

ANÁLISIS ESPACIAL DE LAS COLISIONES DE VEHÍCULOS CON ANIMALES SILVESTRES EN LA RED VIARIA DE LA PROVINCIA DE LUGO (ESPAÑA)

Emilio Rafael Díaz Varela
Manuel Francisco Marey Pérez
Ibán Vázquez González
Carlos José Álvarez López

Escuela Politécnica Superior. Universidad de Santiago de Compostela

Abstract

Wildlife-Vehicle collisions are an important risk factor for road safety, as well as an environmental impact from road networks. Lugo is one of the provinces in Spain with higher number of animal collisions. Only in 2007 a total of 726 accidents were registered, being 275 caused by roe deer (*Capreolus capreolus*), and 274 by wild boar (*Sus scrofa*).

The current study aims to enhance the knowledge about traffic accidents caused by wildlife, and about the possible mitigation measures. To do so, reports were used from the provincial section of Spain's traffic administration registering wildlife-caused accidents, selecting those related to roe deer and wild boar. A geographic information system was used to locate the accident points, thus transforming them into geo-referenced data. Specific data (i.e., species, date, time, etc.) was associated to them, and their grouping was analysed using spatial statistics, defining the most dangerous road sections. Finally, the adequateness of different mitigation methods was assessed..

Keywords: *Wildlife-vehicle accidents; spatial planning; environmental impact assessment; spatial statistics; geographic information systems*

Resumen

Las colisiones entre vehículos y animales silvestres constituyen un importante factor de riesgo para la seguridad vial, así como un factor más en el impacto ambiental de las redes viarias. Lugo es una de las provincias españolas con mayor número de colisiones con animales. Sólo en 2007 se produjeron un total de 726 accidentes, siendo en 275 la especie causante el corzo (*Capreolus capreolus*) y en 274 el jabalí (*Sus scrofa*)

El presente estudio pretende contribuir al conocimiento de los accidentes de tráfico causados por animales silvestres y de las posibles medidas de mitigación. Para ello, se han utilizado estadísticas suministradas por la Jefatura Provincial de la Dirección General de Tráfico sobre accidentes en carretera causados por animales en la provincia de Lugo, seleccionándose el corzo y el jabalí como especies más frecuentes. Se han localizado mediante un sistema de información geográfica los puntos de colisión, transformándolos en ubicaciones georeferenciadas. A estas se le han asociado datos específicos de cada accidente (especie, fecha, hora, etc.), y se ha analizado su agrupamiento mediante

estadística espacial, definiéndose los tramos de más peligrosidad. Finalmente, se ha analizado la idoneidad de diferentes medios de mitigación.

Palabras clave: *Accidentes con animales; ordenación del territorio; evaluación de impacto ambiental; estadística espacial; sistemas de información geográfica*

1. Introducción

Las colisiones de vehículos con animales en la red viaria presentan un reconocimiento creciente como amenaza para la seguridad vial (Malo et al., 2004; Seiler, 2005), presentando en el medio rural el riesgo añadido de la imprevisibilidad del comportamiento de los animales silvestres. El desarrollo de estrategias de mitigación de las colisiones con animales silvestres precisa del análisis de las variables que rodean a las mismas, con el fin de localizar áreas potencialmente peligrosas (Malo et al., 2004; Jaeger et al., 2005; Ramp et al., 2005; Seiler, 2005). Estas variables pueden dividirse entre aquellas relativas a la biología y ecología de las especies afectadas por una parte, y las relativas a las características de las vías y la intensidad del tráfico por otra. Lugo es desde hace tiempo una de las provincias españolas con mayor número de colisiones con animales (Pulido, 1999; Dirección General de Tráfico [DGT], 2004). Sólo en 2007 se produjeron un total de 726 accidentes, de entre los cuales 275 fueron producidos por corzo (*Capreolus capreolus*) y 274 por jabalí (*Sus scrofa*) (DGT, 2008). La elevada incidencia de ambas especies ha sido reflejada en estudios previos realizados a nivel estatal (Ruza, 1999; Pulido, 1999).

2. Objetivos

Este trabajo muestra los resultados preliminares del desarrollo de una metodología de mitigación de colisiones con animales, dividida en dos fases diferenciadas: Una primera, orientada a la localización espaciotemporal y caracterización de los accidentes. Y una segunda fase, en la que se emplea la información previamente generada para la realización de un análisis técnico-económico que oriente la elección de medidas de mitigación.

2. Materiales y métodos

2.1. Área de estudio

Se ha considerado la provincia de Lugo como área de estudio, seleccionándose las carreteras de titularidad autonómica incluidas dentro de la misma para el estudio de las colisiones con animales (Ver Fig. 1).

2.2. Fuentes de datos espaciales

Las fuentes cartográficas principales empleadas en el estudio ha sido la cartografía vectorial de carreteras de titularidad autonómica en formato Shapefile para la provincia de Lugo (Sistema de Información Territorial de Galicia [SITGA], 2003). Esta ha sido tratada para su uso en análisis espacial empleando el software ArcGIS 9.2® como Sistema de Información Geográfica (SIG), y la extensión SANET® para el análisis estadístico.

2.3. Localización espacial de las colisiones

La Jefatura Provincial de la Dirección General de Tráfico en Lugo ha suministrado los datos de los accidentes con animales en las carreteras de la provincia para los años 2006 y 2007.

