imágenes RGB orientados a la detección automatizada de especies en el entorno de la carretera.

### 2.1. Datos y preprocesado

Se han utilizado los microdatos de accidentes con animales de la Dirección General de Tráfico (DGT) correspondientes al periodo 2016–2023. Se han filtrado los registros de la comunidad autónoma de Cantabria y se han excluido los accidentes asociados a fauna doméstica, centrando el análisis en fauna salvaje o silvestre.

Las variables se han procesado para permitir su explotación, incluyendo la normalización de información temporal (mes, día y hora) y la categorización de los siniestros según tipología y especie implicada.

De forma complementaria, se han recopilado datasets públicos de fauna silvestre basados en imágenes RGB, compuestos por ejemplos etiquetados de diferentes especies en entornos reales. Estos conjuntos se han adaptado mediante procesos de limpieza, selección de clases relevantes y homogeneización de etiquetas, con el objetivo de garantizar su utilidad en el entrenamiento de modelos de visión artificial.

### 2.2. Análisis de siniestralidad

Se ha realizado un análisis estadístico orientado a caracterizar la siniestralidad en función de su evolución temporal, la distribución por especies y los patrones horarios y estacionales.

A nivel espacial, los accidentes han sido georreferenciados a partir de la referencia de la carretera y el punto kilométrico, permitiendo su proyección sobre la red viaria. A partir de esta información, se han generado mapas de densidad y se han identificado zonas con mayor concentración de siniestros (hotspots), facilitando la localización de tramos de riesgo.

### 2.3. Visión artificial

En paralelo al análisis de datos, se están desarrollando modelos de visión artificial basados en imágenes RGB para la detección y clasificación de fauna en el entorno viario.

El entrenamiento de estos modelos se apoya en datasets públicos previamente adaptados al contexto del estudio, permitiendo trabajar con condiciones variables de iluminación, fondo y escala. El enfoque se centra en la detección de presencia de fauna relevante desde el punto de vista de la seguridad vial, evaluando su viabilidad en entornos controlados.

### 2.4. Integración

Ambas líneas se integran en un enfoque orientado a la monitorización del entorno de la carretera, en el que el análisis de datos históricos permite identificar patrones y tramos críticos, mientras que los sistemas de visión artificial aportan capacidad de detección en tiempo (casi) real.

Este planteamiento permite avanzar hacia soluciones más adaptativas y eficaces, orientadas al apoyo en la toma de decisiones y a la activación de medidas de mitigación en función de las condiciones observadas.

### 3. Resultados y Análisis

El análisis de los datos de siniestralidad con fauna silvestre en Cantabria para el periodo 2016–2023 permite identificar patrones consistentes desde el punto de vista temporal, tipológico y espacial. Estos resultados constituyen una base sólida para la caracterización del riesgo y la priorización de medidas de mitigación.

#### 3.1. Caracterización general de la siniestralidad

Los datos agregados muestran que la siniestralidad con fauna en Cantabria está dominada por accidentes con daños materiales, mientras que los accidentes con víctimas son poco frecuentes y los siniestros mortales son prácticamente inexistentes, si bien el número de heridos es importante.

Tabla 1. Métricas de siniestralidad en Cantabria con fauna silvestre. Datos extraídos de los ficheros de microdatos de accidentes con fauna de la DGT

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Siniestros mortales	0	0	0	0	0	0	0	1
Siniestros con víctimas	1	3	5	5	8	3	3	2
Siniestros con daños materiales en vehículo	190	254	303	377	324	329	326	305
Personas fallecidas	0	0	0	0	0	0	0	1
Personas heridas hospitalizadas	0	0	0	0	1	0	0	1
Personas heridas no hospitalizadas	1	11	10	6	7	3	4	1

Durante el periodo analizado, se ha registrado un único siniestro mortal (2023), lo que pone de manifiesto la baja frecuencia de este tipo de eventos. Sin embargo, los accidentes con daños materiales presentan valores elevados y persistentes, con un crecimiento progresivo hasta 2019 y una posterior estabilización en torno a los 300 siniestros anuales.

Este comportamiento refleja que actualmente, aunque el impacto en términos de víctimas es limitado, la magnitud del fenómeno desde el punto de vista de frecuencia es elevada y sostenida en el tiempo.

