

AEROGENERADORES Y AVIFAUNA EN ARAGÓN

Rocío SUS-PÉREZ¹ |

Ernesto PÉREZ-COLLAZOS² | Chabier GONZÁLEZ-ESTEBAN³

RESUMEN.— La energía eólica es un tipo de energía limpia y renovable; sin embargo, puede generar problemas de conservación a algunas especies. Las colisiones de aves y murciélagos en sus aerogeneradores parecen ser frecuentes. Este artículo pretende determinar las especies más afectadas por colisión en 48 parques eólicos (1555 aerogeneradores). Se han detectado un total de 1213 colisiones durante el periodo 2002-2016, que afectaron a 42 especies, principalmente al buitre leonado. De los parques estudiados se ha podido determinar que La Loba, Rabosera y San Juan de Bargas son los que ofrecen mayor tasa de colisiones. En contraposición, los parques de la zona de La Muela, a pesar de disponer de un elevado número de aerogeneradores (267), presentan una tasa de colisiones muy baja.

ABSTRACT.— Wind energy is a type of clean and renewable energy. However, it can generate conservation problems for some species. Collisions of birds and bats in their turbines seem to be frequent. This work aims to determine the species most affected by collision in 48 wind farms (1555 wind turbines). A total of 1213 collisions have been detected during the

Recepción del original: 19-12-2019

¹ Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 Huesca. rocio.sus@gmail.com

² Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 Huesca. ernextop@unizar.es

³ Centro de Recuperación de la Fauna Silvestre. Gobierno de Aragón. Finca de la Alfranca–Pastriz. E-50195 Zaragoza. chabiergo@gmail.com

period 2002-2016, affecting 42 species, mainly the griffon vulture. The study of the parks determined that La Loba, Rabosera and San Juan de Bargas are the ones with the highest collision rate. In contrast, the parks in the area of La Muela, despite their high number of wind turbines (267), show a very low collision rate.

KEYWORDS.— Bird mortality. Collision. *Gyps fulvus*. Turbines. Wind energy. Wind farms. Aragón (Spain).

INTRODUCCIÓN

La energía eólica se define como una fuente de energía renovable y limpia, debido a que su materia prima, el viento, es un recurso inagotable y su aprovechamiento reduce el impacto ambiental, ya que no emite gases contaminantes, ni efluentes líquidos, ni residuos sólidos. Por cada megavatio hora (MWh) de energía eólica producida se evita un vertido de 600 kg de CO₂, que contribuye al efecto invernadero; 1,33 kg de SO₂, causante de la lluvia ácida que puede destruir la vegetación y alterar el ciclo del agua, y 1,67 kg de NO₂, contaminantes químicos que reducen notablemente la calidad del aire (TALAYERO-NAVALES y TELMO-MARTÍNEZ, 2011). Por todo ello, el uso de la energía eólica se ha incrementado notablemente en China, Estados Unidos, Alemania, España e India (SAWIN, 2016). El número de parques eólicos y de aerogeneradores instalados en España es alto (1080 y 20 292, respectivamente, a finales de 2016), y las comunidades autónomas con mayor potencia instalada son Castilla y León, Castilla – La Mancha, Andalucía, Galicia y Aragón, que suponen el 77,99 % del total (ASOCIACIÓN EMPRESARIAL EÓLICA, 2017). A pesar de todos los beneficios que reporta este tipo de producción de energía, se ha demostrado que los parques eólicos pueden tener distintos efectos adversos sobre la flora y la fauna. La mayoría de los estudios se han centrado en la mortalidad de aves y murciélagos y en la pérdida de hábitat para la avifauna (LUCAS y cols., 2007).

Los efectos de los parques eólicos sobre la fauna son muy variables y dependen de un elevado número de factores que incluyen el diseño del parque, el tipo de hábitat ocupado, las especies presentes en su entorno y su abundancia (MUÑOZ-GALLEGO, 2014). Las principales afecciones a la avifauna son las colisiones con las palas del aerogenerador, la torre, la góndola u otras estructuras asociadas, tales como los tendidos eléctricos o las

torres de medición (LUCAS y cols., 2007). Otros efectos de los parques sobre la avifauna son el ruido, el electromagnetismo y las vibraciones que producen los aerogeneradores, lo que genera un abandono del hábitat en algunos casos (ATIENZA y cols., 2011). Algunos estudios han demostrado que cuanto más tiempo lleva en funcionamiento un parque eólico mayor es la disminución en el número de aves de la zona (STEWART y cols., 2005). Los parques eólicos suponen también una obstrucción al movimiento de las aves, ya sea en las rutas de migración o entre las áreas que emplean para su alimentación y su descanso (ATIENZA y cols., 2011).