Estos datos incluyen el tramo de carretera con su matrícula oficial, fecha y hora de la colisión, especie causante, y punto kilométrico oficial. Con esta información se ha elaborado una base de datos, analizándose la frecuencia de accidentes por especie, fecha y hora. Con el fin de considerar la influencia de variables como la visibilidad o las horas de actividad de la fauna, se ha comparado la hora de los accidentes con la del orto/ocaso correspondiente a la fecha del accidente.

Para referenciar espacialmente el punto de accidente, se ha utilizado el punto kilométrico oficial incluido en la base de datos, considerándose que cada punto tiene una precisión de un decimal (i.e., 100 m). A cada punto de accidente se le han asignado las coordenadas geográficas para la proyección UTM (ED 1950, huso 29), obtenidas a partir del Catálogo Visual de Estradas de Galicia (Xunta de Galicia, 2006a). Esto ha permitido generar en el SIG un mapa vectorial de puntos para los accidentes, coincidente con la cartografía de red viaria empleada.

Figura 1: Localización de la zona de estudio

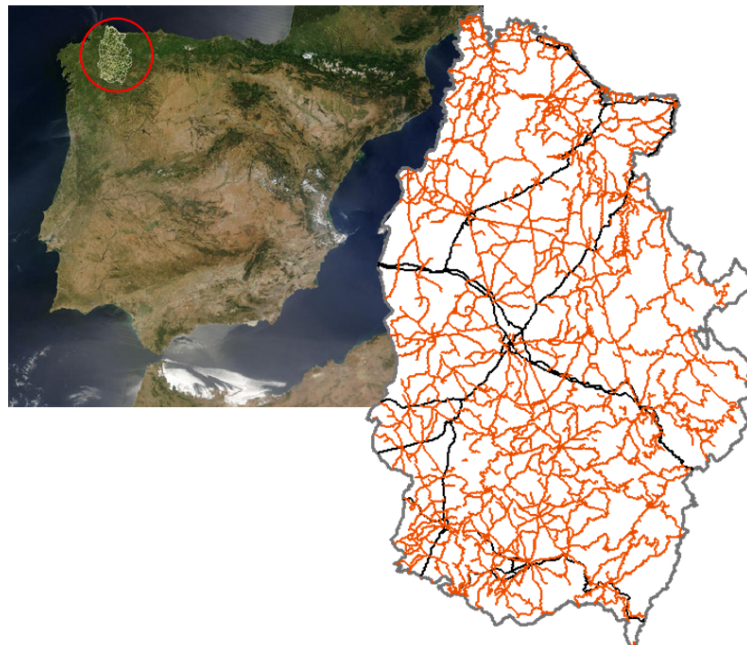


Figura 1. Localización de la zona de estudio. Se muestra en naranja la red viaria con titularidad autonómica, y en negro los elementos de red viaria de ámbito superior.

2.4. Intensidad de tráfico

Se han obtenido datos de intensidad de tráfico de los aforos de la red autonómica de carreteras (Xunta de Galicia, 2006b; 2007). Estos se han asociado a cada punto de accidente para incluir dicha variable en el análisis estadístico de los accidentes.

2.4. Análisis estadístico

Se ha analizado la distribución de frecuencias de los accidentes en lo que se refiere a la fecha hora y especies implicadas en los accidentes, con la finalidad de caracterizar desde un punto de vista temporal la ocurrencia de accidentes para cada especie. Asimismo, las relaciones entre los accidentes y variables asociadas a características de las carreteras (tipo e intensidad de tráfico), especies (corzo y jabalí), y/o la variación temporal (estacion, día de la semana y hora) mediante un Análisis de Correspondencias Múltiples (MCA). El MCA representa la variabilidad de los datos a través de mapas bidimensionales basados en dos

ejes, siendo mayor la relación entre las variables cuando las categorías se encuentran cercanas en el mapa (Le Roux y Rouanet, 2004). Es una técnica adecuada cuando las variables del estudio son categóricas (Moreno-Pérez, 2009). Las seis variables incluidas en el MCA y su categorización fueron: 1) Tipos de carreteras, clasificadas en cuatro tipos (Vías de Alta Capacidad, VAC; Red Primaria Básica, PB; Red Primaria Complementaria, PC; Red Secundaria, S); 2) Intensidad del tráfico: menos de 1500 vehículos/día (v/d); 1500-3000 v/d; 3000 5000 v/d; 5000-10000 v/d; 10000-15000 v/d.; 3) Especies: corzo y jabalí, incluyéndose también tres casos puntuales de ciervo (*Cervus elaphus*); 4) Estaciones del año; 5) Días de la semana, considerando los siete días como categorías separadas; 6) Horas del día, clasificadas en cuatro grupos con el fin de reflejar etapas de actividad tanto en animales como en el tráfico: 6:00 a 9:00; 9:00 a 18:00; 18:00 a 22:00; 22:00 a 1:00; y 1:00 a 6:00.

