

**CONAMA 2020**

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

# Estudio comparativo del impacto de las carreteras sobre las comunidades de insectos en tramos urbanos y rurales





# CONAMA 2020

ESTUDIO COMPARATIVO DEL IMPACTO DE LAS CARRETERAS SOBRE LAS COMUNIDADES  
DE INSECTOS EN TRAMOS URBANOS Y RURALES

**Autor Principal:** Óscar García Tuesta

**Otros autores:** Manuel García Sánchez-Colomer (CEDEX)

**Palabras clave:** carreteras, Diptera, Hymenoptera, impactos ambientales, insecto, polinizador, volumen de tráfico.

### Resumen

Actualmente se está produciendo una pérdida de biodiversidad en la mayoría de grupos taxonómicos y en particular en los insectos, siendo la actividad humana una de las causas principales. En este Trabajo de Fin de Máster nos centramos en el impacto de las grandes carreteras sobre las poblaciones de insectos, especialmente sobre los polinizadores. Para evaluar este impacto hemos llevado a cabo muestreos con un innovador sistema de captura de insectos consistente en un cubo de metacrilato instalado sobre un vehículo. Este sistema nos permite emular el impacto de un vehículo transitando por una carretera. Se ha observado que a medida que aumenta el volumen de tráfico disminuye el número de insectos en la carretera, por tanto las carreteras tienen un impacto negativo sobre las poblaciones de insectos. En los tramos urbanos de las autovías, donde el volumen de tráfico es significativamente mayor al de los tramos de áreas rurales, el número de atropellos de insectos por vehículo es muy inferior. Si centramos el análisis de los atropellos en Diptera e Hymenoptera observamos un umbral de intensidad de tráfico en 5.000 vehículos/h. Por debajo de este umbral se atropellan más Hymenoptera y por encima se atropellan más Diptera, lo que atribuimos a su diferente comportamiento frente a la carretera.

### INTRODUCCIÓN

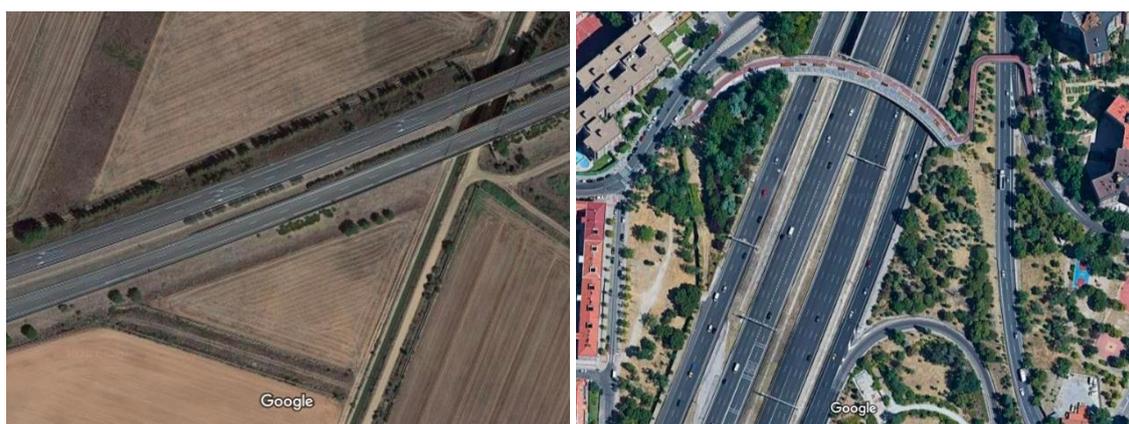
Es evidente que a lo largo de las últimas décadas se está produciendo una pérdida de biodiversidad en todo el mundo ligada a la actividad humana <sup>[1] [2] [3]</sup>. Los insectos no son una excepción <sup>[4] [5]</sup>. Uno de los factores principales que causan este daño es la desaparición de sus hábitats <sup>[6]</sup>, que se están perdiendo debido a causas como los cambios de usos del territorio y la agricultura intensiva <sup>[7]</sup>.

Los insectos son esenciales porque desarrollan numerosos servicios ecosistémicos vitales destacando el reciclado de nutrientes, la polinización, la dispersión de semillas o la lucha contra las plagas. Para el ser humano el servicio más importante que pueden prestar los insectos es la polinización, de la que depende aproximadamente el 35 % de la producción agrícola mundial <sup>[8]</sup>.

Entre las actuaciones humanas que contribuyen al declive de los insectos cabe destacar las infraestructuras terrestres, como las carreteras y la modificación del paisaje asociado a ellas <sup>[9]</sup>. Los efectos más inmediatos que tienen las carreteras sobre los insectos son el atropello y el efecto de borde, y ambos dan lugar a la fragmentación de sus hábitats <sup>[10]</sup>. A éstos se suman otros menos palpables como el declive en el flujo genético interpoblacional, tanto para los insectos como para las plantas con polinización entomófila <sup>[11] [12]</sup>.

Estos impactos y las medidas mitigadoras están muy estudiados en los vertebrados <sup>[13] [14] [15] [16]</sup>, especialmente en mamíferos y aves <sup>[17]</sup>, y también en anfibios y reptiles <sup>[18] [19]</sup>. Con este trabajo procuramos contribuir al conocimiento de dichos impactos sobre los insectos.

Se debe tener en cuenta que existen grandes diferencias según los tipos de carreteras, sus diseños, las dimensiones, el volumen de tráfico, etc. y los efectos que pueden tener sobre los insectos. De cara al análisis de estos impactos, también son importantes las condiciones del entorno. En el caso de este estudio nos centramos en dos tipos de tramos según el entorno de la carretera: tramos en áreas rurales y tramos en áreas urbanas (Figs. 1 y 2).



**Figuras 1 y 2.** A la izquierda, imagen de la A231 a su paso por el municipio de Palanquinos (León), es un ejemplo de tramo de autovía atravesando un área rural. A la derecha, imagen del eje este de la M30 (Madrid), autovía característica de zonas urbanas. Ambos tramos han sido muestreados. (Google Maps).

## ESTUDIO COMPARATIVO DEL IMPACTO DE LAS CARRETERAS SOBRE LAS COMUNIDADES DE INSECTOS EN TRAMOS URBANOS Y RURALES

Todos los problemas citados anteriormente se aplican a los tramos de carreteras que atraviesan entornos de tipo rural, ya que se está introduciendo una estructura artificial que fragmenta un paisaje agrario, normalmente favorable para la presencia de insectos. Sin embargo, una gran ciudad representa un ambiente generalmente hostil para la mayoría de los polinizadores. Pero la vegetación de los bordes de las grandes carreteras urbanas puede contribuir a ampliar el espacio y los recursos que precisan las comunidades de insectos para desarrollarse [20]. En las figuras 3 y 4 se muestran zonas urbanas que representan espacios y fuentes de recursos que favorecen el desarrollo de los insectos.



**Figuras 3 y 4.** A la izquierda, isleta entre dos calzadas en la salida de Madrid por la A5 y, a la derecha, terciaria en la entrada por la A3; ambas ocupadas por plantas ruderales en plena floración.

Las carreteras en áreas urbanas y suburbanas también pueden aportar otras ventajas para las comunidades de insectos, como por ejemplo actuar a modo de corredor y conseguir así una ruta de comunicación entre poblaciones y con los recursos [21]. Los estudios de este tipo acerca de insectos se han realizado principalmente en abejas, debido a su gran eficacia en la polinización, y concluyen que un correcto manejo de la vegetación de los bordes de las carreteras (siegas periódicas) y una adecuada selección de las especies empleadas en la revegetación, aumentan de manera significativa tanto la abundancia como la riqueza de las especies de polinizadores [22].

Al hablar de los insectos hay que tener en cuenta que son el grupo taxonómico más diverso del planeta, con aproximadamente un millón de especies [23], por lo que el conjunto de todos ellos es extremadamente heterogéneo. Dentro de Hymenoptera encontramos especies polinizadoras estrictas como las abejas y los abejorros y otras como las avispas que pueden polinizar eventualmente cuando se alimentan de polen. Asimismo, Diptera no son generalmente polinizadores, pero hay importantes familias de polinizadores como Syrphidae.

Merece destacarse el papel tan importante en la polinización de Syrphidae. Los sírfidos comparten una morfología y colores muy similares a los de las abejas y avispas, y es común observar su vuelo cernido cuando se invade su territorio. De hecho, hay multitud de especies de sírfidos que incluso poseen tarsos engrosados y un cuerpo muy veloso, lo cual les permite transportar cantidades importantes de polen, pudiendo llegar a ser tan eficaces como las abejas [24].

En este estudio nos centramos principalmente en los órdenes Hymenoptera y Diptera, ya que son los dos órdenes más importantes de polinizadores [25], y tienen una gran presencia en los atropellos de las carreteras [20] [26] [27] [28] [6]. Además, tienen estrategias vitales muy diferentes

## ESTUDIO COMPARATIVO DEL IMPACTO DE LAS CARRETERAS SOBRE LAS COMUNIDADES DE INSECTOS EN TRAMOS URBANOS Y RURALES

entre sí, lo nos permite observar distintos modos en los que una carretera puede afectar a la comunidad de insectos de una zona.

Los himenópteros son más eficaces polinizando debido a que dependen de las recompensas florales, mientras que los dípteros presentan numerosas estrategias. Además, los himenópteros también consumen más energía en esta función que los dípteros ya que, mientras recolectan alimento para las crías, actúan polinizando.

La variable que es común en todos los trabajos que investigan los impactos de las carreteras sobre los insectos voladores es el volumen de tráfico, que puede tener un doble efecto sobre los insectos, uno activo y otro pasivo. El impacto activo se debe al atropello de los insectos. Si aumenta el número de vehículos que pasan por una autovía es probable que aumente progresivamente el número de atropellos, al menos hasta el límite que permita el tamaño de población. El impacto pasivo se debe al efecto de borde, también conocido como efecto barrera <sup>[9]</sup>. Una mayor cantidad de tráfico podría generar un rechazo a cruzar la carretera por muchos insectos <sup>[28]</sup>.

Uno de los indicadores más comunes del impacto de las carreteras sobre estas comunidades es el número de insectos que se atropellan. Pero encontramos algunas dificultades a la hora de calcular estas cantidades de insectos atropellados. El motivo es que usualmente se calcula con el número de insectos recogidos en los transectos en los bordes de las carreteras por unidad de longitud y de tiempo, y posteriormente multiplicado por el número de kilómetros de carreteras que tenemos en diferentes escalas geográficas, obteniendo así cuántos insectos atropellamos regional o nacionalmente <sup>[29]</sup> <sup>[25]</sup>. Pero en este ejercicio se olvidan algunos elementos que pueden alterar profundamente estas estimaciones y que valoramos en la discusión.

Respecto a la técnica de muestreo, en la discusión se justifican extensamente los problemas observados en las técnicas de recolección de los insectos que se describen en la bibliografía para estudiar el impacto de las carreteras y cómo nos movieron a diseñar un nuevo sistema de recogida de los insectos. Shweta y Rajmohana <sup>[30]</sup> demuestran que con unos métodos de muestreo se capturan más eficientemente determinados géneros frente a otros. Por tanto, un aspecto importante de nuestro estudio ha sido el diseño y ensayo de una innovadora técnica que permite recoger los insectos de forma activa desde la propia carretera.