Otros estudios han demostrado que la incidencia global de la mortalidad de la avifauna por colisión con aerogeneradores es relativamente baja pero que, sin embargo, estos constituyen una presión preocupante sobre especies y poblaciones con un precario estado de conservación (LUCAS y cols., 2007; TALAYERO-NAVALES y TELMO-MARTÍNEZ, 2011). Por otra parte, algunas especies, debido a su tipo de vuelo, comportamiento o gregarismo, son más propensas a sufrir colisiones, como por ejemplo las cigüeñas, las grullas, las gaviotas, los milanos y los buitres (TALAYERO-NAVALES y TELMO-MARTÍNEZ, 2011). Teniendo en cuenta lo anterior y la ausencia de este artículo sobre la mortalidad de la avifauna por colisión en parques eólicos aragoneses, los objetivos de esta investigación fueron los siguientes: *i*) estimar la magnitud de las colisiones sobre la avifauna en 48 parques eólicos, *ii*) identificar los parques que presentan mayor siniestralidad, *iii*) conocer qué especies se están viendo afectadas por colisión y *iv*) determinar la magnitud de la muerte por colisión en las especies afectadas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para la realización de este artículo se empleó la base de datos del Centro de Recuperación de Fauna Silvestre La Alfranca. Esta base de datos ha sido elaborada mediante las contribuciones de los agentes de protección de la naturaleza del Gobierno de Aragón, en diferentes parques eólicos del territorio de la comunidad autónoma durante el periodo 2002-2016. Se seleccionaron 31 parques eólicos (tabla I) y se agruparon otros debido a su proximidad y similitud de hábitat, considerándolos como un único parque (17 agrupaciones; tabla II). Se determinó el número de aerogeneradores en

los parques eólicos y de la base de datos se extrajo el número de especies afectadas, estimando así la tasa de colisión (número de colisiones / número de aerogeneradores) en cada uno de ellos. A cada especie se le otorgó un estatus migratorio: *E*, estival; *I*, invernante; *N*, nidificante; *P*, paso, y *S*, sedentario. Se indicó el número total de impactos y la catalogación de la especie según el Real Decreto 139/2011, de 4 de febrero, para el desarrollo del Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y del Catálogo Español de Especies Amenazadas, y según el Decreto 181/2005, de 6 de febrero, por el que se reguló el Catálogo de Especies Amenazadas de Aragón.

RESULTADOS

De los parques estudiados, el que menor número de aerogeneradores presentó fue Cabezo Negro (Jaulín), con una sola unidad, y el de mayor número, San Juan de Bargas, con 56 aerogeneradores, seguido de Plana de Pola, en Tauste (tabla I). En 11 parques eólicos no se pudo determinar el número de aerogeneradores. El número total y la media de colisiones en estos parques fueron de 607 y de $19,6 \pm 28,2$, respectivamente. El parque eólico de San Juan de Bargas fue el de mayor incidencia de colisiones, con 140 casos, y los de menor incidencia, Albardilla Alta (Borja) y El Balcón del Buste (El Buste), con una sola colisión (tabla I). Las tasas de colisión más altas se detectaron en los parques La Loba (2,9), Raboseira (2,8), San Juan de Bargas (2,5) y Muel (2,3), mientras que los valores más bajos se encontraron en los parques Sierra de la Costera y Plana de Pola (0,1; tabla I).

Los parques eólicos, que se agruparon debido a su cercanía, en conjunto formaron parques con alto número de aerogeneradores (media = $79,4 \pm 75,9$). Sin embargo, en cuatro de ellos no fue posible determinar el número total de aerogeneradores. El complejo de mayor tamaño se detectó en La Muela, con 267 unidades, y el de menor número fue el de La Sotonera, con 12 aerogeneradores (tabla II). La media de colisiones en estos parques fue de $32,2 \pm 38,1$, y el de Tardienta resultó ser el de mayor peligrosidad, con 137 colisiones, seguido de La Atalaya + El Águila + El Bayo + Los Monteros (113 colisiones) y Fuendetodos I y II (60 colisiones). El de menor incidencia fue

Tabla 1. Parques eólicos estudiados y colisiones de avifauna.