2.5. Identificación del agrupamiento espacial de los accidentes

Las zonas de agrupamiento de puntos de accidente fueron identificados para cada especie combinando un análisis de distancia al vecino más próximo (NND) con un mapa de densidad de puntos. Aunque habitualmente NND se calcula en espacios bidimensionales mediante distancias euclidianas, se ha utilizado una aproximación más exacta para el análisis en redes lineales, proporcionada por el NND adaptado a redes calculado mediante la extensión SANET v.3.4.1 (Okabe et al., 2009), desarrollada para el software ArcGIS 9.2®. El cálculo ha ido acompañado de un test de comparación de aleatoriedad espacial total (CSR). Los test CSR permiten la diferenciación entre distribuciones espaciales de puntos uniformes, aleatorias y agregadas, considerando como hipótesis nula que el patrón observado es una realización de un proceso aleatorio (Fortin and Dale, 2005; De la Cruz, 2008). Si se rechaza la hipótesis nula, la naturaleza del patrón será indicada por la desviación positiva (agrupación) o negativa (uniformidad) de la función. Para llevar a cabo el CSR, se realizaron 1000 simulaciones Monte Carlo con el fin de derivar un intervalo de confianza inferior y superior del 5% para el NND de los puntos distribuidos aleatoriamente. Cuando se representa el número acumulado de puntos para el NND esperado y observado, si la curva observada adopta valores mayores del 5% de la curva esperada, significa que los puntos están significativamente agregados (Okabe et al., 2009). Esta relación entre las curvas esperadas y observadas de NND también sirven de ayuda para la identificación la máxima distancia a la que se puede encontrar un agrupamiento de puntos que pueda considerarse estadísticamente significativo. Esta distancia máxima ha sido utilizada como referencia para el cálculo de un mapa raster de densidad de puntos utilizando el SIG. El procedimiento consiste en una ventana circular o "kernel" que se desplaza secuencialmente por toda el área considerada, contando el número total de puntos y representándolos en un mapa raster. El valor máximo de NND para cada especie fue utilizado como diámetro de la ventana, con el fin de asegurar que los puntos incluidos en el cálculo de densidad pudiesen presentar un agrupamiento significativo. Enfoques metodológicos similares fueron usados con resultados satisfactorios por Ramp et al. (2005) para el cálculo de puntos conflictivos de accidentes con fauna silvestre.

2.6. Revisión de los métodos de mitigación

En ausencia de estudios serios sobre medidas de mitigación en la zona de estudio, se ha realizado una revisión bibliográfica sobre el tema (Romin y Bissonette, 1996; Putman, 1997; Forman et al., 2003; Knapp, 2004; Rosell et al., 2007) a través de la cual se analizan los métodos más adecuados para los casos de accidentes identificados. Los métodos de mitigación finalmente considerados han sido vallado perimetral, pasos de fauna, señalización reforzada, reflectores, barreras olfativas, dispositivos sonoros, desbroce de márgenes, detectores de movimiento y sistemas de reducción de la velocidad. Para cada

una de las medidas empleadas se realiza una estimación de los siguientes parámetros técnicos y económicos:

P_{CR} : Porcentaje de reducción de colisiones, establecido en función de investigaciones previas analizadas en bibliografía.

C_A : Coste anual de la medida por Km de capital amortizado, estimada a través de la expresión:

$$C_A = \frac{C_I}{L_S} + C_M$$

En donde L_S es la vida útil de la medida en años, C_I es el coste de instalación de la medida, y C_M es el coste de mantenimiento de la medida, estimado entre un 3-5 % dependiendo de sus características. Los costes fueron estimados después de realizar una búsqueda en casas comerciales y empresas de construcción.

T_{EE} : Eficiencia técnica-económica, o coste anual de la medida por Km para cada unidad porcentual de reducción de accidentes (€/%), estimada empleando la siguiente expresión:

$$T_{EE} = \frac{C_A}{P_{CR}}$$

3. Resultados y discusión

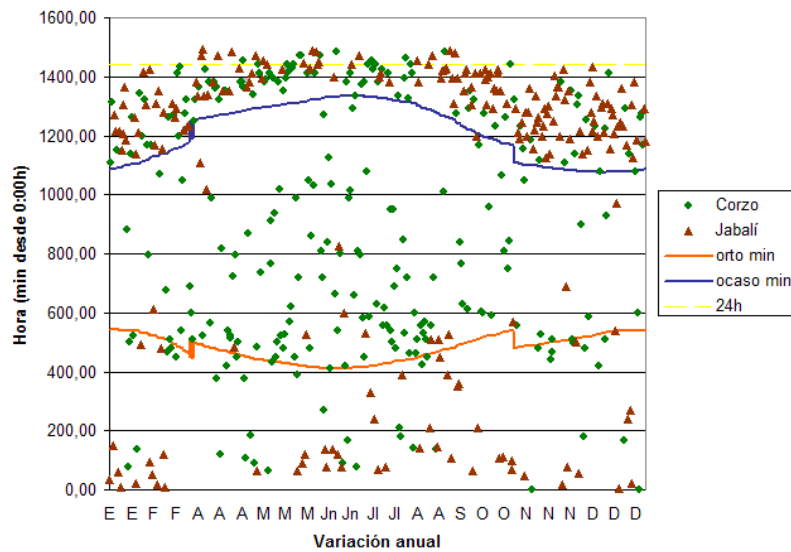
3.1. Incidencia según la especie

El corzo (*Capreolus capreolus*) y el Jabalí (*Sus scrofa*) han sido las especies más frecuentes en las colisiones con animales silvestres, respectivamente con un 39.50 % y un 34.65 % de los accidentes. Otras especies afectadas han sido animales domésticos (19.72 %) y otros animales silvestres (4.25 %), tales como zorro, tejón o lobo, así como animales no identificados (1.89 %). Debido tanto a su incidencia como a la potencial peligrosidad de sus colisiones, el estudio se ha centrado en el corzo y el jabalí.