Todos los trabajos que incluye este estudio están enmarcados en una línea de proyectos del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) en la que se analiza el impacto de las carreteras sobre los insectos voladores, prestando especial atención a las repercusiones sobre los polinizadores. Esta línea se inició en junio de 2018 y se compone de dos proyectos:

- Impacto de las carreteras sobre las comunidades de polinizadores en áreas rurales.
- Utilización de las carreteras por los insectos en áreas urbanas y suburbanas.

Debe tenerse en cuenta que los trabajos de los que se han obtenido los datos de este estudio tienen un carácter preliminar, de puesta a punto de una técnica nueva de muestreo. Por tanto, su objetivo principal era validar el colector de insectos como herramienta de muestreo adecuada para analizar el impacto de las carreteras sobre los insectos en general y más específicamente sobre los polinizadores, conocer el comportamiento del colector en autovías y en viales de uso agrícola en áreas rurales y también en áreas urbanas y suburbanas, y posibles vías de análisis de

## ESTUDIO COMPARATIVO DEL IMPACTO DE LAS CARRETERAS SOBRE LAS COMUNIDADES DE INSECTOS EN TRAMOS URBANOS Y RURALES

los resultados. De este modo, ni el número de campañas de muestreo ni el número de repeticiones dentro de cada campaña fueron objeto de una planificación estadística. Por otra parte, el prolongado tiempo de confinamiento motivado por la pandemia debida al COVID-19 ha limitado la realización de nuevos muestreos. No obstante, los resultados que se presentan permiten obtener una visión aceptable del problema y nos facultan para plantear algunas hipótesis que hasta ahora, con las metodologías de muestreo existentes, no eran planteables.

Las hipótesis que se plantean en este estudio son:

- El volumen de tráfico influye negativamente reduciendo la abundancia de insectos en las carreteras.
- Se espera un predominio de Diptera en los tramos urbanos.
- Los insectos del orden Hymenoptera se van a ver afectados más intensamente que los del orden Diptera por el efecto de borde.

## METODOLOGÍA

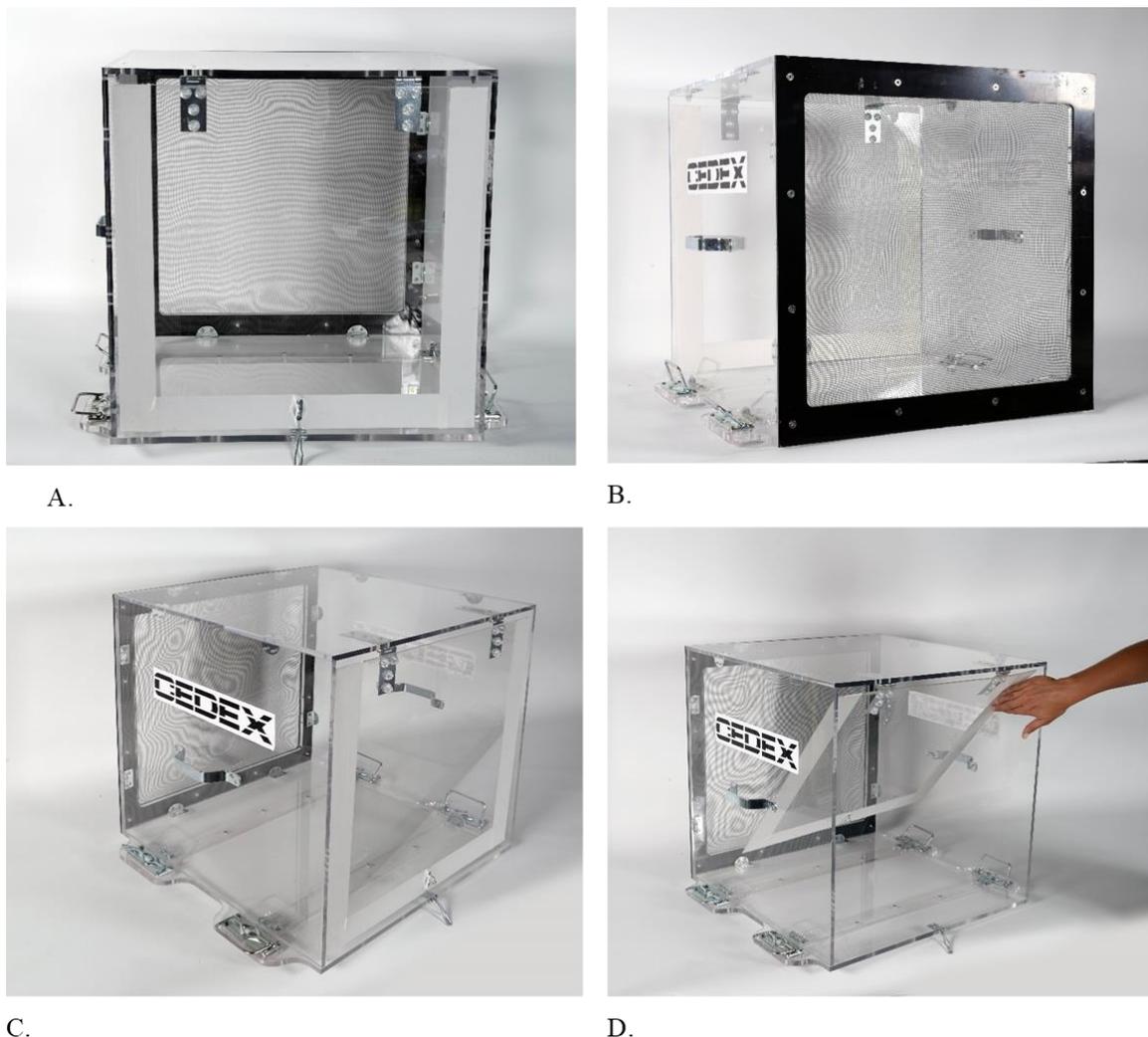
La principal innovación de este estudio, que marca diferencias con respecto a los realizados por otros grupos de investigación, es el método de muestreo, que se basa en un colector de insectos que se instala sobre el portaequipajes de un vehículo.

### Descripción del cubo colector de insectos.

Este dispositivo (Fig. 5) consiste en un cubo de metacrilato de 50 cm de lado interno cuyas caras poseen un grosor de 8 mm, excepto la base, de 10 mm. La base incluye unos pasadores que permiten sujetar el cubo al portaequipajes del vehículo mediante correas. Las caras delantera y trasera son huecas. En la cara delantera se instala una puerta abatible de 3 mm de espesor que cuelga de dos bisagras y que se levanta y se mantiene abierta con un ángulo de 90° con el movimiento del vehículo al superar los 30 km/h. Se cierra cuando el vehículo se detiene o pierde velocidad por debajo de esta velocidad. En la cara trasera se instala una malla plástica de 2 mm de poro.

En los ensayos se estableció que la velocidad óptima del vehículo para muestrear era de 70 km/h, a fin de mantener la integridad de los insectos capturados.

## ESTUDIO COMPARATIVO DEL IMPACTO DE LAS CARRETERAS SOBRE LAS COMUNIDADES DE INSECTOS EN TRAMOS URBANOS Y RURALES

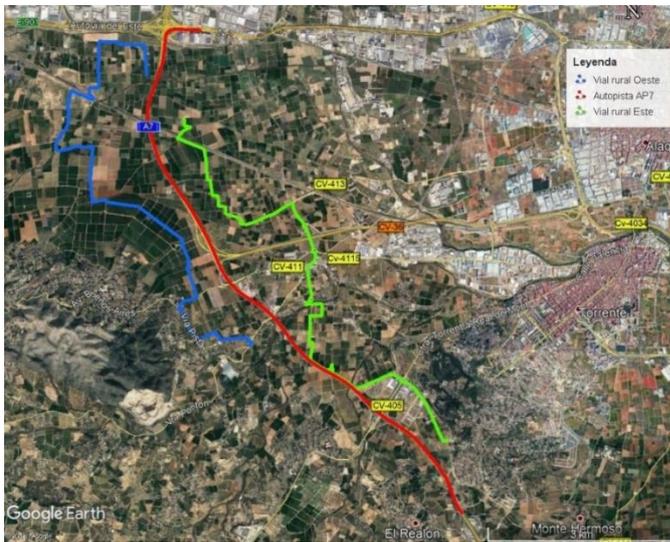


**Figura 5.** Fotografías del cubo colector de insectos. A: Cara delantera. B: Cara trasera con la malla plástica. C: Visión general en la que se aprecian los pasadores y las asas. D: Demostración de la puerta abatible.

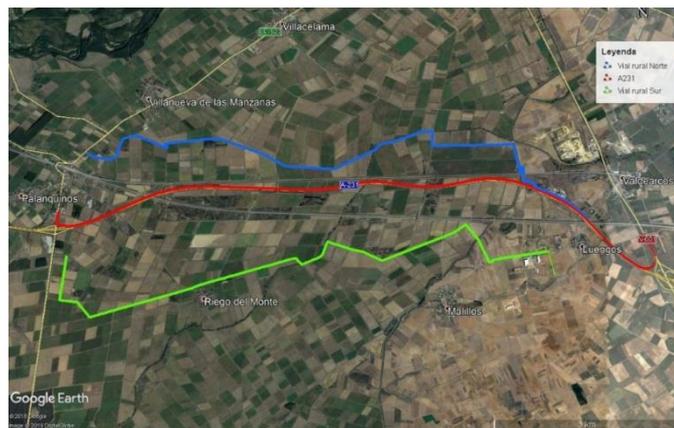
### Descripción de los muestreos de campo

En las zonas rurales los muestreos se realizaron los días 19, 20 y 21 de junio de 2019. Se muestrearon tramos de 10 km en tres autovías con tres repeticiones en cada una. Los tramos se localizaron en Valencia (Fig. 6) la A7 desde la intersección con la A3 hasta Torrente, en León (Fig. 7) la A231 entre Santas Martas y Palanquinos, y en Toledo (Fig. 8) la A40 entre Tarancón y Santa Cruz de la Zarza. En las áreas rurales también se muestrearon dos viales rurales más o menos paralelos a cada lado de la autovía a una distancia media de 300 m, realizando igualmente tres repeticiones. Estas muestras de los viales rurales constituyen la muestra control, representativa de la comunidad de insectos que no está afectada por la carretera.