<i>Parques eólicos</i>	<i>Número de aerogeneradores</i>	<i>Número de colisiones</i>	<i>Tasa de colisión</i>
El Saso (Belchite)	30	28	0,9
La Loba (Mallén)	15	43	2,9
La Puntaza (Remolinos)	18	11	0,6
La Selva (Uncastillo)	27	23	0,9
Los Visos (Rueda de Jalón, Plasencia de Jalón y Fuendejalón)	25	38	1,5
Planas de María (María de Huerva)	32	14	0,4
Rabosera (Luna)	19	53	2,8
San Juan de Bargas (Magallón, Alberite de San Juan, Bureta y Borja)	56	140	2,5
Santo Cristo (Magallón)	20	33	1,7
Saso Plano (Almudévar)	49	52	1,1
Muel (Muel)	27	63	2,3
Farlete – Villamayor (Villamayor)	–	3	–
San Cristóbal (Aguilón)	–	10	–
Las Espardinas (Pastriz)	–	6	–
La Loteta (Luceni)	–	8	–
Río Gállego (Gurrea de Gállego)	40	7	0,2
Acampo Hospital (Zaragoza)	–	7	–
Sancho Abarca (Tauste)	5	8	1,6
Sierra de la Costera (Mezquita de Jarque)	48	8	0,1
Acampo Arias (La Cartuja)	6	6	1,0
Cabezo Negro (Jaulín)	1	2	2,0
Robres (Robres)	13	8	0,6
Los Monegros (Almudévar)	–	2	–
Plana de Pola (Tauste)	54	6	0,1
Saso Bajo (Borja)	–	3	–
Albardilla Alta (Borja)	–	1	–
Plana de Artajona (Tauste)	–	2	–
El Balcón del Buste (El Buste)	–	1	–
Los Cantales (Rueda de Jalón)	12	7	0,6
La Luisa (Rueda de Jalón)	–	9	–
Dehesa del Coscojar (Plasencia de Jalón)	25	5	0,2

Villa de los Ángeles, con un solo caso (tabla II). El total de colisiones en estos parques agrupados fue de 547. La tasa de colisión, en términos generales, resultó más baja que las detectadas para los parques sin agrupación (tablas I y II). La mayor tasa de colisión se detectó en La Sotonera (2,3), mientras que los valores mínimos se encontraron en El Boquerón (0,1) y en La Plana II + La Plana III + La Muela Norte + La Muela II + La Muela III + El Pilar + Aragón + La Carracha (La Muela), a pesar del elevado número de aerogeneradores (267; tabla II).

El total de aerogeneradores detectados en los 48 parques eólicos es de 1555, con un número de colisiones totales de 1213 (tablas I y II; + 59 casos de datos que faltan, en los que la base de datos no indica el parque eólico en el que se ha encontrado el ave colisionada). Las colisiones han afectado a 42 especies diferentes de 17 familias. La especie con mayor número de individuos afectados por colisión (NIAC) fue el buitre leonado, con 996 individuos, seguido del milano real (29 individuos), el cernícalo primilla (27 individuos), el milano negro (25 individuos), el cernícalo vulgar (19 individuos) y el águila culebrera (17 individuos). De las 42 especies afectadas, 29 presentaron menos de 5 colisiones (tabla III).

El estatus migratorio de las aves afectadas fue variable: se detectaron 38 especies que pueden ser clasificadas como nidificantes, 26 sedentarias, 13 estivales, 11 invernantes y 4 de paso (tabla III). Por tanto, los resultados indican un total de 26 especies afectadas por colisión que presentan un carácter migratorio (165 individuos afectados) y 16 especies colisionadas con un carácter estrictamente sedentario (1048 individuos afectados).

De las especies afectadas por colisión, 5 se encuentran incluidas en el *Catálogo español de especies amenazadas*, en la categoría “Vulnerable”: la cigüeña blanca, el buitre negro, el alimoche, el aguilucho cenizo y la ganga; en la categoría “En peligro” solo se halla el milano real. Las especies incluidas en el *Catálogo de especies amenazadas de Aragón* son el alimoche, el aguilucho cenizo, la ganga y la chova piquirroja, en la categoría “Vulnerable”; el milano real, el cernícalo primilla, la grulla y la alondra ricotí, en la categoría “Sensible a la alteración de hábitat”, y en la categoría de “Interés especial” se encuentran las especies cigüeña blanca, pardillo común y verdecillo (tabla III).