3.2. Distribución anual y horaria de los accidentes

La distribución diaria y estacional de los accidentes permite la identificación de características diferenciadas para cada una de las especies que centran el estudio. En general, se detecta una concentración de accidentes dentro de las horas inmediatamente siguientes al ocaso, y un menor número de accidentes en los meses estivales (ver Fig. 2). Pero específicamente, los accidentes con corzo presentan una mayor incidencia en horas diurnas, coincidiendo con la época estival, probablemente debido a una actividad más continuada a lo largo del día en comparación con el jabalí (Mateos-Quesada, 2005), cuya actividad se concentra en horas nocturnas.

Figura 2: Distribución temporal de las colisiones



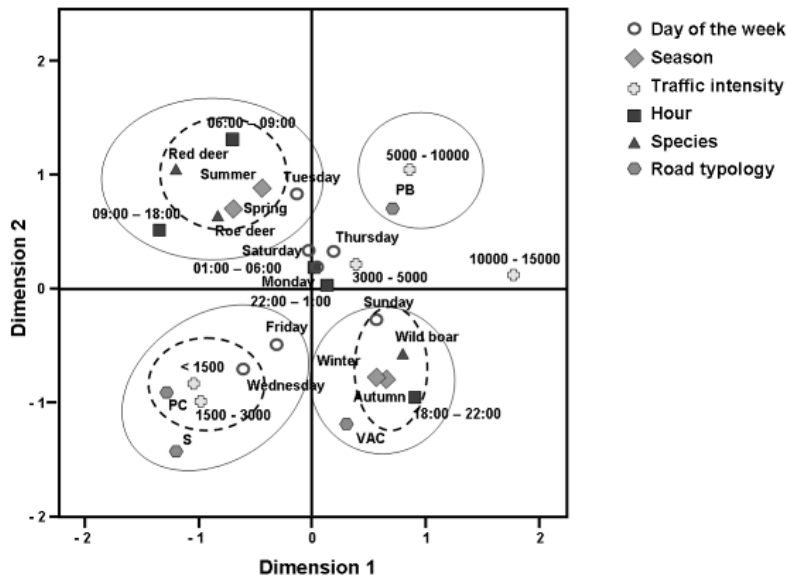
Distribución diaria y anual de los accidentes. El eje de abscisas muestra los meses del año, y el de ordenadas la diferencia en minutos estableciendo las 00:00 horas como referencia. La distribución anual de las horas de orto y ocaso se muestran para su comparación.

La concentración de accidentes con jabalí en la temporada otoñal se corresponde con los resultados de otros estudios (Peris et al., 2005), y puede asociarse a perturbaciones originadas por la actividad cinegética, y a la posible reorganización de las piaras tras el periodo reproductivo, ambos factores que causan un incremento en los movimientos de la especie (Peris et al, 2005; Santos et al., 2004).

3.3. Relación entre variables de accidente

El análisis MCA ha permitido identificar relaciones entre diferentes factores. La Figura 3 muestra un gráfico bidimensional en el que la dimensión factorial 1 (eje x) explica el 31.9 % de la varianza, y la dimensión factorial 2 (eje y), el 28.6 %. La contribución de cada una de las variables usadas en el análisis es proporcional a la distancia al origen. El análisis muestra que los accidentes con jabalí pueden relacionarse con domingos en otoño e invierno, hacia la puesta de sol (entre las 18 y las 22:00). Esta correspondencia puede interpretarse en relación a la perturbación causada por la caza, tal como se ha comentado arriba. Una correspondencia más débil puede encontrarse entre los accidentes con jabalí y las vías de alta capacidad (VAC), probablemente debido a una importante concentración de accidentes producidos en una de estas carreteras. Por el contrario, accidentes con corzo se corresponden con primavera y verano, a lo largo de la mañana (tal como se ha expuesto previamente) y en martes, siendo esta última correspondencia difícil de interpretar. Puede encontrarse una correspondencia general sin distinción entre especies en miércoles y viernes, y en vías de la red primaria complementaria (PC) y de la red secundaria (SR). Finalmente, se ha encontrado una correspondencia más débil entre las horas más tempranas de jueves y sábados en carreteras de media intensidad (1500-3000 vehículos por día), y pertenecientes a la red primaria básica (PB), y carreteras de alta intensidad (5000-10000 vehículos por día), relacionando así la tipología de la carretera con la intensidad.

Figura 3: Análisis de Correspondencias Múltiples

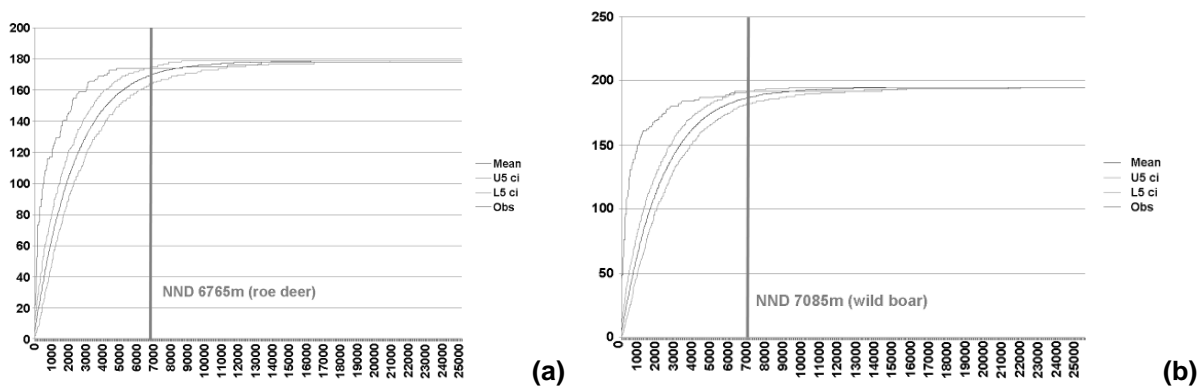


Los resultados para el Análisis de Correspondencias Múltiples (MCA) se muestran en un gráfico bidimensional que representa las dimensiones factoriales. Las relaciones más fuertes o más genéricas entre variables se señalan respectivamente con círculos continuos y discontinuos. Ver texto para detalles