#### 3.2. Distribución por especies

El análisis por especies pone de manifiesto una fuerte concentración de la siniestralidad en un número reducido de taxones, principalmente grandes mamíferos.

En particular, el jabalí (*Sus scrofa*) y el corzo (*Capreolus capreolus*) concentran la mayor parte de los accidentes registrados, representando conjuntamente una proporción dominante del total.

Adicionalmente, el análisis de la evolución anual muestra dinámicas diferenciadas entre especies. El jabalí presenta un incremento sostenido hasta 2019, seguido de una ligera estabilización, mientras que el corzo mantiene una evolución más estable con variaciones interanuales moderadas.

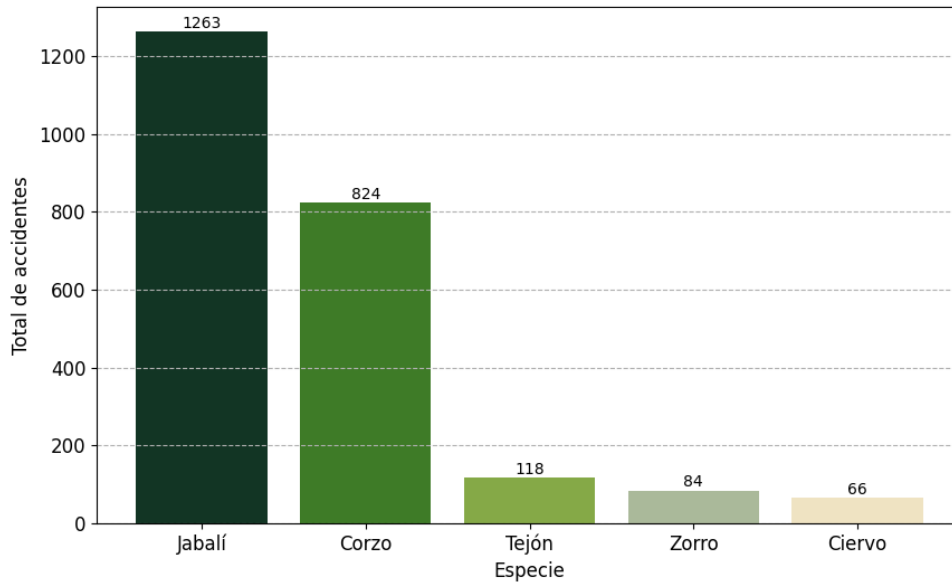


Figura 1: Acumulado de accidentes totales por especie (principales taxones)

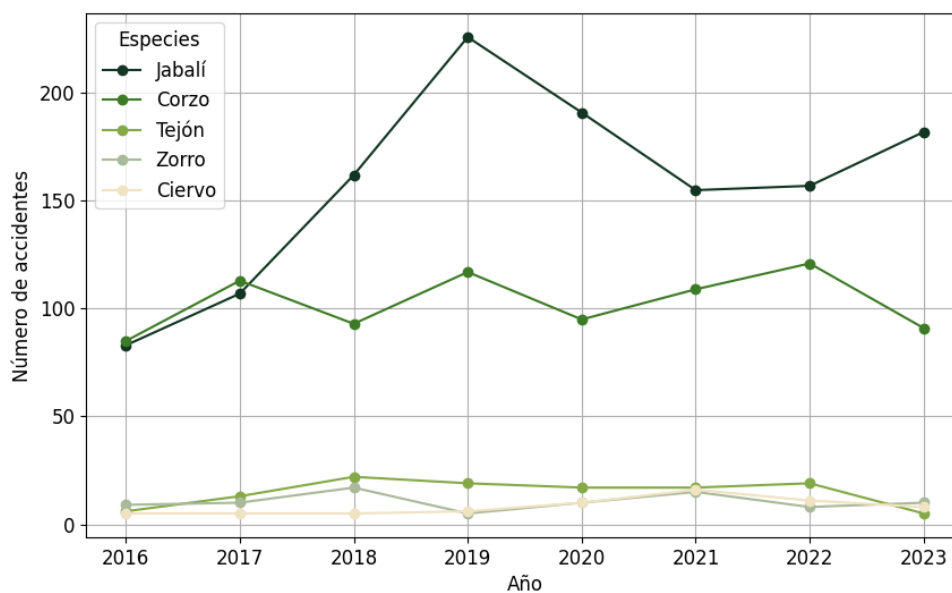


Figura 2: Evolución anual de accidentes para las principales especies

Estos resultados reflejan la influencia tanto de la densidad poblacional como de los patrones de comportamiento de cada especie en la siniestralidad.