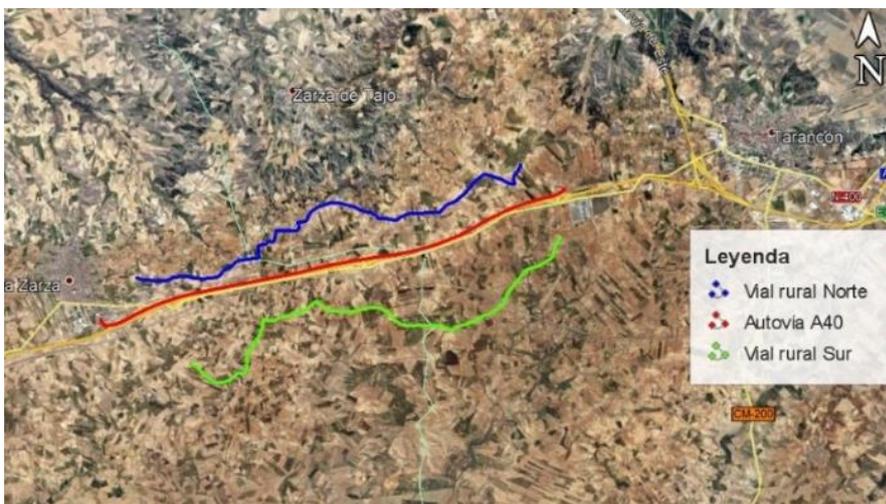
## ESTUDIO COMPARATIVO DEL IMPACTO DE LAS CARRETERAS SOBRE LAS COMUNIDADES DE INSECTOS EN TRAMOS URBANOS Y RURALES



**Figura 6.** Unidad de muestreo en Valencia (A7), Google Maps.



**Figura 7.** Unidad de muestreo en León (A231), Google Maps.



**Figura 8.** Unidad de muestreo en Toledo (A40), Google Maps.

## ESTUDIO COMPARATIVO DEL IMPACTO DE LAS CARRETERAS SOBRE LAS COMUNIDADES DE INSECTOS EN TRAMOS URBANOS Y RURALES

Los muestreos de cada tramo de autovía y los dos tramos de viales rurales paralelos se realizaron simultáneamente, de modo que en cada localidad se utilizaron tres vehículos, cada uno portando un colector de insectos (Fig. 9).



**Figura 9.** Instalación de los colectores antes del inicio de los muestreos.

Las autovías urbanas se muestrearon de manera distinta debido a la escasa cantidad de insectos que se recogieron durante los ensayos en este tipo de tramos. Durante los días 4 y 5 de julio de 2019 se muestrearon cuatro autovías dentro de Madrid: la M40, la M30, la salida de la A3 (Carretera de Valencia) y la salida de la A5 (Carretera de Extremadura). En la Figura 10 se representan los tramos muestreados. La M40 se recorrió completamente a lo largo de sus 63 km, mientras que para el resto de autovías se recorrieron tramos de 10 km, repitiéndose seis veces para cada autovía sin parar para coger la muestra hasta el final de los 60 km. Con esto se consiguió una muestra única para cada carretera de aproximadamente 60 kilómetros (Cuadro 1). No se pudo tomar una muestra control ya que no hay vías urbanas paralelas de la misma longitud que los tramos muestreados.

## ESTUDIO COMPARATIVO DEL IMPACTO DE LAS CARRETERAS SOBRE LAS COMUNIDADES DE INSECTOS EN TRAMOS URBANOS Y RURALES

Todos los muestreos entamos rurales y urbanos se realizaron entre las 11:00 y las 14:00.



Figura 10. Tramos urbanos y suburbanos de autovías muestreados en Madrid, Google Maps.

Cuadro 1. Lista de los tramos muestreados y sus características.

Localidad	Carretera	Número repeticiones	Km/muestra	Número muestras	Km muestreados
Valencia	A7	3	10	3	30
	2 viales rurales	3	10	6	60
Toledo	A40	3	10	3	30
	2 viales rurales	3	10	6	60
León	A231	3	10	3	30
	2 viales rurales	3	10	6	60
<i>Subtotal tramos rurales</i>				27	270
Madrid	A5	1	60	1	60
	M40	1	63	1	63
	A3	1	60	1	60
	M30	1	60	1	60
<i>Subtotal tramos urbanas</i>				4	243
<b>TOTALES</b>				<b>31</b>	<b>513</b>

Al finalizar cada muestreo se conservaban los insectos capturados dirigiendo etanol puro nebulizado a la malla de plástico. Los insectos recogidos se retiraban del cubo colector frotándolos con un cepillo suave y se depositaban en un bote tipo duquesa de 500 cm<sup>3</sup> con etanol al 70 % para su fijación y posterior identificación en laboratorio. Las muestras procedentes de tramos rurales ya habían sido identificadas previamente, mientras que las muestras urbanas fueron identificadas en este trabajo. La identificación taxonómica se realizó a

## ESTUDIO COMPARATIVO DEL IMPACTO DE LAS CARRETERAS SOBRE LAS COMUNIDADES DE INSECTOS EN TRAMOS URBANOS Y RURALES

nivel de orden, ya que dentro de este nivel taxonómico ya se identifican patrones ecológicos comparables y se reduce extraordinariamente la posibilidad de errar en la identificación. En Diptera se separaron los ejemplares de Syrphidae.

La muestra de insectos que obtenemos con el colector es representativa tanto de las comunidades de insectos de los tramos muestreados como de los insectos que atropella un vehículo que transita por dichos tramos.

### Tratamiento de los datos

Con objeto de analizar el número de ejemplares recogidos en las zonas rurales, se utilizó la mediana del número de ejemplares capturados en las tres repeticiones de cada tramo de autovía rural y también la mediana de las tres repeticiones en cada uno de los viales rurales. La mediana, como valor central de la muestra, evita el peso excesivo de los valores extremos a los que, sin embargo, la media es muy sensible. Para las autovías urbanas se tomaron los datos brutos (sólo había un dato por tramo de autovía urbana). Para comparar las muestras tomadas sobre tramos de longitudes diferentes (tramos de 10 km en áreas rurales frente a tramos de 60 km por muestreo en áreas urbanas), los datos se refirieron a insectos/km.

Se comprobó la normalidad de los datos en cada variable mediante un test de normalidad de Shapiro-Wilk. En el caso de que los datos de ambas poblaciones siguieran una distribución normal, se realizó una t de Student, mientras que en el caso contrario el test realizado fue el de Mann-Whitney. Para todos los test la hipótesis era de una cola, ya que en el caso de existir diferencias sabíamos cuál era el signo de la relación. Se correlacionaron todas las variables y para comprobar la relación con el volumen de tráfico se realizaron gráficos de dispersión. En éstos se consideraba como variable independiente el volumen de tráfico y como variable dependiente las variables biológicas. En todos los casos se buscó el mejor ajuste posible de una línea de tendencia (lineal, polinómica, exponencial o logarítmica).

Para evaluar el impacto que está ejerciendo la carretera se ha analizado la relación del número de insectos/km con el volumen de tráfico. Posteriormente se ha analizado el número de Hymenoptera/km y de Diptera/km con objeto de comparar el efecto de la carretera sobre cada orden. Comparamos Diptera e Hymenoptera porque son dos órdenes caracterizados por ocupar el territorio de formas muy diferentes que, como consecuencia, les llevan a usar las carreteras de modos igualmente diferentes. Hymenoptera se caracteriza por ser insectos territoriales, de modo que optimizan desde un punto de vista energético la explotación de los recursos y el movimiento entre el nido y las fuentes de recursos (alimentación, agua, material para construir el nido, etc.). Diptera, sin embargo, es oportunista, ocupando el territorio de un modo aleatorio y se concentra en puntos ricos en recursos (humedad, materia orgánica en descomposición, etc.)<sup>[31]</sup>. Esta distribución diferencial a su vez da lugar a que los impactos de las carreteras sobre cada grupo de insectos sean también distintos. Aunque Diptera e Hymenoptera constituyen dos grupos numerosos en cualquier comunidad de insectos, Hemiptera en términos numéricos es también importante, incluso ocasionalmente presenta una abundancia mayor que la suma de Diptera e Hymenoptera. Sin embargo, Hemiptera no incluye especies o familias específicamente polinizadoras y están más ligadas en general a plagas agrícolas (por ejemplo chinches o pulgones) y tienen unas características de vuelo más limitadas. Las características del vuelo (altura sobre el asfalto, velocidad, distancia de vuelo) son importantes para analizar el impacto de las carreteras sobre los polinizadores<sup>[29] [11] [34] [9] [35] [36]</sup>.

## ESTUDIO COMPARATIVO DEL IMPACTO DE LAS CARRETERAS SOBRE LAS COMUNIDADES DE INSECTOS EN TRAMOS URBANOS Y RURALES

También analizamos el porcentaje de Hymenoptera y Diptera respecto al conjunto de la comunidad de insectos que están usando la carretera. El porcentaje representa el peso del orden dentro de la comunidad de insectos, independientemente de que la población de insectos sea más o menos numerosa en el momento del muestreo.

Los datos de volumen de tráfico se han obtenido a partir de los datos de la Intensidad Media Diaria (IMD) de vehículos utilizando cada uno de los tramos de las carreteras estudiadas. La IMD es la media del número de vehículos que pasan al día por la estación de aforo de vehículos más cercana al tramo estudiado de cada carretera. Debido a que durante las horas nocturnas el tránsito es mucho menor, no se tienen en cuenta. Por lo tanto, para obtener el número de vehículos que circulan por la autovía por hora dividimos el valor de la IMD entre las 16 horas de mayor actividad que hay al día (obtenemos los resultados en vehículos/h) (J.M. Leal, comunicación personal). Los datos de IMD de las autovías rurales se han obtenido de la página web del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda urbana <sup>[37]</sup>, mientras que los de las autovías urbanas proceden del Ayuntamiento de Madrid <sup>[38]</sup>.

## RESULTADOS

### Descripción general de la comunidad de insectos en las autovías (tramos rurales y urbanos) y en los viales rurales

En las áreas rurales se capturaron un total de 1.432 insectos, de los cuales 350 pertenecían a los tramos de autovías y 1.082 a los viales rurales. En el cuadro 2 se recogen los resultados generales de los muestreos.

**Cuadro 2.** Resultados de los muestreos realizados en las autovías y los viales rurales.

Localidad	Carretera	Número de insectos	Total de insectos
Valencia	A7	100	191
	2 viales rurales	91	
Toledo	A40	31	143
	2 viales rurales	112	
León	A231	219	1.098
	2 viales rurales	879	
<i>Subtotal tramos rurales</i>			1.432
Madrid	A5	13	13
	M40	6	6
	A3	8	8
	M30	3	3
<i>Subtotal tramos urbanas</i>			30
<b>TOTALES</b>			<b>1.462</b>

## ESTUDIO COMPARATIVO DEL IMPACTO DE LAS CARRETERAS SOBRE LAS COMUNIDADES DE INSECTOS EN TRAMOS URBANOS Y RURALES

En el cuadro 3 se encuentran los resultados de los muestreos desglosados por órdenes. En algunos casos separamos ciertas familias de su orden, como *Formicidae* (familia dentro de Hymenoptera, eminentemente terrestres aunque con una fase alada). En esta familia se engloban las hormigas, unos himenópteros muy numerosos pero que no polinizan de manera activa, por lo que se separan para analizar los polinizadores y los no polinizadores dentro del orden Hymenoptera. Ocurre algo similar pero a la inversa con la familia *Syrphidae* (orden Diptera). En este caso el orden no suele polinizar de manera activa pero los sírfidos constituyen uno de los grupos de polinizadores más importantes. Los órdenes más numerosos en los sitios muestreados son Hemiptera, Diptera, Hymenoptera y, en menor medida, Coleoptera. De éstos destacan Hymenoptera y Diptera por su papel en la polinización y Hemiptera por su gran abundancia. Hay lugares que tienen datos destacables, como por ejemplo la enorme cantidad de hemípteros capturados en Valencia respecto al resto de órdenes. También cabe destacarse que en el tramo de Toledo sea el único lugar en el que se capturaron lepidópteros. Anteriormente se mencionó que en las autovías urbanas la abundancia de insectos capturados era mucho menor que en las rurales, y en este cuadro se observa que también la riqueza es menor, puesto que únicamente aparecen representantes de los cuatro órdenes más numerosos (Hemiptera, Diptera, Hymenoptera, y Coleoptera).