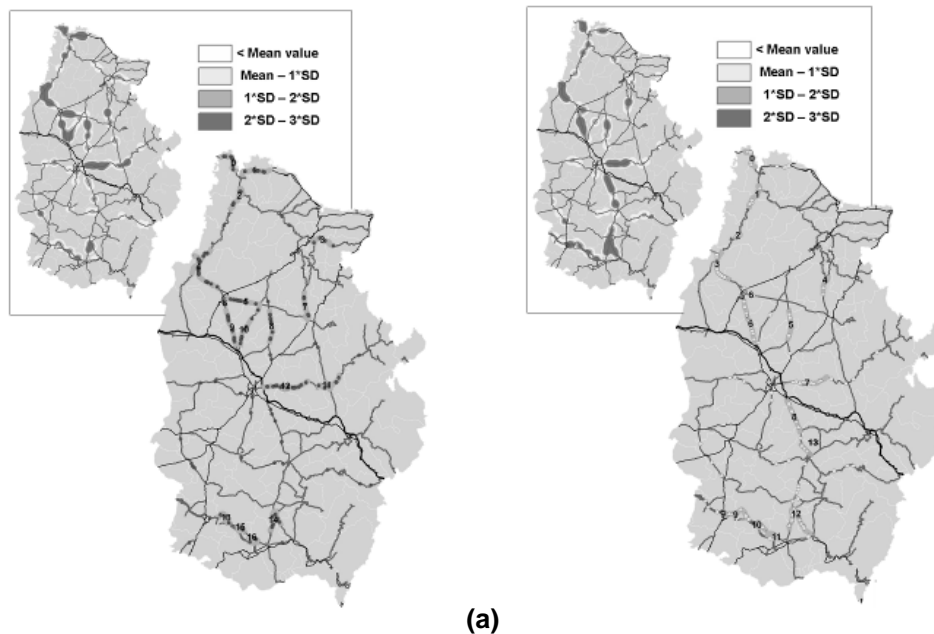
3.2. Distribución espacial de los accidentes

El análisis CSR realizado para el cálculo de NND ha permitido detectar agrupamientos significativos en el patrón de puntos analizado para una distancia máxima de 6765 m para el caso del corzo (ver Figura 4-a) y para 7085 m para el caso de jabalí (ver Figura 4-b). Después de usar tales distancias como un parámetro para el cálculo, se han obtenido mapas de densidad de puntos (Ver Figura 5-a, b), mostrando la distribución espacial de agrupamientos de puntos no aleatorios, y permitiendo así identificar Tramos de Riesgo de Accidentes con Fauna (TRAF) para corzo (TRAFc) y jabalí (TRAFj).

Figura 4: Análisis CSR para NND



Valores acumulados puntos (eje y) en función de la distancia al vecino más próximo (NND) esperados (Mean) y observados (Obs) (eje x). Izquierda (a), corzo; derecha (b), jabalí. Se representan asimismo las curvas con valores superiores (U5) e inferiores (L5) de 5% de intervalo de confianza. Las líneas verticales indican la máxima distancia para considerar agrupamientos no aleatorios de puntos. Ver texto para detalles.

Figura 5: Tramos de Riesgo de Accidentes con Fauna (TRAF)

Tramos de Riesgo de Accidentes con Fauna (TRAF) para corzo (a) y jabalí (b), obtenidos a partir de los mapas de densidad de puntos (marco superior derecho en cada imagen). Los mapas de densidad de puntos muestran la distribución espacial de agrupamientos no aleatorios de puntos y son clasificados de acuerdo a la distancia a la media en unidades de desviación típica. Ver texto para detalles.

Se identificaron un total de 17 TRAF_c y 14 TRAF_j, abarcando respectivamente un 81% y un 79.5% de los accidentes con fauna en aproximadamente un 10% de la longitud de la red estudiada en ambos casos. Esto se considera un importante resultado, que puede permitir mejoras en la asignación de recursos, al concentrarse los esfuerzos de mitigación para la mayor parte de los accidentes en una parte mínima de la red viaria (los TRAF) (ver Tablas 1 y 2).

3.3. Selección de medidas de mitigación

La revisión bibliográfica muestra la eficiencia más elevada para el vallado perimetral, con un máximo de reducción de colisiones del 91%, seguido por los reflectores y detectores de movimiento, ambos con el 80%, barreras olfativas con el 76%, y pasos de fauna con el 63%, siendo los valores para el resto de las medidas considerablemente más bajas. Los valores de CA identifican las mismas medidas como las más costosas, alcanzando las barreras olfativas el máximo valor. En consecuencia, los valores de TEE, que expresan el coste de la medida por cada unidad porcentual de reducción de accidentes, muestran que las medidas más eficientes son también las que tienen un mayor coste, incluso si algunas de ellas alcanzan mayor eficiencia (p.ej. detectores de movimiento y reflectores) que otras (ver Figura 6).