### 3.3. Análisis temporal

El análisis temporal muestra patrones claros tanto a escala mensual como horaria.

A nivel mensual, se observa una mayor incidencia en los meses de invierno (noviembre–enero), asociada a condiciones de menor visibilidad, así como un segundo incremento en primavera (abril–mayo), vinculado a periodos de mayor actividad biológica.

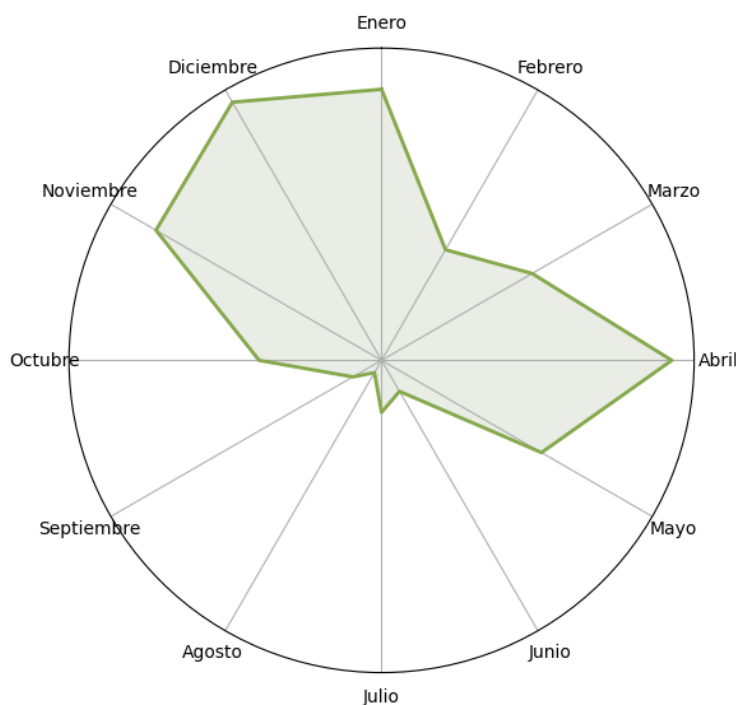


Figura 3. Distribución mensual de accidentes con fauna silvestre (2016–2023).

Tabla 2: Distribución temporal de accidentes por meses periodo 2016 a 2023

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>Número de accidentes</b>	246	193	210	253	214	159	165	151	158	191	242	256
<b>%</b>	10,09	7,92	8,61	10,38	8,78	6,52	6,77	6,19	6,48	7,83	9,93	10,5

En cuanto a la distribución horaria, los accidentes se concentran claramente en las franjas de baja visibilidad, con un pico destacado entre las 19:00 y las 23:00 horas. Este patrón coincide con la actividad crepuscular y nocturna de las principales especies implicadas.

Estos resultados evidencian la relación directa entre condiciones ambientales, comportamiento animal y siniestralidad.

### 3.4. Identificación de tramos críticos

El análisis por carretera permite identificar una concentración significativa de los accidentes en un número limitado de vías.

Las diez carreteras con mayor siniestralidad concentran aproximadamente el 59% de los accidentes registrados en el periodo analizado, destacando especialmente la autovía A-8, que por sí sola representa más del 30% del total.

Tabla 3. Carreteras con mayor número de accidentes y especies predominantes.

Carretera	A-8	A-67	N-623	N-634	CA-141	N-611	CA-272	N-629	CA-142	CA-171
<b>Total de accidentes</b>	431	196	142	133	132	94	92	78	67	56
<b>Accidentes con Jabalí</b>	332	146	84	80	100	48	18	35	32	26
<b>Accidentes con Corzo</b>	62	23	47	36	27	39	69	31	25	23
<b>Accidentes con Tejón</b>	16	10	8	7	1	2	1	5	3	2
<b>Accidentes con Zorro</b>	18	17	3	7	4	2	1	6	2	3
<b>Accidentes con Ciervo</b>	3	0	0	3	0	3	3	1	5	2

Este resultado pone de manifiesto la existencia de tramos prioritarios claramente delimitados, donde la implantación de medidas de mitigación puede tener un impacto significativo en la reducción de la siniestralidad.