**Cuadro 3.** Número de ejemplares de los muestreos desglosados por órdenes

Orden/Familias	Valencia		Toledo		León		Madrid				P*
	A7	Viales	A40	Viales	A231	Viales	A5	M40	A3	M30	
<i>Hymenoptera</i> **	2	18	18	60	12	50	2	1	1	0	Sí
<i>Formicidae</i> ***	0	5	0	1	9	46	1	1	0	0	No
<i>Hemiptera</i>	90	52	5	15	153	561	4	1	4	1	No
<i>Diptera</i> * <sup>v</sup>	7	11	3	20	37	176	4	1	0	2	No
<i>Syrphidae</i> <sup>v</sup>	0	2	0	0	0	5	1	1	0	0	Sí
<i>Coleoptera</i>	1	1	5	9	4	22	1	1	3	0	No
<i>Thysanoptera</i>	0	0	0	2	3	4	0	0	0	0	Sí
<i>Lepidoptera</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	Sí
<i>Isoptera</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	No
<i>Ephemeroptera</i>	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	No
<i>Psocoptera</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	No
<i>Araneae</i>	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	No
<i>Acari</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	No
<b>Totales</b>	<b>100</b>	<b>91</b>	<b>31</b>	<b>112</b>	<b>219</b>	<b>879</b>	<b>13</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	

\* Polinizadores (al menos principalmente)

\*\* Se incluye el número de ejemplares capturados de Hymenoptera restando *Formicidae*

\*\*\* *Formicidae* es una familia del orden Hymenoptera

\*V Se incluye el número de ejemplares capturados de Diptera restando *Syrphidae*

V *Syrphidae* es una familia del orden Diptera

## Diferencias generales entre los tramos urbanos y los tramos rurales de las autovías

Al comparar los tramos urbanos y los rurales hemos obtenido diferencias significativas en el volumen de tráfico, en la abundancia de insectos en la autovía y en la abundancia de Diptera. En el cuadro 4 se detallan los valores de significación de estas relaciones.

**Cuadro 4.** Valores de los test estadísticos de comparación de las variables en tramos urbanos (n = 4) y en tramos rurales (n = 3) de las autovías.

Variable	Test estadístico	Valor p
Vehículos/h	t Student	0,0103*
Número de insectos/km	Mann-Whitney	0,0285*
% Hymenoptera	t Student	0,4437
Número de Hymenoptera/km	Mann-Whitney	0,2377
% Diptera	t Student	0,1027
Número de Diptera/km	Mann-Whitney	0,0248*

\*  $p < 0,05$

## Relación de las variables biológicas con el volumen de tráfico

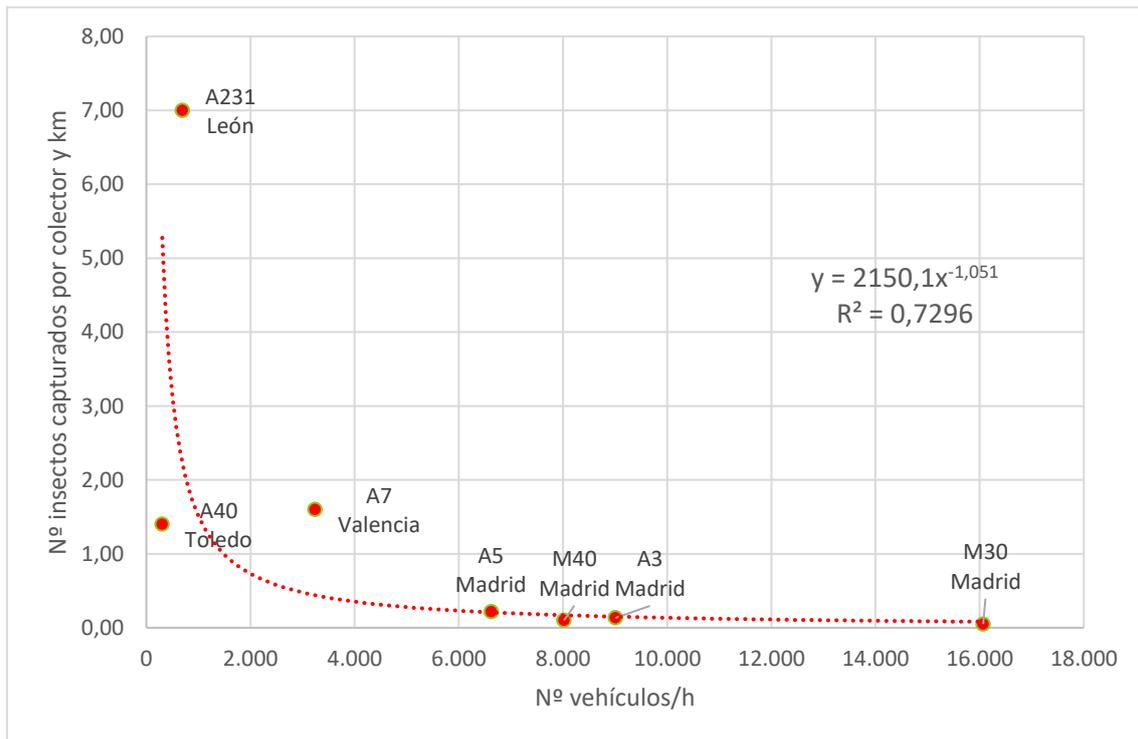
Al realizar el análisis de correlaciones (Cuadro 5) del conjunto de variables con el volumen de tráfico se observa que se correlaciona negativamente con todas las variables excepto con el porcentaje de Diptera. De estas correlaciones, son significativas las del volumen de tráfico con el número de Hymenoptera/km y con el porcentaje de Diptera. Por tanto, el número de Hymenoptera/km disminuye al aumentar el tráfico. El número de insectos recogidos por km se relaciona negativamente con el volumen de tráfico, aunque no de manera significativa.

**Cuadro 5.** Resumen del análisis de correlaciones de las variables estudiadas.

Variable	Volumen de tráfico (vehículos/h)
Nº insectos/km	-0,6163
% Hymenoptera	-0,4028
Número de Hymenoptera/km	-0,7241*
% Diptera	0,7409*
Número de Diptera/km	-0,6205

\*  $p < 0,05$

Si realizamos una gráfica de dispersión entre el número de capturas por colector y km y el volumen de tráfico (Fig. 11), la curva obtenida indica que en volúmenes de tráfico bajos (< 700 vehículos/h) operan factores distintos del propio tráfico, principalmente el tamaño de la población. Esto sucede en Toledo y León, con 305 y 693 vehículos/h, respectivamente. En los demás casos, por encima de alrededor de 3.000 vehículos/h, el número de insectos capturados se reduce de modo muy consistente al aumentar el volumen de tráfico.

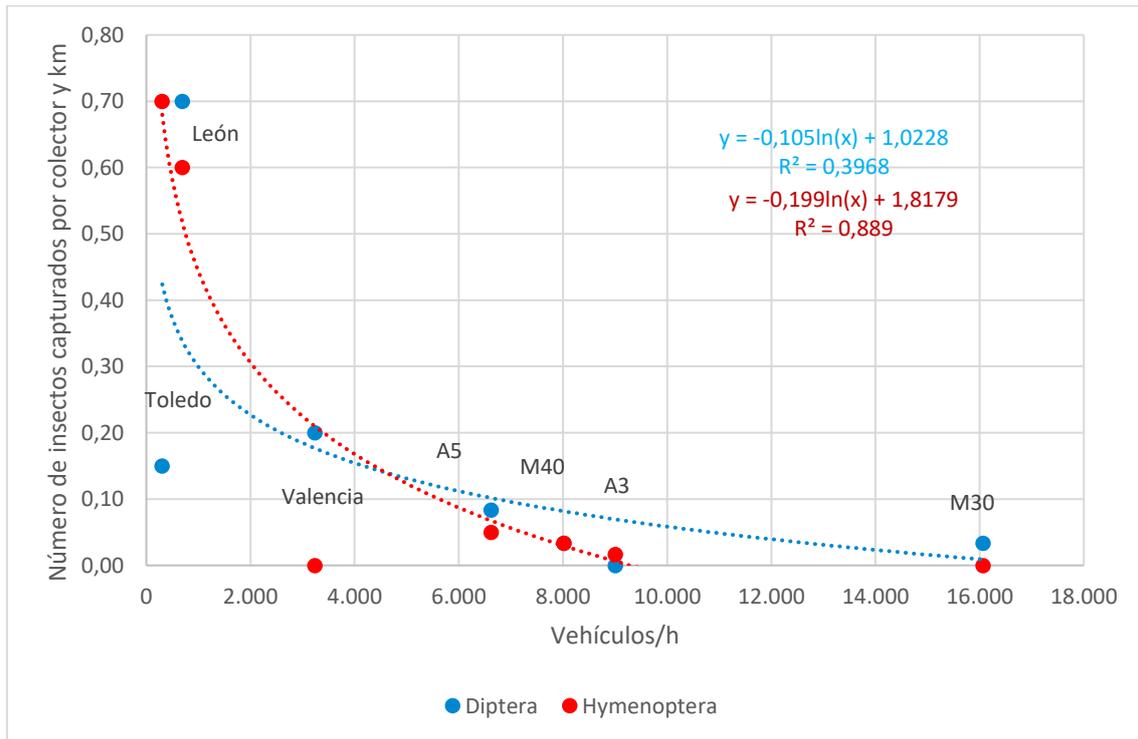


**Figura 11.** Gráfica de dispersión en la que se representa la abundancia de insectos en la autovía frente al volumen de tráfico. Se representa una línea de tendencia ajustada a un modelo exponencial.