Tabla II. Unificación de parques eólicos debido a su cercanía y colisiones de avifauna.

<i>Parques eólicos</i>	<i>Número de aerogeneradores</i>	<i>Número de colisiones</i>	<i>Tasa de colisión</i>
La Atalaya + El Águila + El Bayo + Los Monteros (Pedrola)	165	113	0,7
La Plana II + La Plana III + La Muela Norte + La Muela II + La Muela III + El Pilar + Aragón + La Carracha (La Muela)	267	34	0,1
Sierra de la Virgen + Almarén unificado (Sestrica, Calatayud)	50	42	0,8
Sos del Rey Católico I y II (Sos del Rey Católico)	42	16	0,4
Tarazona Sur + Grisel (Tarazona)	30	15	0,5
Tardienta I + Tardienta II + Santa Quiteria (Tardienta)	167	137	0,8
Valdeconejos (Escucha + Utrillas)	38	13	0,3
La Sotonera (Alcalá de Gurrea + Gurrea de Gállego)	12	28	2,3
Fuendetodos I y II (Fuendetodos)	79	60	0,8
La Muela Alta (Bulbunte + Borja)	–	20	–
Villa de los Ángeles (Burgo de Ebro + Quinto)	–	1	–
La Sarda (Gurrea de Gállego)	–	13	–
Virgen de la Sierra (Villamayor)	–	3	–
El Boquerón (Bulbunte + Borja)	75	8	0,1
La Rabosera (Gurrea de Gállego + Luna + Ejea)	19	8	0,4
Las Lomas de San Just (Escucha + Utrillas)	14	13	0,9
La Serreta (Rueda de Jalón + Plasencia de Jalón)	75	23	0,3

DISCUSIÓN

Parques eólicos y colisiones

A *priori* se podría pensar en una correlación directa entre el número de aerogeneradores y el de colisiones de aves. No obstante, nuestros resultados muestran que algunos parques con un elevado número de aerogeneradores (267), como los de La Plana II + La Plana III + La Muela Norte + La

Tabla III. Especies afectadas por colisión en 16 parques eólicos aragoneses durante el periodo 2002-2016. Estatus migratorio: estival (E), invernante (I), nidificante (N), paso (P) y sedentario (S). Número de individuos afectados por colisión (NIAC). Categoría de amenaza a nivel nacional, *Catálogo español de especies amenazadas*, Real Decreto 139/2011 (RD139), y a nivel autonómico, *Catálogo de especies amenazadas de Aragón*, Decreto 181/2005 (D181): “En peligro” (EN), “Vulnerable” (VU), “Interés especial” (IE), “Sensible a la alteración del hábitat” (SAH).