### 3.5. Análisis espacial

La representación geoespacial de los accidentes permite identificar patrones territoriales claros. El mapa de densidad muestra una concentración significativa de siniestros en zonas costeras y áreas con alta intensidad de tráfico, donde se produce una mayor interacción entre vehículos y fauna.

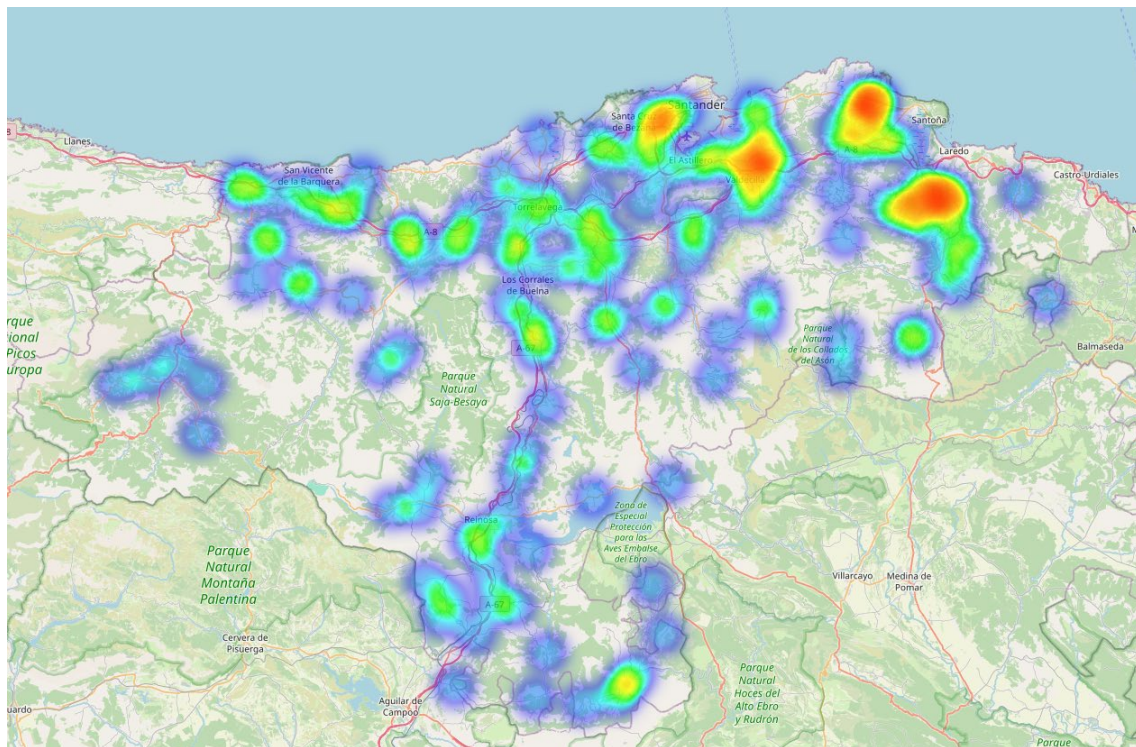


Figura 4. Mapa de calor de siniestralidad con fauna silvestre en Cantabria.

Estas áreas coinciden con entornos donde confluyen:

- elevado tráfico (alta IMD)
- proximidad a corredores ecológicos
- fragmentación del territorio

Por el contrario, las zonas con menor intensidad de tráfico presentan una menor densidad de accidentes, a pesar de albergar mayor presencia de fauna, lo que evidencia el papel determinante del volumen de tráfico en la ocurrencia de siniestros.

### 3.6. Síntesis de resultados

De forma conjunta, los resultados permiten identificar tres patrones clave:

- La siniestralidad presenta una alta frecuencia, suponiendo pérdidas significativas evitables.
- Existe una fuerte concentración en determinadas especies, principalmente jabalí y corzo.
- La distribución espacial es heterogénea, con tramos claramente identificables de alto riesgo.

Estos resultados proporcionan una base sólida para la definición de estrategias de mitigación y la selección de ubicaciones prioritarias para la implantación de sistemas de monitorización basados en visión artificial.

Los tramos identificados como “hotspots” constituyen localizaciones prioritarias para la implantación de sistemas de monitorización basados en visión artificial.