### Relación de las capturas (número y porcentaje) de Diptera e Hymenoptera con el volumen de tráfico.

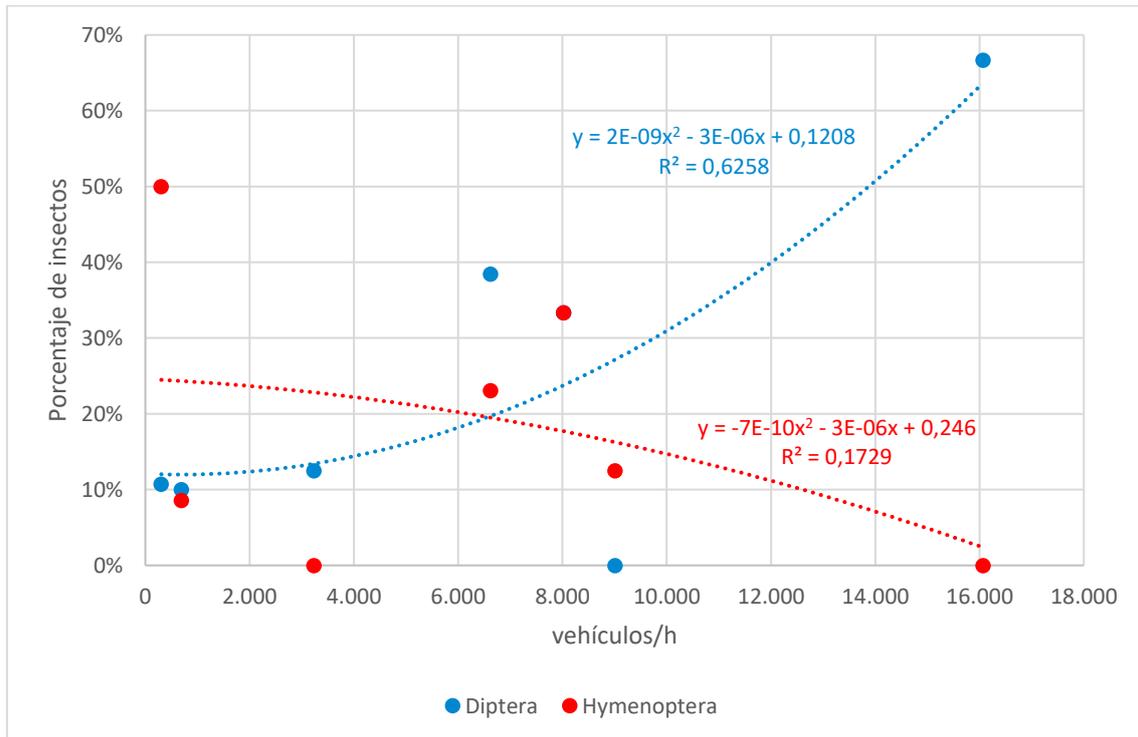
Si comparamos el número de Diptera/km e Hymenoptera/km (Fig. 12) vemos que responden de un modo similar al volumen de tráfico, si bien Hymenoptera parece más sensible a volúmenes de tráfico más altos (además, se correlacionan significativamente). En valores bajos de volumen de tráfico el número de Diptera capturados depende de otros factores, por ejemplo el tamaño de población, de modo que en la A40 en Toledo el número de atropellos es inferior al de la A231 en León aunque el volumen de tráfico sea un 50 % inferior en la de Toledo.

## ESTUDIO COMPARATIVO DEL IMPACTO DE LAS CARRETERAS SOBRE LAS COMUNIDADES DE INSECTOS EN TRAMOS URBANOS Y RURALES



**Figura 12.** Gráfica de dispersión en la que aparecen representados la abundancia de Diptera y de Hymenoptera en la autovía frente al volumen de tráfico. Se representan también las líneas de tendencia con mejor ajuste, ambas logarítmicas.

En cuanto al porcentaje que representa cada orden dentro de su comunidad, se comprueba que la tendencia de Hymenoptera es opuesta a la de Diptera, ya que en los primeros se tienden a reducir las capturas al aumentar el tráfico y, al contrario, en Diptera aumentan, es decir, cuanto más tráfico más Diptera tienden a capturarse. Por otra parte, en volúmenes de tráfico bajos, el porcentaje de Hymenoptera capturados es superior al de Diptera (Fig. 13), sin embargo en volúmenes de tráfico elevados se reduce progresivamente el porcentaje de Hymenoptera y aumenta el número de capturas de Diptera.



**Figura 13.** Gráfica de dispersión en la que aparecen representados el porcentaje de Hymenoptera y el de Diptera dentro de la autovía frente al volumen de tráfico. Se representan también las líneas de tendencia con mejor ajuste, ambas polinómicas.

## DISCUSIÓN

La valoración del impacto de las carreteras sobre la comunidad de insectos es un ejercicio complejo (un reto según Mckenna *et al.* [29]) por todas las razones expuestas a lo largo de este trabajo.

### El método de muestreo

Los métodos convencionales para estudiar el impacto de las carreteras sobre los insectos voladores diurnos habitualmente se implementan fuera de la propia carretera. Consisten básicamente en la instalación de trampas fijas cerca de los bordes de la carretera o la realización de transectos de diferentes longitudes y con distintos diseños en las cunetas y en el borde de las carreteras.

Estos métodos convencionales presentan algunos inconvenientes. En las trampas fijas son principalmente:

- No se puede discriminar qué insectos de los que se capturan atraviesan o no la carretera, por tanto, no permiten diferenciar, si lo hubiera, un posible efecto borde de la propia carretera, que es la causa de que muchos insectos lleguen al borde de la misma

## ESTUDIO COMPARATIVO DEL IMPACTO DE LAS CARRETERAS SOBRE LAS COMUNIDADES DE INSECTOS EN TRAMOS URBANOS Y RURALES

pero no la atraviesan o lo hacen en diferentes proporciones según las características de la carretera, el tráfico u otras variables.

- Los líquidos fijadores o los colores utilizados en las trampas fijas pueden atraer o repeler diferencialmente a las especies de insectos, obteniendo muestras sesgadas.
- Integran una gran cantidad de información durante el tiempo en que se encuentran instaladas. Debe tenerse en cuenta que la comunidad de insectos está evolucionando a gran velocidad con el simple cambio horario (especies diurnas y especies nocturnas, por ejemplo), el estado meteorológico, fenómenos estocásticos (fumigaciones, quemas, incendios, etc.), etc. Por tanto, se superponen numerosas variables con una intensidad superior al del impacto que intentamos evaluar de la carretera.
- Necesitan un mantenimiento para reponer los líquidos fijadores o el agua.

Los inconvenientes más importantes de los transectos en los bordes de carreteras son:

- Dificultad para comparar los resultados de diferentes trabajos ya que se siguen metodologías heterogéneas (longitud de los tramos, tipos de tramos, marcaje/eliminación de individuos contabilizados, repeticiones, diseño de los muestreos, periodos de muestreo, etc.) que permitan comparar los resultados entre diferentes trabajos.
- Los resultados se sesgan hacia las especies más grandes y más resistentes al impacto del atropello, que acaban llegando al borde de la carretera en mayor proporción que las más pequeñas o blandas. Las más pequeñas quedan adheridas a los vehículos y las más blandas son desechas por el aplastamiento de las ruedas de los vehículos. Además, las especies pequeñas y oscuras se detectan peor <sup>[39] [40]</sup>.
- Elevada tasa de desaparición de los insectos atropellados, tanto por depredación de otros insectos, aves, micromamíferos, etc. como por arrastre por viento, lluvia, turbulencia de vehículos que circulan a gran velocidad, etc. <sup>[41] [29] [39] [25]</sup>.
- Esta técnica suele centrarse en algún grupo de insectos, siendo abundantes los trabajos enfocados en el impacto sobre lepidópteros, coleópteros, odonatos e himenópteros, sin embargo omiten insectos blandos, pequeños o simplemente menos atractivos, como dípteros, hemípteros, etc. El diferente comportamiento de estos grupos de insectos hace que cualquier generalización a la comunidad de insectos a partir de un determinado orden sea arriesgada.

Un error común que se ha observado en ambos tipos de muestreo es que tanto las trampas fijas como los transectos tienden a localizarse en puntos o tramos con una alta tasa de atropello. Como consecuencia se obtienen estimaciones sobre el número de atropellos de dudosa representatividad. Sin embargo, en la bibliografía se describen tramos de concentración de cruce en determinados grupos de insectos que utilizan el territorio de un modo selectivo, por ejemplo por la presencia de ciertos tipos de vegetación, determinados hábitats, relieve, etc.

Hay precedentes recientes similares a nuestra metodología de muestreo, lo que hace pensar que las investigaciones precisan de metodologías de muestreo directas de la comunidad de insectos de la carretera. Tinsley-Marshall *et al.* <sup>[42]</sup> utilizan el parabrisas de un vehículo de referencia para contar los impactos de los insectos después de recorrer una determinada distancia. Sin embargo con esta metodología no es posible hacer investigaciones cualitativas sobre biodiversidad, atropello de especies catalogadas, etc. Martin *et al.* <sup>[28]</sup> instalan dos

## ESTUDIO COMPARATIVO DEL IMPACTO DE LAS CARRETERAS SOBRE LAS COMUNIDADES DE INSECTOS EN TRAMOS URBANOS Y RURALES

planchas pegajosas en el frontal de un vehículo y cuentan los insectos que quedan pegados, pudiendo identificar los órdenes de los insectos capturados, incluso clasifican los insectos capturados por tamaños, para saber si esta característica se relaciona con el atropello.

Nuestra metodología ofrece una serie de ventajas, principalmente:

- La muestra recogida es representativa de la comunidad presente durante el muestreo del tramo de la carretera. Lo más destacable es que es un muestreo directo y desde dentro de la carretera de los insectos voladores que en el momento del muestreo están utilizándola
- Permite discriminar qué insectos de los que se capturan atraviesan o no la carretera, por tanto, hacen posible diferenciar el posible efecto borde de la carretera. Con este fin pueden recogerse muestras dentro de la carretera y en el exterior, donde no se perciba efecto de la carretera, y por tanto que represente una muestra control con la que comparar la muestra recogida en la carretera.
- La muestra se recoge activamente, sin líquidos fijadores ni mediante colores, por lo que no se produce una selección de los insectos.
- Hay un control sobre el número de capturas de insectos, definiendo el tiempo o la longitud del muestreo más adecuados.
- En poco tiempo se recorre una distancia representativa de la carretera a escala de paisaje, de modo que hay un mayor control sobre las variables que afectan a las comunidades de insectos. Los muestreos pueden configurarse en función del estado meteorológico y evitando la intervención de fenómenos aleatorios.
- El colector de insectos apenas precisa de mantenimiento, más que la reparación de daños eventuales.
- Los resultados se pueden expresar en unidades intuitivas como el número de insectos atropellados/km, lo que facilita la comparación entre estudios diferentes.
- No hay sesgo de los insectos a causa de su tamaño o resistencia al impacto, ya que se recogen todos los insectos que interceptan su vuelo con el paso del colector. Tampoco hay pérdida de muestra por desaparición de los insectos colectados.
- A lo largo de un tramo de muestreo se integran tramos con una elevada tasa de cruce de insectos y tramos medios, resultando a esta escala muestras representativas del impacto real de la carretera sobre los insectos.