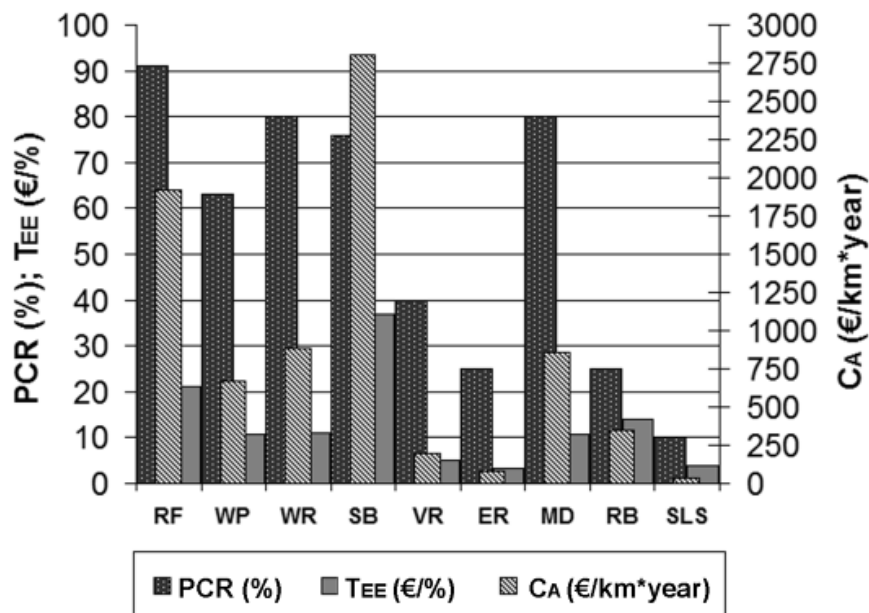
Tabla 1. Tramos de Riesgo de Accidentes con Fauna – Corzo (TRAFc) identificados

TRAFc	VIA	Comunica	Punto Km		Longitud (km)	Tot	Accidentes				
			Inic	fin			Densidad (acc/km)	2006	2007	Via	IMDm
0	LU-862	Ferrol-San Cibrao	72,3	80,6	8,3	9	1,08	3	6	PB	4817,3
1	LU-862	Ferrol-San Cibrao	89,6	96,8	7,2	14	1,94	7	7	PB	7120,5
2	LU-540	Viveiro-Cabreiros	5	12	7	5	0,71	1	4	PB	2583
		Lurenzá			11,9	4	0,34	2	2	PC	892,5
3	LU-122	Meira-Lourenzá	31,4	33,6	2,2	1	0,45	1	0	PC	2182
	LU-132	Lurenzá-Vilafernando	0	9,7	9,7	3	0,31	2	1	PC	457
		Total Cabreiros			18,2	24	1,32	6	18	PB	4779
4	LU-540	Viveiro-Cabreiros	37,6	42,2	4,6	7	1,52	0	7	PB	2658
	LU-861	Villalba-As Pontes	4,3	17,9	13,6	17	1,25	6	17	PB	5652
		Total Cospeito			10,8	12	1,11	6	6	PC	3736
5	LU-111	Rábade-Cospeito	12,1	14	1,9	1	0,53	0	1	PC	2288
	LU-120	Vilalba-Meira	1	9,9	8,9	11	1,24	6	5	PC	3868
6	LU-541	Rábade-Vilalba	16,7	17	0,3	1	3,33	0	1	PB	8110
7	LU-122	Meira-Lourenzá	1,4	8,3	6,9	7	1,01	4	3	PC	2181
8	LU-113	Rozas-Abadin	7,6	16,5	8,9	9	1,01	4	5	PC	2611,4
9	LU-541	Rábade-Vilalba	3,3	12,8	9,5	10	1,05	7	3	PB	8113
10	LU-111	Rábade-Cospeito	1,5	16,4	14,9	8	0,54	4	4	PC	2166
11	LU-530	Lugo-Fonsagrada	25,5	35,5	10	7	0,70	6	1	PB	1210
12	LU-530	Lugo-Fonsagrada	4,8	19,5	14,7	20	1,36	14	6	PB	5669
13	LU-533	Escairon-Chantada	6,7	12	5,3	3	0,57	1	2	VAC	3262
		Total Pobra de Brollón			7,9	7	0,89	3	4	PC/PB	3034,3
14	LU-546	Nadela- Monforte	46,6	50,4	3,8	4	1,05	1	3	PB	4467
	LU-652	Pobra de Brollón-bóveda	0	4,1	4,1	3	0,73	2	1	PC	1164
15	LU-617	Chantada-Monforte	10,6	11,5	0,9	2	2,22	0	2	S	677
		Total Monforte			0,8	3	3,75	2	1	SVAC	1605
16	CG-2.1	Monforte-Escairon	7	7,2	0,2	1	5,00	1	0	VAC	3481
	LU-617	Monforte-Chantada	3,4	4	0,6	2	3,33	1	1	S	667,5