## 4. Desarrollo de sistema de visión artificial

Como complemento al análisis de la siniestralidad, se está desarrollando un módulo de visión artificial basado en imágenes RGB orientado a la detección automatizada de fauna en el entorno de la carretera.

Para ello, se han utilizado datasets públicos de fauna silvestre compuestos por imágenes etiquetadas de diferentes especies en condiciones diversas. Estos conjuntos de datos han sido adaptados al contexto del estudio mediante procesos de selección de especies relevantes, homogeneización de categorías y validación de anotaciones.

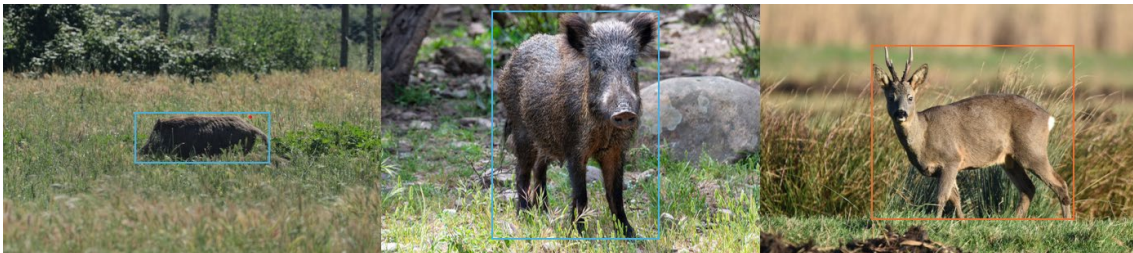


Figura 5. Ejemplos de imágenes RGB etiquetadas de fauna silvestre (jabalí y corzo), utilizadas en el entrenamiento de modelos de detección, mostrando la anotación mediante bounding boxes en diferentes condiciones de entorno y visibilidad.

Fuente: Imágenes obtenidas de la plataforma iNaturalist (<https://www.inaturalist.org>), adaptadas mediante anotación para su uso en este trabajo.

El objetivo de este desarrollo es evaluar la capacidad de los modelos de visión artificial para detectar la presencia de fauna en condiciones próximas a las reales del entorno viario. Actualmente, el sistema se encuentra en fase de entrenamiento y validación en entorno controlado.

Este módulo se plantea como un complemento al análisis de datos realizado, permitiendo incorporar información en tiempo (casi) real en los tramos identificados como de mayor riesgo. De esta forma, se establece una conexión directa entre los patrones de siniestralidad obtenidos y el desarrollo de soluciones tecnológicas orientadas a su mitigación.

Este enfoque permite avanzar hacia sistemas de monitorización inteligentes integrados en infraestructuras viarias, orientados a mejorar la seguridad vial y la gestión de la interacción fauna-carretera.

## 5. Conclusiones

El presente trabajo ha permitido caracterizar la siniestralidad asociada a fauna silvestre en la red viaria de Cantabria mediante el análisis de datos históricos correspondientes al periodo 2016–2023, identificando patrones relevantes desde el punto de vista temporal, espacial y tipológico.

Los resultados obtenidos permiten confirmar la existencia de patrones de siniestralidad claramente definidos, que facilitan su caracterización y el diseño de estrategias de intervención orientadas a la mejora de la seguridad vial.

El análisis temporal evidencia una fuerte dependencia de las condiciones de visibilidad y de los patrones de actividad de la fauna, con una mayor incidencia en franjas crepusculares y nocturnas, así como en determinados periodos del año. Estos factores, junto con la influencia del tráfico y la fragmentación del territorio, configuran escenarios de riesgo claramente identificables.

A partir de estos resultados, se han definido zonas prioritarias de actuación basadas en la identificación de tramos críticos (hotspots), que constituyen localizaciones idóneas para la implementación de medidas de mitigación y para el despliegue de sistemas de monitorización del entorno viario.

En paralelo, se ha abordado el desarrollo de un módulo de visión artificial basado en imágenes RGB para la detección automatizada de fauna, apoyado en datasets públicos de imágenes etiquetadas. Aunque este desarrollo se encuentra actualmente en fase de validación, constituye un primer paso hacia la integración de tecnologías de detección en tiempo (casi) real en el entorno de la carretera.