## La comunidad de insectos en las autovías

### Descripción general de la comunidad

Por la similitud de nuestra metodología con la de Martin *et al.* <sup>[28]</sup>, resulta especialmente interesante la comparación de sus resultados con los obtenidos en este trabajo. En su estudio en Ontario (Canadá), recorren 20 tramos de uno a tres km en áreas rurales de carreteras con dos carriles por calzada, de los cuales 10 tramos presentan alta intensidad de tráfico y 10 con baja. Repiten dos veces los muestreos, al principio y al final del verano de 2014. Todos los muestreos se realizan entre las 12:00 y las 17:00, manteniendo una velocidad de 80 km/h. Entonces, a partir de las características externas a la carretera (superficie cubierta por masas de agua y densidad de edificios) emparejan tramos similares con intensidades de tráfico enfrentadas, para restar a la abundancia de insectos de un par con alta intensidad de tráfico la abundancia de su par con menos tráfico. Cada par de tramos se muestreaba en la misma

## ESTUDIO COMPARATIVO DEL IMPACTO DE LAS CARRETERAS SOBRE LAS COMUNIDADES DE INSECTOS EN TRAMOS URBANOS Y RURALES

semana. De este modo quieren evaluar el efecto de la intensidad de tráfico en los insectos que atropella un vehículo. En siete emparejamientos el resultado es negativo, es decir, se produce un *declive* de la abundancia en la comunidad de insectos de la carretera a causa del tráfico.

No detallan en el artículo el número total de km recorridos, pero suponiendo que cada tramo era de dos km, recorrieron aproximadamente 80 km, en los que recogieron 7.225 insectos (90 insectos/km). El 99 % (7.202) pertenecían a los órdenes Diptera (5.568), Hymenoptera (679), Hemiptera (435), Thysanoptera (383) y Coleoptera (137). Como las dos planchas pegajosas que utilizan presentan una superficie total de 9.600 cm<sup>2</sup> y la de este trabajo es de 2.500 cm<sup>2</sup>, multiplicamos nuestras abundancias por 3,84 para obtener las abundancias equivalentes.

En nuestro trabajo capturamos 1.462 insectos en 513 km (3 insectos/km aproximadamente; si hacemos la equivalencia de la superficie de muestreo serían 11 insectos/km) entre las áreas rurales y urbanas (Cuadro 2). Si sólo contamos los insectos de los tramos de autovía en las áreas rurales (más similares a las del trabajo de Martin *et al.* [28]), se recogieron 350 insectos en 90 km (4 insectos/km aproximadamente, 15 si hacemos la equivalencia de superficies de captura). De éstos, el 99 % (346) pertenecían a Hemiptera (248), Diptera (47), Hymenoptera (41) y Coleoptera (10). Los restantes pertenecían a Thysanoptera e Isoptera.

Aunque en nuestros muestreos el número de ejemplares de Hymenoptera es mayor que en Martin *et al.* [28], los órdenes principales son los mismos. Sí debe señalarse que en ambos estudios se recogieron más Diptera que Hymenoptera, aunque en el estudio de Martin *et al.* [28] las diferencias fueron muy superiores.

Por tanto, en nuestro trabajo las abundancias recogidas por km en los tramos rurales de las autovías son muy inferiores (90 insectos/km en Martin *et al.* [28] frente a 15 en nuestro trabajo). Tal vez la clave de las diferencias entre ambos estudios (más allá de las zonas geográficas, las circunstancias meteorológicas de cada una, etc.) es que las intensidades medias de tráfico de las carreteras muestreadas en el estudio de Martin *et al.* [28], 366 vehículos/h en las de alta intensidad de tráfico y 41 vehículos /h en las de baja intensidad, son notablemente inferiores a las de nuestro estudio. En el presente trabajo, las dos carreteras similares a las estudiadas por Martin *et al.* [28], con dos carriles por calzada, la A231 en León y la A40 en Toledo, presentan 693 y 305 vehículos/h respectivamente y se capturaron 28 insectos/km y 4 insectos/km. En la A7 en Valencia, con 3 carriles por calzada y 3.236 vehículos/h se capturaron 13 insectos/km (en los tres sitios, hecha la equivalencia de superficies de muestreo).

En la recopilación de artículos que realizan Muñoz *et al.* [9], dos de ellos estudian todos los insectos. Seibert y Conover [41], con el método de transectos en los bordes de las carreteras, recogieron casi 7 insectos/km pertenecientes a 11 órdenes, de los que los más numerosos fueron Hymenoptera, Diptera y Lepidoptera. Yamada *et al.* [39], también mediante transectos, recogieron 33 insectos/km, de los que Coleoptera, Diptera y Lepidoptera fueron los órdenes más comunes. Sin embargo, en ambos trabajos se hacían muestreos semanales, por lo que los insectos atropellados correspondían a ese periodo completo, integrando insectos diurnos y nocturnos y teniendo en cuenta la elevada tasa de pérdida de ejemplares de insectos, reconocida expresamente sus correspondientes autores. Por tanto, los resultados no son comparables con los de nuestro estudio.

Los órdenes con mayor número de atropellos en este estudio fueron Hemiptera, Diptera e Hymenoptera y, mientras que hay estudios en los que se observa que Diptera e Hymenoptera

## ESTUDIO COMPARATIVO DEL IMPACTO DE LAS CARRETERAS SOBRE LAS COMUNIDADES DE INSECTOS EN TRAMOS URBANOS Y RURALES

son los órdenes más afectados por los atropellos <sup>[41]</sup>, en otros se habla del orden Lepidoptera como el orden principal en el ámbito de atropello de insectos <sup>[43] [39]</sup>.

### Diferencias generales entre los tramos urbanos y los tramos rurales de las autovías

Se obtuvieron diferencias significativas entre las abundancias de insectos en tramos urbanos y rurales de las autovías (Cuadro 4). La abundancia de insectos cruzando las autovías parece relacionada con la abundancia de los insectos a nivel de paisaje. Por ejemplo, Skórka *et al.* <sup>[35]</sup> señalan que la localización de puntos negros de atropello de mariposas en Polonia está muy relacionada con la abundancia de mariposas a nivel de paisaje. En el cuadro 2 (resultados de los muestreos realizados en las autovías y los viales rurales) se puede observar que en los tramos muestreados en Toledo y en León, las abundancias fuera de la autovía (en los viales rurales) son muy superiores a las de dentro de los tramos de las autovías. En Valencia no se repite este patrón.

En el cuadro 4 se puede comprobar que las diferencias en cuanto a volumen de tráfico también fueron significativas, siendo muy superior la media del tráfico en los tramos de las zonas urbanas sobre los tramos en zonas rurales.

A pesar de que no hemos encontrado en la bibliografía otros estudios que hayan investigado específicamente los insectos en vías urbanas ni, menos aún, posibles comparaciones entre las comunidades de estos dos tipos de vía, sí que se afirma que la clase de hábitat que rodea a las carreteras influye en la tasa de atropello de manera distinta para cada orden de insectos <sup>[44]</sup>. En la introducción ya se ha explicado que las relaciones entre la comunidad de insectos de un territorio y las características de la vegetación y usos del territorio son objeto de investigación en otros proyectos por lo que queda fuera del alcance de este trabajo. En el presente estudio nos centramos en las relaciones entre la abundancia de la comunidad de insectos dentro de la autovía y el volumen de tráfico.

También se han observado en el cuadro 4 diferencias significativas en las abundancias de Diptera en ambos tipos de tramos. Una de las hipótesis que planteamos al comienzo del estudio era el predominio de este orden en zonas urbanas ya que muchas de sus especies viven, se alimentan y desarrollan sus ciclos vitales especialmente ligados a la especie humana, sus hábitats y a la descomposición de materia orgánica.

### Relación con el volumen de tráfico

Los resultados obtenidos en este estudio indican que cuanto mayor es el volumen de tráfico la mortalidad de los insectos es también mayor, coincidiendo con otros estudios realizados anteriormente <sup>[43] [10] [40] [28]</sup>.

Esta relación puede deberse a que, aunque el número de atropellos por vehículo sea menor, el número mayor de vehículos que circulan por la autovía hace que el número total de atropellos también aumente. Martin *et al.* <sup>[28]</sup> describen esta misma conclusión a partir de las capturas en los paneles pegajosos. New <sup>[45]</sup> explica que en la ciudad, al ser un ambiente más hostil, la población de insectos puede ser más pequeña y por tanto los atropellos sean más significativos. Al ser menor la población, también puede ser menor el número de atropellos.

Además, un volumen de tráfico alto también producirá una mayor cantidad de sustancias contaminantes, tanto aéreas como terrestres <sup>[46]</sup> que pueden afectar de manera negativa a las

## ESTUDIO COMPARATIVO DEL IMPACTO DE LAS CARRETERAS SOBRE LAS COMUNIDADES DE INSECTOS EN TRAMOS URBANOS Y RURALES

poblaciones de insectos <sup>[47]</sup>. Sin embargo, McKenna *et al.* <sup>[29]</sup> observaron más colisiones de lepidópteros en niveles de tráfico intermedios. Skórka *et al.* <sup>[35]</sup> relacionan la localización de puntos negros de atropello de mariposas en carreteras de Polonia con altos volúmenes de tráfico, pero sólo si la riqueza y abundancia de mariposas en el paisaje era elevada. Sin embargo, fuera de estos puntos negros, en los tramos sin acumulación de atropellos, Skórka encuentra que el volumen de tráfico no afectaba significativamente al número de atropellos.

Es posible que con volúmenes de tráfico bajos, como por ejemplo los de León y Toledo, no sea el volumen de tráfico el que más influye sobre el número de insectos capturados por kilómetro, sino que importen más otras variables como el tamaño de población, muy relacionada con la época de la floración <sup>[22]</sup> y por tanto una mayor disponibilidad de recursos (León) o, por el contrario, una época de sequía y la escasez de recursos que conlleva (Toledo).

### Efectos del volumen de tráfico sobre Diptera e Hymenoptera

En el cuadro 5 se puede comprobar que de todas las variables estudiadas, la única que se correlaciona de manera positiva y significativa con el volumen de tráfico es el porcentaje de Diptera. Otros estudios también han observado que Diptera es el orden que más afectado se ve por niveles del tráfico altos <sup>[28]</sup>. Esto quizás tenga que ver con el comportamiento diferente que presentan Diptera e Hymenoptera en general al explorar el territorio y el efecto que esta diferencia tiene sobre el modo de utilizar la carretera, como ya se explicó en el apartado de Metodología. En general, Diptera muestra una plasticidad ecológica mayor que Hymenoptera <sup>[32]</sup> <sup>[33]</sup>, por lo que serían más resilientes que Hymenoptera a los impactos generados por las carreteras.

Un volumen de tráfico alto está relacionado con un mayor número de viales en cada sentido y por tanto con una mayor anchura en la carretera. Probablemente a causa de ambas circunstancias, los himenópteros son más reticentes a cruzarla, ya que es frecuente que reconozcan la carretera como un borde en su territorio, mientras que los dípteros son menos sensibles a este efecto borde. Hay estudios que demostraron mediante experimentos de captura y recaptura que, a pesar de ser capaces de cruzar la carretera, los abejorros no lo hacían a menos que se les desplazara lejos de su localización originaria <sup>[11]</sup> (Bhattacharya *et al.*, 2003).