<i>Especie</i>	<i>Nombre científico</i>	<i>Familia</i>	<i>Estatus migratorio</i>	<i>NIAC</i>	<i>RD139</i>	<i>D181</i>
Cigüeña blanca	<i>Ciconia ciconia</i>	<i>Ciconiidae</i>	E, P, S, N	2	VU	IE
Buitre leonado	<i>Gyps fulvus</i>	<i>Accipitridae</i>	S, N	996	–	–
Buitre negro	<i>Aegypius monachus</i>	<i>Accipitridae</i>	P	1	VU	–
Alimoche	<i>Neophron percnopterus</i>	<i>Accipitridae</i>	E, N	2	VU	VU
Águila real	<i>Aquila chrysaetos</i>	<i>Accipitridae</i>	S, N	8	–	–
Águila culebrera	<i>Circus gallicus</i>	<i>Accipitridae</i>	E, N	17	–	–
Águila calzada	<i>Aquila pennata</i>	<i>Accipitridae</i>	E, N	3	–	–
Milano real	<i>Milvus milvus</i>	<i>Accipitridae</i>	S, N, I	29	EN	SAH
Milano negro	<i>Milvus migrans</i>	<i>Accipitridae</i>	E, N	25	–	–
Aguilucho lagunero	<i>Circus aeruginosus</i>	<i>Accipitridae</i>	S, N, I	6	–	–
Aguilucho cenizo	<i>Circus pygargus</i>	<i>Accipitridae</i>	E, N	1	VU	VU
Busardo ratonero	<i>Buteo buteo</i>	<i>Accipitridae</i>	S, N, I	3	–	–
Abejero europeo	<i>Pernis apivorus</i>	<i>Accipitridae</i>	P	1	–	–
Gavilán común	<i>Accipiter nisus</i>	<i>Accipitridae</i>	S, N, I	2	–	–
Azor común	<i>Accipiter gentilis</i>	<i>Accipitridae</i>	S, N	1	–	–
Cernícalo vulgar	<i>Falco tinnunculus</i>	<i>Falconidae</i>	E, S, N	19	–	–
Cernícalo primilla	<i>Falco naumanni</i>	<i>Falconidae</i>	E, N	27	–	SAH
Halcón peregrino	<i>Falco peregrinus</i>	<i>Falconidae</i>	S, N, I	3	–	–
Esmerejón	<i>Falco columbarius</i>	<i>Falconidae</i>	I	1	–	–
Grulla	<i>Grus grus</i>	<i>Gruidae</i>	I, P	1	–	SAH
Ganga	<i>Pterocles sp.</i>	<i>Pteroclididae</i>	S, N	1	VU	VU
Cuco común	<i>Cuculus canorus</i>	<i>Cuculidae</i>	E, N	1	–	–
Búho real	<i>Bubo bubo</i>	<i>Strigidae</i>	S, N	2	–	–
Mochuelo europeo	<i>Athene noctua</i>	<i>Strigidae</i>	S, N	4	–	–
Chotacabras europeo	<i>Caprimulgus europaeus</i>	<i>Caprimulgidae</i>	E, N	1	–	–
Vencejo común	<i>Apus apus</i>	<i>Apodidae</i>	E, N	5	–	–
Vencejo real	<i>Apus melba</i>	<i>Apodidae</i>	E, N	1	–	–
Cogujada común	<i>Galerida cristata</i>	<i>Alaudidae</i>	S, N	1	–	–

Tabla III. (continuación)

<i>Especie</i>	<i>Nombre científico</i>	<i>Familia</i>	<i>Estatus migratorio</i>	<i>NIAC</i>	<i>RD139</i>	<i>D181</i>
Cogujada montesina	<i>Galerida theklae</i>	<i>Alaudidae</i>	S, N	10	–	–
Alondra totovía	<i>Lullula arborea</i>	<i>Alaudidae</i>	S, N	2	–	–
Calandria común	<i>Melanocorypha calandra</i>	<i>Alaudidae</i>	S, N	10	–	–
Alondra ricotí	<i>Chersophilus duponti</i>	<i>Alaudidae</i>	S, N	1	VU	SAH
Colirrojo tizón	<i>Phoenicurus ochruros</i>	<i>Muscicapidae</i>	S, N, I	1	–	–
Collalba gris	<i>Oenanthe oenanthe</i>	<i>Muscicapidae</i>	E, N	1	–	–
Curruca capirotada	<i>Sylvia atricapilla</i>	<i>Sylviidae</i>	S, N, I	4	–	–
Reyezuelo listado	<i>Regulus ignicapilla</i>	<i>Regulidae</i>	S, N, I	3	–	–
Chova piquirroja	<i>Pyrrhocorax pyrrhocorax</i>	<i>Corvidae</i>	S, N	2	–	VU
Gorrión chillón	<i>Petronia petronia</i>	<i>Passeridae</i>	S, N	1	–	–
Pardillo común	<i>Carduelis cannabina</i>	<i>Fringilidae</i>	S, N, I	5	–	IE
Verdecillo	<i>Serinus serinus</i>	<i>Fringilidae</i>	S, N	1	–	IE
Escribano soteño	<i>Emberiza cirius</i>	<i>Emberizidae</i>	S, N	1	–	–
Escribano triguero	<i>Miliaria calandra</i>	<i>Emberizidae</i>	S, N	7	–	–