Tabla 2. Tramos de Riesgo de Accidentes con Fauna – Jabalí (TRAFj) identificados

TRAFj	VIA	Comunica	Punto Km		Longitud (km)	Tot	Accidentes				
			Inic	fin			Densidad (acc/km)	2006	2007	Via	IMDm
0	LU-862	Ferrol-San Cibrao	74,7	80,3	5,6	9	1,61	3	6	PB	4914
1	LU-540	Viveiro-Cabreiros	5,9	13,6	7,7	6	0,78	0	6	PB	2658
2	LU-540	Viveiro-Cabreiros	29,3	30,5	1,2	2	1,67	1	1	PB	2400
3	LU-861	Villalba-As Pontes	8,3	18	9,7	17	1,75	8	9	PB	5697
4	LU-122	Meira-Lourenzá	7,7	12,5	4,8	6	1,25	3	3	PC	2181
5	LU-113	Rozas-Abadin	7,1	14,9	7,8	7	0,90	3	4	PC	2613
		TOTAL Villalba			14,6	22	1,51	8	14	PB/PC	7530
6	LU-120	Vilalba-Meira	1,4	2,3	0,9	3	3,33	2	1	PC	3875
	LU-541	Rábade-Vilalba	2,5	16,2	13,7	19	1,39	6	13	PB	8112
7	LU-530	Lugo-Fonsagrada	7,2	17,7	10,5	17	1,62	7	10	PB	6785
8	LU-546	Nadela- Monforte	2,5	11,5	9	12	1,33	6	6	PB	10521
		TOTAL Chantada			9,1	9	0,99	6	3	PB/S	3001
9	LU-533	Chantada- Escairon	2	10,9	8,9	8	0,90	5	3	PB	3294
	LU-617	Monforte-Chantada	15,7	15,9	0,2	1	5,00	1	0	S	658
		TOTAL Monforte-Chantada			2,4	5	2,08	2	2	VAC/S	1584
10	CG-2.1	Monforte-Escairon	11,1	12,9	1,8	3	1,67	1	1	VAC	2500
	LU-617	Monforte-Chantada	10	10,6	0,6	2	3,33	1	1	S	668
		TOTAL Monforte-Chantada			1,7	4	2,35	3	1	VAC/S	2780
11	CG-2.1	Monforte-Escairon	5,4	6,6	1,2	3	2,50	3	0	VAC	3481
	LU-617	Monforte-Chantada	3,5	4	0,5	1	2,00	0	1	S	677
		TOTAL Bóveda			23,2	34	1,47	18	16	PC/PB	3706
12	LU-546	Nadela- Monforte	36	51,7	15,7	22	1,40	13	9	PB	4760
	LU-652	Bóveda-Pobra de Brollón	0,7	8,2	7,5	12	1,60	5	7	PC	1151
13	LU-546	Nadela- Monforte	18,7	19,9	1,2	5	4,17	3	2	PB	8310

Figura 6: Parámetros técnico-económicos de las medidas de mitigación



Valores comparativos para el porcentaje de reducción de colisiones (PCR), el coste anual de la medida por Km de capital amortizado (CA) y la eficiencia técnico-económica (TEE). Las medidas analizadas incluyen vallado perimetral (RF), pasos de fauna (WP), señalización reforzada (ER), reflectores (WR), barreras olfativas (SB), desbroce perimetral (VR), detectores de movimiento (MD), señalización de velocidad (SLS), and bandas rugosas (RB), perteneciendo estos últimos al grupo de medidas de reducción de la velocidad.

4. Conclusiones

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se puede concluir que la ubicación de medidas correctoras y de mitigación de colisiones entre fauna silvestre y automóviles precisa de la identificación previa de los “puntos negros” o zonas en las que se concentran los accidentes para una determinada red viaria. En este trabajo, tal localización ha permitido reducir el ámbito del problema a una serie de Tramos de Riesgo de Accidentes con Fauna (TRAF) en los que se produce un alto porcentaje de los accidentes de la red considerada, aún resultando ser una mínima parte de su longitud. Esto permite la adopción de las medidas de mitigación con una mayor eficiencia, reduciendo en gran medida los costes de implantación.

Por otra parte, es necesario realizar un estudio de las tipologías de accidente que se producen en una red determinada. Nuestro estudio ha permitido identificar una elevada estacionalidad, así como dependencia con el momento del día en el que se producen los accidentes. Esto permite mejorar la selección e implantación de las medidas de mitigación, ya que determinadas medidas de alta eficiencia técnico-económica como los reflectores no cubrirían todos los supuestos de colisión, como por ejemplo los de corzo en la estación estival. Asimismo, se pueden adoptar medidas estacionales, como en el caso del jabalí en temporada otoñal-invernal, y especialmente en horas crepusculares.