Las Figuras 12 y 13 se complementan perfectamente mostrando los efectos de este comportamiento diferencial de Diptera e Hymenoptera, ocupando el territorio en general y la autovía en particular. En la Figura 12 observamos que ambos órdenes reducen el número de atropellos por vehículo, más intensamente en Hymenoptera, cuya pendiente es mayor mostrando una mayor sensibilidad que Diptera al volumen de tráfico. Sin embargo, respecto al porcentaje, en la figura 13, que cada orden representa en el conjunto de la comunidad dentro de la autovía, Diptera tiende a incrementarse con el volumen de tráfico mientras que Hymenoptera disminuye. Es decir, la abundancia de Hymenoptera desciende mucho más rápidamente que la de Diptera, de modo que en las mayores intensidades de tráfico apenas encontramos Hymenoptera, siendo el peso de Diptera muy superior (con intensidades de tráfico alrededor de 5.000 vehículos/h, que es aproximadamente donde cortan ambas curvas). Por tanto, en intensidades inferiores a 5.000 vehículos/h, tiende a atropellarse más Hymenoptera; por encima de 5.000 vehículos/h cambia la situación, atropellándose en mayor cantidad Díptera. El caso extremo, en la M30, con 16.000 vehículos/h aproximadamente se atropella un 60 % de Diptera frente a menos de un 5 % de Hymenoptera. El resto, hasta el 100% corresponde a otros órdenes de insectos.

En el cuadro 5 también observamos la correlación significativa y negativa entre el volumen de tráfico y el número de Hymenoptera capturados. En la Figura 12, en la que se representa el número de Díptera e Hymenoptera capturados en relación con el volumen de tráfico, sin embargo observamos que el ajuste de la curva de los datos de Hymenoptera ( $R^2 = 0,889$ ) es mucho mayor que en Díptera ( $R^2 = 0,3968$ ). Por tanto, se puede deducir que el incremento del volumen de tráfico explica mejor la disminución del número de capturas por vehículo en Hymenoptera.

### La valoración del impacto de las carreteras

El impacto de las carreteras sobre la comunidad de insectos se puede valorar analizando el número de insectos que se atropellan en una serie de tramos de alguna carretera y generalizando a continuación mediante una simple multiplicación por el número de kilómetros de carreteras comparables en diferentes escalas geográficas (regional, estatal, continental).

En la Figura 15 se representa el número de insectos capturados por colector y km frente al volumen de tráfico. Está claro que el número de insectos capturados/km en áreas rurales difiere mucho de unos sitios a otros e igualmente en el caso de los tramos urbanos. Son también claras las diferencias que se obtendrían estimando los atropellos a nivel regional, nacional o continental a partir de cualquiera de los sitios multiplicando simplemente por el número de kilómetros de carreteras similares (en España hay 15.000 km de autopistas y autovías). Sólo en la salida de la A5 se capturaron 4,4 veces más insectos que en el eje este de la M30, donde menos insectos se recogieron. Y en la A231 en León 140 veces más que en el M30.

Pero para responder al problema principal, el impacto de las carreteras, no es suficiente con responder dando un número de insectos atropellados. Se debe conocer cuál es la relación del volumen de tráfico, ya que aparentemente es la variable que más directamente influye sobre los insectos que atraviesa la carretera. En qué medida depende el número de atropellos en la carretera respecto del volumen de tráfico, también arroja una variedad de resultados y de interpretaciones.

Mckenna *et al.* [29] encuentran que los lepidópteros presentan máximos de atropellos en volúmenes de tráficos intermedios. Atribuyen el descenso de atropellos en las carreteras al propio impacto de la carretera sobre la población local, cuando a la velocidad se suman elevados volúmenes de tráfico.

Skórka *et al.* [35], aunque reconocen el influjo del tráfico para explicar la definición de puntos negros de atropellos de mariposas, prestan mayor peso ( $p = 0,002$ ) a la abundancia de mariposas en el paisaje (no en los bordes de la carretera), seguido de la superficie de prados en el paisaje ( $p = 0,026$ ) (ni la diversidad vegetal ni la frecuencia de siegas) y finalmente el volumen de tráfico ( $p = 0,027$ ). El modelo presenta un valor de  $R^2 = 0,67$ .

Resulta muy esclarecedora la comparación de los resultados de nuestro trabajo con los de Martin *et al.* [28], por su técnica de captura de insectos, consistente, como ya se ha explicado, en unas planchas con papel pegajoso sobre el techo del coche y en el frontal del motor. Por tanto, muestrean la carretera “desde dentro” de la carretera. En su estudio concluyen que la abundancia de insectos en una carretera (el número de insectos atropellados) desciende al aumentar el tráfico en la carretera, lo cual deducen a partir de la observación de que el número de atropellos por vehículo se reduce con el aumento del tráfico. No obstante señalan que,

## ESTUDIO COMPARATIVO DEL IMPACTO DE LAS CARRETERAS SOBRE LAS COMUNIDADES DE INSECTOS EN TRAMOS URBANOS Y RURALES

incluso aunque el número de atropellos por vehículo sea menor, el número total de atropellos puede aumentar cuando hay más tráfico.

Estos resultados están de acuerdo con los obtenidos en nuestro trabajo, como puede observarse en la figura 15. Sin embargo, en nuestro trabajo encontramos algunos matices importantes. Por ejemplo, en el tramo de muestreo en Toledo, con unos 300 vehículos/h, la tasa de atropello/km (1,4 insectos/km) es muy inferior al tramo de León (7 insectos/km) que tiene el doble de tráfico (aprox. 600 vehículos/h). Por este motivo proponemos que en cantidades relativamente bajas de tráfico, pueden operar, en relación con la tasa de atropellos, otros factores, como por ejemplo el propio tamaño de la población de insectos.

Finalmente, en cuanto al número potencial de atropellos de Hymenoptera, es decir, abejas y abejorros, por tanto el grupo de polinizadores por excelencia, no debemos sacar conclusiones anticipadas. En volúmenes de tráfico elevados (en la A7 en Valencia) no se han recogido ejemplares de este orden (aunque se recogieron dos ejemplares en una repetición, la mediana de las repeticiones era 0) y podría entenderse que a partir de grandes intensidades de tráfico estos insectos no son atropellados. En primer lugar, en la campaña de muestreos tanto urbanos como rurales, realizados en marzo de 2020 se han capturado numerosos ejemplares de Hymenoptera, por tanto hay que muestrear mucho más hasta obtener patrones seguros. En segundo lugar, aunque el efecto de borde de las grandes vías de transporte terrestre afectara a estos insectos reduciendo o incluso anulando por completo el cruce y, por tanto, las colisiones, el impacto debido a la fragmentación de los hábitats multiplicado por los miles de kilómetros de estas infraestructuras sería por sí mismo muy importante.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se ha comprobado que al aumentar el tráfico se reduce la abundancia de insectos en las carreteras. Aunque el número de atropellos por vehículo sea menor, el número total de atropellos puede aumentar cuando hay más tráfico.

En cuanto a las diferencias en el atropello de Díptera e Hymenoptera, hemos observado que en intensidades inferiores a 5.000 vehículos/h tiende a atropellarse más Hymenoptera, pero en proporciones no muy superiores a Díptera, y son más los insectos de otros órdenes los atropellados; por encima de 5.000 vehículos/h cambia la situación, atropellándose en mayor proporción Díptera que Hymenoptera, destacando Díptera por ser el orden que experimenta mayor proporción de atropellos de toda la comunidad, en cierto modo el que es menos sensible al volumen de tráfico. Este patrón se mantiene entre las zonas rurales y las urbanas, de modo que como en las zonas urbanas es donde encontramos más intensidad de tráfico, la abundancia cae más rápidamente en Hymenoptera por lo que en proporción Díptera sube rápidamente.

### Agradecimientos

A Alejandra Franco y Javier Díaz, por los datos de composición de las comunidades de insectos en León, Toledo y Valencia (áreas rurales). También a Javier Díaz por su apoyo al inicio de los trabajos de identificación de los insectos de las áreas urbanas.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Forester, D.J. y Machlist, G.E. (1996). Modeling human factors that affect the loss of biodiversity. *Conservation Biology*, 10(4): 1253-1263. doi: 10.1046/j.1523-1739.1996.10041253.x
- [2] Barlow, J., Lennox, G.D., Ferreira, J., Berenguer, E., Lees, A.C., Mac Nally, R., Thomson, J.R., Ferraz, S.F., Louzada, J., Oliveira, V.H., Parry, L., Solar, R.R., Vieira, I.C., Aragão, L.E., Begotti, R.A., Braga, R.F., Cardoso, T.M., de Oliveira, R.C., Jr, Souza, C.M., Jr, Moura, N.G., Nunes, S.S., Siqueira, J.V., Pardini, R., Silveira, J.M., Vaz-de-Mello, F.Z., Veiga, R.C.S., Venturieri, A. y Gardner, T.A. (2016). Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. *Nature*, 535(7610): 144–147. doi: [10.1038/nature18326](https://doi.org/10.1038/nature18326)
- [3] Van Dover, C.L., Ardron, J.A., Escobar, E., Gianni, M., Gjerde, K.M., Jaeckel, A., Jones, D.O.B., Levin, L.A., Niner, H.J., Pendleton, L., Smith, C.R., Thiele, T., Turner, P.J., Watling, L. y Weaver, P.P.E. (2017). Biodiversity loss from deep-sea mining. *Nature Geoscience*, 10(7): 464–465. doi: 10.1038/ngeo2983
- [4] Conrad, K.F., Warren, M.S., Fox, R., Parsons, M.S., y Woiwod, I.P. (2006). Rapid declines of common, widespread British moths provide evidence of an insect biodiversity crisis. *Biological Conservation*, 132(3): 279–291. doi: 10.1016/j.biocon.2006.04.020
- [5] Brooks, D.R., Bajer, J.E., Clark, S.J., Monteith, D.T., Andrews, C., Corbett, S.J., Beaumont, D.A. y Chapman, J.W. (2012). Large carabid beetle declines in a United Kingdom monitoring network increases evidence for a widespread loss in insect biodiversity. *Journal of Applied Ecology*, 49(5): 1009–1019. doi: 10.1111/j.1365-2664.2012.02194.x
- [6] Fonseca, C.R. (2009). The silent mass extinction of insect herbivores in biodiversity hotspots. *Conservation Biology*, 23(6): 1507–1515. doi: 10.1111/j.1523-1739.2009.01327.x
- [7] Sánchez-Bayo, F. y Wyckhuys, K. (2019). Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological Conservation* 232: 8 - 27. doi: 10.1016/j.biocon.2019.01.020
- [8] LeBuhn, G., Doege, S., Connor, Ed., Gemmill-Herren, B. y Azzu, N. (2016). Protocol to detect and monitor pollinator communities. *Guidance for practitioners*. FAO-UUNN.
- [9] Muñoz, P., Pascual Torres, F. y González Megías, A. (2015). Effects of roads on insects: a review. *Biodiversity and Conservation*, 24: 659-682. doi: 10.1007/s10531-014-0831-2
- [10] Soluk, D.A., Zercher, D.S., y Worthington, A.M. (2011). Influence of roadways on patterns of mortality and flight behavior of adult dragonflies near wetland areas. *Biological Conservation*, 144(5): 1638–1643. doi: 10.1016/j.biocon.2011.02.015
- [11] Bhattacharya, M., Primack, R.B., y Gerwein, J. (2003). Are roads and railroads barriers to bumblebee movement in a temperate suburban conservation area? *Biological Conservation*, 109(1): 37–45. doi: 10.1016/s0006-3207(02)00130-1
- [12] Jackson, N.D., y Fahrig, L. (2011). Relative effects of road mortality and decreased connectivity on population genetic diversity. *Biological Conservation*, 144(12): 3143–3148. doi: 10.1016/j.biocon.2011.09.010
- [13] Clevenger, A.P., Chruszcz, B., y Gunson, K.E. (2003). Spatial patterns and factors influencing small vertebrate fauna road-kill aggregations. *Biological Conservation*, 109(1): 15–26. doi: 10.1016/s0006-3207(02)00127-1