Muela II + La Muela III + El Pilar + Aragón + La Carracha (La Muela), presentan un reducido número de colisiones en el periodo estudiado (34), lo que resulta en una tasa de colisión: (0,1). Otros casos que confirman esta ausencia de correlación directa entre el número de aerogeneradores y el de colisiones de aves son los parques eólicos de El Boquerón, con 75 aerogeneradores y solo 8 colisiones (tasa de colisión 0,1), y los parques Planas de Pola, en Tauste y Sierra de la Costera, en Mezquita de Jarque, que presentan un número relativamente alto de aerogeneradores (54 y 48) y una tasa de colisión muy baja (tabla I). Nuestros resultados difieren de otros estudios, en los que se ha detectado una relación positiva entre el número de aerogeneradores y la tasa de colisión (THAXTER y cols., 2017). Estos autores relacionan el tamaño del aerogenerador y la tasa de colisión. A pesar de ello, recomiendan como medida de conservación y gestión priorizar la instalación de turbinas más grandes, capaces de generar más energía, antes que la instalación de un número elevado de aerogeneradores más pequeños.

La ausencia de correlación entre el número de aerogeneradores y una mayor mortalidad por colisión encontrada en nuestro estudio concuerda

con otras investigaciones en donde se priorizan las características del paisaje como variables, que pueden tener mayor magnitud sobre las colisiones que el tamaño de los parques eólicos (MARQUÉS y cols., 2014). Algunos accidentes geográficos, como crestas, pendientes pronunciadas, lagos y valles pueden ser más frecuentemente utilizados por algunas aves. Las crestas y las pendientes abruptas permiten que algunas especies aprovechen las corrientes de aire a gran velocidad. Estas mismas crestas, así como los valles, suelen generar masas de aire caliente ascendente (térmicas) que pueden ser aprovechadas por aves de gran tamaño para tomar altura. Otras zonas, como lagos y valles, son empleadas por las aves como espacios de caza, descanso o migración. Por ello, la instalación de aerogeneradores en estas zonas específicas puede generar un elevado número de colisiones en periodos de tiempo muy cortos (BARRIOS y RODRÍGUEZ, 2004; DREWITT y LANGSTON, 2008; KATZNER y cols., 2012). Es así como algunos estudios han demostrado una alta mortalidad por colisión de halcones en las crestas y los surcos, mientras que la mortalidad del águila real es mayor en aerogeneradores instalados en zonas de laderas (MARQUÉS y cols., 2014).

Teniendo en cuenta todo esto, se recomienda realizar un estudio detallado en cada uno de los parques con mayor tasa de colisión, especialmente en los de La Loba (2,9), Rabosera (2,8), San Juan de Bargas (2,5), Muel (2,3) y La Sotonera (2,3). En ellos se debería estudiar la tasa de colisión de cada uno de sus aerogeneradores, con el fin de determinar cuál o cuáles pueden estar provocando problemas de conservación, y en consecuencia establecer una gestión específica sobre esos aerogeneradores. Es importante tener en cuenta que existen evidencias de que el número de colisiones es mayor que el número de cadáveres encontrados (BARRIOS y RODRÍGUEZ, 2004), por lo que resulta relevante realizar seguimientos continuos y sistemáticos. Incluso se propone instalar cámaras de vídeo en dichos aerogeneradores, ya que algunas veces el ave es golpeada y no cae a los pies del mismo, sino en zonas aledañas, y en otras el ave es rápidamente predada.

Las aves afectadas por colisión

De las 42 especies afectadas durante el periodo de estudio, el 33,3 % pertenece a la familia *Accipitridae*, el 11,9 % a la familia *Alaudidae* y el

9,5 % a la familia *Falconidae*; el resto de las familias presentan porcentajes inferiores al 5 % (tabla III), lo que demuestra que algunas son más sensibles a la colisión que otras. Y es que ciertos rasgos morfológicos de las aves, especialmente los relacionados con el tamaño, influyen en el riesgo de colisión (HERRERA-ALSINA y cols., 2013). Las aves de mayor tamaño, como las de la familia *Accipitridae*, a menudo usan corrientes ascendentes térmicas y orográficas para ganar altitud. Algunos estudios han determinado que la relación entre diferentes variables como el peso, la longitud del ala y de la cola y la longitud total pueden determinar un mayor o menor riesgo de colisión (JANSS, 2000). Aunque al parecer la relación entre el peso corporal y el área del ala (carga alar) es particularmente relevante, ya que influye en el tipo de vuelo (LUCAS y cols., 2008; HERRERA-ALSINA y cols., 2013). Es así como aves con mayor carga alar, como el buitre leonado, presentan mayor incidencia de colisiones con aerogeneradores en los mismos sitios que otras especies con menor carga alar, como pueden ser los busardos ratoneros y las águilas culebreras, y estos a su vez colisionan con mayor frecuencia que otras especies de menor carga alar (BARRIOS y RODRÍGUEZ, 2004). Esta relación directa entre carga alar y mayor incidencia de colisión también puede deberse a la menor maniobrabilidad y versatilidad de vuelo, lo que determina si un ave puede esquivar o escapar de otro individuo u objeto en movimiento lo suficientemente rápido como para evitar una colisión (LUCAS y cols., 2008). Todo esto concuerda con nuestros resultados, en donde la especie más afectada es el buitre leonado, seguida de milanos reales, milanos negros y águilas culebreras, todas estas especies con carga alar alta. Cabe resaltar que Aragón constituye una de las zonas con mayor abundancia de estas especies en España, lo que puede incrementar, por probabilidad, los accidentes con aerogeneradores.