5. Referencias bibliográficas

- De la Cruz Rot, M., (2008). Métodos para analizar datos puntuales. En F.T. Maestre, A. Escudero, A., & A. Bonet (Eds.), *Introducción al Análisis Espacial de Datos en Ecología y Ciencias Ambientales. Métodos y Aplicaciones* (Pags. 76-129). Madrid: Universidad Rey Juan Carlos, Servicio de Publicaciones.
- Dirección General de Tráfico (2004). *Accidentes producidos por presencia de animales en la calzada*. Madrid: Dirección General de Tráfico. Observatorio Nacional de Seguridad Vial.
- Dirección General de Tráfico (2008). *Estadísticas de accidentes con animales en la provincia de Lugo*. Lugo: Jefatura Provincial de la Dirección General de Tráfico (No publicado).
- Forman, R., Sperling, D., Bissonette, J., Clevenger, A., Cutshaff, C., Dale, V., Fahrig, L., France, R., Goldman, C., Heanue, K., Jones, J., Swanson, F., Turrentine, T., & Wintes, T. (2003). *Road Ecology, Science and Solutions*. Washington: Island Press.
- Fortin, M.J., & Dale, M. (2005). *Spatial Analysis. A Guide for Ecologists*. Cambridge: Cambridge University Press,.
- Jaeger, J.A.G., & Fahrig, L. (2004). Effects of road fencing on population persistence. *Conservation Biology*, 18, 1651-1657.
- Knapp, K.K. (2004). *Deer-vehicle crash contermesure toolbox: a decision and choice resource. SPR Project Number 0092-01-11. Report Number DVCIC-02*. Wisconsin: Wisconsin Department of Transportation. Obtenido el 23 de octubre de 2009 de <http://www.deercrash.com/Toolbox/finalreport.pdf>
- Le Roux, B., & Rouanet (2004). *Geometric Data Analysis. From Correspondence Analysis to Structured Data Analysis*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Malo, J.E., Suárez, F., & Díez, A. (2004). Can we mitigate animal-vehicle accidents using predictive models? *Journal of Applied Ecology*, 41, 701-710.
- Mateos-Quesada, P. (2005). Corzo – *Capreolus capreolus*. En L.M. Carrascal, A. Salvador, A. (Eds.), *Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles*. Madrid: Museo Nacional de Ciencias Naturales.
- Moreno Perez, O. (2009). *Estrategias y dinámicas de las explotaciones agrarias de base familiar: el caso de una agricultura intensiva*. Tesis doctoral no publicada. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- Okabe, A., Okunuki, K., & Shiode, S. (2009). *SANET: A toolbox for spatial analysis on a network. Version 3.4.1. – 052009. User's Manual*. Obtenido el 3 de noviembre de 2009 de <http://sanet.csis.u-tokyo.ac.jp/index.html>.
- Peris, S., Baquedano, R., Sánchez, A., & Pescador, M. (2005). Mortalidad del jabalí (*Sus scrofa*) en carreteras de la provincia de Salamanca (NO de España): ¿Influencia de su comportamiento social? *Galemys*, 17, 13-23.
- Pulido, C. (1999). Accidentes producidos por la presencia de animales de gran tamaño en las carreteras. En: Asociación Técnica de Carreteras (Ed.), *Fauna y Carreteras* (Pags. 81-90). Madrid: Asociación Técnica de Carreteras.
- Putman, R.J. (1997). Deer and road traffic accidents: Options for management. *Journal of Environmental Management*, 51, 43-57.

- Ramp, D., Caldwell, J., Edwards, K.A., Warton, D., & Croft, D.B. (2005). Modelling of wildlife fatality hotspots along the Snowy Mountain Highway in New South Wales, Australia. *Biological Conservation*, 126, 474-490.
- Romin, L.A., & Bissonette, J.A. (1996). Deer-vehicle collisions: status of state monitoring activities and mitigation efforts. *Wildlife Society Bulletin*, 24, 276-283.
- Rosell, C., Navàs, F., Carol, Q., Fernández-Bou, M., & Fontanillas, M. (2007). *Anàlisi de les col·lisions amb ungulats a les carreteres de Catalunya*. Barcelona: Demarcació de Girona. Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient i Habitatge. Minuartia.
- Ruza, F. (1999). Accidentes con víctimas causadas por la fauna en la red de carreteras del Estado. En: Asociación Técnica de Carreteras (Ed.), *Fauna y Carreteras* (Pags. 140 - 149). Madrid: Asociación Técnica de Carreteras.
- Santos, P., Mexia-de-Almeida, L., & Petrucci-Fonseca, F. (2004). Habitat selection by wild boar *Sus scrofa* L. in Alentejo, Portugal. *Galemys*, 16, 167-184.
- Seiler, A. (2003). Effects of Infrastructure on Nature. En M. Trocme, S. Cahill, J.G. De Vries, H. Farrall, L. Folkson, G. Fry, C. Hicks, J. Peymen (Eds.), *Habitat fragmentation due to transportation infrastructure: the European review* (Pags. 31–50). Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Sistema de Información Territorial de Galicia (2003). *Cartografía de Galicia*. Santiago de Compostela: Xunta de Galicia. Consellería de Política Agroalimentaria e Desenvolvemento Rural. Sociedade para o Desenvolvemento Comarcal de Galicia.
- Xunta de Galicia (2007). *Memoria de Tráfico de las Carreteras de la Comunidad Autónoma de Galicia – 2007*. Santiago de Compostela: Xunta de Galicia. Consellería de Política Territorial, Obras Públicas e Transportes. Obtenido el 2 de marzo de 2010 de http://www.cptopt.xunta.es/portal/webdav/site/cptopv/shared/es/pdfs/dxop/Memoria07_080428.pdf.
- Xunta de Galicia, 2006(a). *Catálogo visual de estradas*. Santiago de Compostela: Consellería de Política Territorial, Obras Públicas e Transportes. Obtenido el 2 de marzo de 2010 de http://www.cptopt.xunta.es/portal/jsp/jahia/templates/cptopv/cptopv_templates/include/inxunta/externas/frames.jsp.
- Xunta de Galicia, 2006(b). *Memoria de Tráfico de las Carreteras de la Comunidad Autónoma de Galicia – 2006*. Santiago de Compostela: Xunta de Galicia. Consellería de Política Territorial, Obras Públicas e Transportes. Obtenido el 2 de marzo de 2010 de <http://www.cptopt.xunta.es/portal/webdav/site/cptopv/shared/es/imgs/dxop/Memoria06.pdf>.

Correspondencia (Para más información contacte con):

Emilio R. Díaz Varela.
Phone: (+34) 982 285 900 ext. 23629
Fax: (+34) 982 285 926
E-mail : emilio.diaz@usc.es