- [14] Neumann, W., Ericsson, G., Dettki, H., Bunnefeld, N., Keuler, N.S., Helmers, D.P., y Radeloff, V.C. (2012). Difference in spatiotemporal patterns of wildlife road-crossings and wildlife-vehicle collisions. *Biological Conservation*, 145(1): 70–78. doi: 10.1016/j.biocon.2011.10.011
- [15] Rytwinski, T., y Fahrig, L. (2012). Do species life history traits explain population responses to roads? A meta-analysis. *Biological Conservation*, 147(1): 87–98. doi: 10.1016/j.biocon.2011.11.023
- [16] Teixeira, F.Z., Coelho, A.V.P., Esperandio, I.B., y Kindel, A. (2013). Vertebrate road mortality estimates: effects of sampling methods and carcass removal. *Biological Conservation*, 157: 317–323. doi: 10.1016/j.biocon.2012.09.006
- [17] Benítez-López, A., Alkemade, R., y Verweij, P.A. (2010). The impacts of roads and other infrastructure on mammal and bird populations: A meta-analysis. *Biological Conservation*, 143(6): 1307–1316. doi: 10.1016/j.biocon.2010.02.009
- [18] Carr, L.W., y Fahrig, L. (2001). effect of road traffic on two amphibian species of differing vagility. *Conservation Biology*, 15(4): 1071–1078. doi: 10.1046/j.1523-1739.2001.0150041071.x
- [19] Andrews, K.M., y Gibbons, J.W. (2005). How do highways influence snake movement? Behavioral responses to roads and vehicles. *Copeia*, 2005(4); 772–782. doi: 10.1643/0045-8511(2005)005[0772:hdhism]2.0.co;2
- [20] Wojcik, V. y Buchmann, S. (2012). Pollinator conservation and management on electrical transmission and roadside rights-of-way: a review. *Journal of Pollination Ecology*, 7(3): 16-26.
- [21] Hunter, M.R., y Hunter, M.D. (2008). Designing for conservation of insects in the built environment. *Insect Conservation and Diversity*, 1: 189-196 doi: 10.1111/j.1752-4598.2008.00024.x
- [22] Hopwood, J.L. (2008). The contribution of roadside grassland restorations to native bee conservation. *Biological Conservation*, 141(10): 2632–2640. doi: 10.1016/j.biocon.2008.07.026
- [23] Chapman, A.D. (2009) *Numbers of living species in Australia and the world*. Disponible en: <http://www.environment.gov.au/science/abrs/publications/other/numbers-living-species/executive-summary> [consulta: 3 agosto 2020]
- [24] Rader, R., Bartomeus, I., Garibaldi, L.A., Garratt, M.P., Howlett, B.G., Winfree, R., Cunningham, S.A., Mayfield, M.M., Arthur, A.D., Andersson, G.K., Bommarco, R., Brittain, C., Carvalheiro, L.G., Chacoff, N.P., Entling, M.H., Foully, B., Freitas, B.M., Gemmill-Herren, B., Ghazoul, J., Griffin, S.R., Gross, C.L., Herbertsson, L., Herzog, F., Hipólito, J., Jaggar, S., Jauker, F., Klein, A.M., Kleijn, D., Krishnan, S., Lemos, C.Q., Lindström, S.A.M., Mandelik, Y., Monteiro, V.M., Nelson, W., Nilsson, L., Pattermore, D.E., Pereira, N.O., Pisanty, G., Potts, S.G., Reemer, M., Rundlöf, M., Sheffield, C.S., Scheper, J., Schüepp, C., Smith, H.G., Stanley, D.A., Stout, J.C., Szentgyörgyi, H., Taki, H., Vergara, C.H., Viana, B.F. y Woyciechowski, M. (2016). Non-bee insects are important contributors to global crop pollination. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(1): 146–151. doi: 10.1073/pnas.1517092112
- [25] Ssymank, A., Kearns, C.A., Pape, T., y Thompson, F.C. (2008). Pollinating flies (Diptera): A major contribution to plant diversity and agricultural production. *Biodiversity*, 9(1-2): 86–89. doi: 10.1080/14888386.2008.9712892
- [26] Baxter-Gilbert, J.H., Riley, J.L., Neufeld, C.J.H., Litzgus, J.D. y Lesbarrères, D. (2015). Road mortality potentially responsible for billions of pollinating insect deaths annually. *Journal of Insect Conservation*, 19(5): 1029-1035. doi: 10.1007/s10841-015-9808-z

- [27] Wrzesień, M., Jachuła, J. y Denisow, B. (2016). Railway embankments – refuge areas for food flora, and pollinators in agricultural landscape. *Journal of Apicultural Science*. 60(1): 39–51. <https://doi.org/10.1515/JAS-2016-0004>
- [28] Martin, A.E., Graham, S.L., Henry, M., Pervin, E. y Fahrig, L. (2018) Flying insect abundance declines with increasing road traffic. *Insect Conservation and Diversity* 11: 608-613. doi: 10.1111/icad.12300
- [29] McKenna, D.D., McKenna, K.M., Malcom, S.B. y Berenbaum, M.R. (2001) Mortality of Lepidoptera along roadways in central Illinois *Journal of the Lepidopterists' Society*, 55(2): 63-68
- [30] Shweta, M. y Rajmohana, K.A. (2018) Comparison of sweep net, yellow pan trap and Malaise trap for sampling parasitic Hymenoptera in a backyard habitat in Kerala. *Entomon*, 43(1): 33-44.
- [31] Pianka, E.R. (2011) *Evolutionary Ecology*. 7<sup>th</sup>. Ed. eBook.
- [32] Rader, R., Edwards, W., Westcott, D.A., Cunningham, S.A., y Howlett, B.G. (2013). Diurnal effectiveness of pollination by bees and flies in agricultural *Brassica rapa*: Implications for ecosystem resilience. *Basic and Applied Ecology*, 14(1): 20–27. doi: 10.1016/j.baae.2012.10.011
- [33] Kühnel, S. y Blüthgen, N. (2015). High diversity stabilizes the thermal resilience of pollinator communities in intensively managed grasslands. *Nature Communications*, 6: 7989. doi: 10.1038/ncomms8989
- [34] De La Puente, D., Ochoa, C.R. y Viejo, J.L. (2008). *Mortalidad de mariposas (Lepidoptera, Papilionoidea) por atropello en la Reserva Natural Española "El Regajal-Mar de Ontígola" (Aranjuez, España)*. Actas de XVII Bienal de la Real Sociedad Española de Historia Natural, Madrid, pp. 137-152.
- [35] Skórka, P., Lenda, M., Moroń, D., Martyka, R., Tryjanowski, P., y Sutherland, W.J. (2015). Biodiversity collision blackspots in Poland: Separation causality from stochasticity in roadkills of butterflies. *Biological Conservation*, 187: 154–163. doi: 10.1016/j.biocon.2015.04.017
- [36] Andersson, P., Koffman, A., Sjödin, N.E. y Johansson, V. (2017) Roads may act as barriers to flying insects: species composition of bees and wasps differs on two sides of a large highway. *Nature Conservation* 18: 47–59. doi: 10.3897/natureconservation.18.12314.
- [37] Ministerio de transportes, Movilidad y Agenda urbana (2017) *Mapas de tráfico*. Disponible en: <https://www.mitma.es/carreteras/trafico-velocidades-y-accidentes-mapa-estimacion-y-evolucion/mapas-de-trafico/2017> [consulta: 14 julio 2020].
- [38] Portal de datos abiertos del Ayuntamiento de Madrid (2017) *Tráfico. Intensidad media diaria anual por tramos*. Disponible en: <https://datos.madrid.es/portal/site/egob/menuitem.c05c1f754a33a9f8e4b2e4b284f1a5a0/?vgnnextoid=4a2e4207bb864410VgnVCM1000000b205a0aRCRD&vgnnextchannel=374512b9ace9f310VgnVCM100000171f5a0aRCRD&vgnnextfmt=default> [consulta: 14 julio 2020].
- [39] Yamada, Y., Sasaki, H. y Harauchi, Y. (2010) Composition of road-killed insects on coastal roads around Lake Shikotsu in Hokkaido, Japan. *Journal of Rakuno Gakuen University*, 34(2): 177-184.
- [40] Skórka, P., Lenda, M., Moroń, D., Kalarus, K., y Tryjanowski, P. (2013). Factors affecting road mortality and the suitability of road verges for butterflies. *Biological Conservation*, 159: 148–157. doi: 10.1016/j.biocon.2012.12.028
- [41] Seibert, H.C. y Conover, J.H. (1991) Mortality of vertebrates and Invertebrates on an Athens county, Ohio, Highway. *Ohio Journal of Science*, 91(4): 163-166.

- [42] Tinsley-Marshall, P.T., Skilbeck, A. y Riggs, A. (2020). Monitoring of ecosystem function at landscape-scale demonstrates temporal difference in invertebrate abundance in Kent and South-East England. *Conservation evidence*, 2017.
- [43] Rao, R.S.P. y Girish, M.K.S. (2007). Road kills: assessing insect casualties using flagship taxon. *Current Science* 92(6): 830-837.
- [44] Keilsohn, W., Narango, D.L. y Tallamy, D.W. (2018) Roadside hábitat impacts insect traffic mortality. *Journal of Insect Conservation* 22: 183-188. doi: 10.1007/s10841-018-0051-2
- [45] New, R.T. (2015). Selected urban threats to insects. En: *Insect conservation and urban environment*. Springer, London, pp. 121:132.
- [46] Aldrin, M. y Haff, I. (2005). Generalised additive modelling of air pollution, traffic volume and meteorology. *Atmospheric Environment*, 39(11): 2145–2155. doi: 10.1016/j.atmosenv.2004.12.020
- [47] Lob, D.W. y Silver, P. (2012). Effects of elevated salinity from road deicers on *Chironomus riparius* at environmentally realistic springtime temperatures. *Freshwater Science*, 31(4): 1078–1087. doi: 10.1899/12-095.1