La especie más afectada es el buitre leonado, con un total de 996 individuos (tabla III), lo que supone el 82,1 % del total de las colisiones detectadas en este artículo. Este número de colisiones resulta dramático al compararse con el resto de los incidentes en el resto de las especies; sin embargo, es un resultado que coincide con otras investigaciones en diferentes parques eólicos (LEKUONA, 2001; BARRIOS y RODRÍGUEZ, 2004; LUCAS, 2007; LEKUONA y URSÚA, 2007). Tanto los estudios de BARRIOS y RODRÍGUEZ (2004) llevados a cabo en dos parques eólicos situados en el estrecho de Gibraltar, una zona con un alto paso de aves migratorias, así

como el seguimiento de seis parques en Navarra (LEKUONA, 2001), sitúan al buitre leonado como la especie más afectada, con un porcentaje cercano al 60 %. Dicho porcentaje es inferior al detectado en nuestro estudio, debido probablemente a la alta abundancia de la especie en Aragón, principalmente en las provincias de Huesca y Zaragoza. Aragón cuenta con cerca de 5161 parejas reproductivas, que representan el 15,2 % de la población española, mientras que en Navarra y en Andalucía la abundancia es inferior (2680 y 4305 parejas, respectivamente, lo que supone el 8,7 % y el 13 %) (MORAL y MOLINA, 2018). Algunos estudios han demostrado que la abundancia de una especie no es un buen indicador de la frecuencia de colisión con aerogeneradores (LEKUONA y URSÚA, 2007; LUCAS y cols., 2008). No obstante, estos mismos autores concluyen que en el caso de los buitres leonados y de los milanos parece existir una correlación directa entre las dos variables.

Otras razones que pueden explicar el alto número de colisiones con aerogeneradores del buitre leonado son las siguientes: *i*) la morfología del ave, concretamente su alta carga alar, que implica escasa capacidad de maniobra, y el tipo de vuelo, que supone el uso de corrientes térmicas circulares ascendentes; *ii*) las grandes aves planeadoras tienen una gran capacidad de desplazamiento, que va en función de sus necesidades: alimentación (grandes áreas de búsqueda de presas o de carroña), dormideros, nidificación o dispersión juvenil (MUÑOZ-GALLEGO, 2014); el buitre leonado es capaz de realizar desplazamientos diarios en busca de alimento de hasta 300 kilómetros (MORAL y MOLINA, 2018), lo que le lleva a atravesar parques eólicos con mayor probabilidad que otras especies con una capacidad de vuelo inferior; y *iii*) la presencia de zonas de alimentación suplementaria para la especie (muladares) y de zonas frecuentadas por la especie, como basureros en áreas cercanas a parques eólicos, lo que podría estar favoreciendo la alta tasa de colisión con aerogeneradores (LEKUONA y URSÚA, 2007).

Las 996 colisiones de buitre leonado detectadas en nuestro artículo (tabla III) representan una disminución de la población aragonesa del 12,3 % durante el periodo estudiado. Este valor es alto de por sí, pero más aún si se tiene en cuenta que la población española de buitre leonado supone el 90 % de la población europea y que las comunidades autónomas con mayor abundancia de esta especie, como Castilla y León, Castilla – La Mancha, Aragón, Andalucía y Extremadura (MORAL y MOLINA, 2018), son zonas en

las que hay instalado un elevado número de aerogeneradores (ASOCIACIÓN EMPRESARIAL EÓLICA, 2017). Por todo ello, es muy relevante realizar seguimientos en los parques eólicos con el fin de detectar aerogeneradores que por su ubicación estén provocando una tasa de colisión alta y aplicar medidas correctoras.