La combinación de análisis de datos históricos con sistemas de monitorización basados en visión artificial permite avanzar hacia enfoques más adaptativos y orientados a la toma de decisiones, en los que la información disponible no solo describe el problema, sino que contribuye activamente a su gestión.

En conjunto, este trabajo establece una base metodológica y aplicada para el desarrollo de soluciones escalables orientadas a la reducción de la siniestralidad por fauna, reforzando el potencial de la integración de tecnologías inteligentes en la gestión de infraestructuras viarias.

## Referencias

- [1] Dirección General de Tráfico. (2023). Siniestralidad vial con implicación de animales 2022. Observatorio Nacional de Seguridad Vial.
- [2] National Geographic España. (s.f.). *En España hay más de un millón de jabalíes*.
- [3] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). (2024). *Fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte*.
- [4] Balčiauskas, L., Kučas, A., & Balčiauskienė, L. (2025). A review of wildlife–vehicle collisions: A multidisciplinary path to sustainable transportation and wildlife protection. *Sustainability*, 17(10). <https://doi.org/10.3390/su17104644>
- [5] Vance, J., Smith, W. H. F., & Smith, G. L. (2018). Species composition and temporal patterns of wildlife-vehicle collisions in Southwest Virginia, USA. *Human–Wildlife Interactions*. <https://doi.org/10.26077/6a2c-cj16>
- [6] Creech, T. G., Fairbank, E., Clevenger, A., Callahan, A. R., & Ament, R. (2019). Differences in spatiotemporal patterns of vehicle collisions with wildlife and livestock. *Environmental Management*. <https://doi.org/10.1007/s00267-019-01221-3>
- [7] Mayer, M., Nielsen, J. C., Elmeros, M., & Sunde, P. (2021). Understanding spatio-temporal patterns of deer-vehicle collisions to improve roadkill mitigation. *Journal of Environmental Management*. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113148>
- [8] Valerio, F., Basile, M., & Balestrieri, R. (2021). The identification of wildlife-vehicle collision hotspots: Citizen science reveals spatial and temporal patterns. *Ecological Processes*. <https://doi.org/10.1186/s13717-020-00271-4>
- [9] Ament, R., Huijser, M., & May, D. (2022). Animal-vehicle collision reduction and habitat connectivity: Cost effective solutions – Final report. Transportation Pooled Fund Study. <https://doi.org/10.15788/ndot2022.1.4>
- [10] Kim, I. R., Kim, K., & Song, E. (2023). An analysis of the effectiveness of mitigation measures at roadkill hotspots in South Korea. *Diversity*, 15(12). <https://doi.org/10.3390/d15121199>
- [11] Huijser, M., & Begley, J. (2022). Implementing wildlife fences along highways at the appropriate spatial scale: A case study of reducing road mortality of Florida Key deer. *Nature Conservation*. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.47.72321>
- [12] Bassani, M. (2019). Prioritizing road sections for wildlife fencing to reduce road mortality.
- [13] Ma, A. (2022). Smart wildlife sentinel (SWS): Preventing wildlife-vehicle collisions and monitoring road ecology with embedded IoT systems and machine learning. IEEE MIT Undergraduate Research Technology Conference. <https://doi.org/10.1109/URTC56832.2022.10002174>

- [14] Trevathan, J., Tan, W. L., Xing, W., Holzner, D., Kerlin, D., Zhou, J., & Castley, G. (2024). A computer vision enhanced IoT system for koala monitoring and recognition. *Internet of Things*. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2024.101474>
- [15] Moulherat, S., Pautrel, L., Debat, G., Etienne, M. P., Gendron, L., Hautière, N., Tarel, J., Testud, G., & Gimenez, O. (2024). Biodiversity monitoring with intelligent sensors: An integrated pipeline for mitigating animal-vehicle collisions. *Nature Conservation*. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.57.108950>
- [16] Schneider, M., Mantz, H., Walter, T., Montoya-Capote, M., Berger, J., Reichel, A., & Hollmach, N. (2026). Recognising wild animals on roads: Multisensor systems for accident avoidance. *Journal of Sensors and Sensor Systems*. <https://doi.org/10.5194/jsss-15-27-2026>
- [17] Ascensão, F., Branquinho, C., & Revilla, E. (2020). Cars as a tool for monitoring and protecting biodiversity. *Nature Electronics*. <https://doi.org/10.1038/s41928-020-0430-z>