En cuanto a las otras especies afectadas de la familia *Accipitridae*, los últimos censos de milano real en las provincias de Huesca y Zaragoza indican cerca de 205 parejas nidificantes (MOLINA, 2015). Los 29 casos detectados durante el periodo de estudio supondrían una reducción de la población de Huesca y Zaragoza de un 7 % si el problema afectase exclusivamente a las parejas nidificantes. Teniendo en cuenta la alta mortalidad de la especie debida a envenenamientos y colisiones con coches, tendidos eléctricos y aerogeneradores, se encuentra en la máxima categoría de amenaza en el *Catálogo español de especies amenazadas* (REAL DECRETO 139/2011) y como “Sensible a la alteración del hábitat” en la Comunidad Autónoma de Aragón (GOBIERNO DE ARAGÓN, 2007).

Los censos de milano negro no son exactos en España, pero se han llegado a contabilizar cerca de 22 000 individuos que migran hacia el norte en los puertos del Somport y Portalet (SEO, 2018). Las colisiones detectadas en este estudio supondrían una reducción poblacional de cerca del 0,1 %, por lo que la colisión con aerogeneradores no estaría constituyendo una presión fuerte sobre la especie. No obstante, el milano negro ha sufrido un gran declive en las últimas décadas (SERGIO y cols., 2019); a pesar de ello, no se encuentra en ninguna categoría de amenaza a nivel nacional o aragonés.

Los censos de águila culebrera en Aragón son antiguos y rondaban las 200 parejas en 1998 (SAMPIETRO y cols., 1998). Teniendo en cuenta esas estimaciones, la reducción por colisión durante el periodo de estudio ha sido de un 4,2 %, lo que muestra una afección grave sobre las poblaciones aragonesas, aún más si se considera que es probable que los tamaños poblacionales hayan decrecido desde 1998. Resulta imprescindible actualizar los censos demográficos de esta especie en España y en Aragón.

La segunda más afectada por colisiones es la familia *Falconidae*, especialmente el cernícalo vulgar y el cernícalo primilla (tabla III). A pesar de tratarse de una familia y de dos especies con carga alar más baja

que el resto de las especies de la familia *Accipitridae*, su tipo de vuelo parece estar incidiendo sobre su alta tasa de colisión. Estas dos especies se caracterizan por mantenerse en vuelo en un mismo punto mientras detectan alguna presa, comportamiento que cerca de aerogeneradores en movimiento puede ser el responsable de la alta tasa de mortalidad. Las colisiones detectadas en el periodo estudiado supondrían una reducción de la población aragonesa relativamente importante para el cernícalo primilla (2,5 %), teniendo en cuenta los censos de 2004 (BOA, 2010). Los censos españoles para el cernícalo vulgar son de aproximadamente 24 000 individuos (MARTÍNEZ-PADILLA, 2016), por lo que la afección por colisión sería muy baja, del 0,07 %. Por último, cabe destacar que el carácter sedentario y colonial de los cernícalos en zonas con aerogeneradores y altas tasas de incidencia de colisión puede convertirse en un problema de conservación serio para dicha población.

La familia *Alaudidae* es la tercera más afectada por colisiones con aerogeneradores, concretamente la cogujada montesina y la calandria común, datos que resultan sorprendentes, ya que se trata de aves muy pequeñas y con vuelos muy ágiles. No obstante, es muy probable que las colisiones ocurran principalmente en primavera y verano, debido al comportamiento que varias especies de alondras exhiben en vuelo en la fase prenupcial, cuando alcanzan una altura muy vertical seguida de un descenso escalonado y una caída abrupta en línea vertical casi hasta el suelo. Este comportamiento puede estar favoreciendo esta incidencia de colisiones. Teniendo en cuenta que los tamaños poblacionales, tanto de la cogujada montesina como de la calandria común, superan el millón de individuos en Aragón (CARRASCAL y PALOMINO, 2008), el número de colisiones detectados en el periodo estudiado no constituye ningún problema de conservación para la especie.

El sesgo de muestreo

Los resultados indican que el buitre leonado es la especie más afectada y que las rapaces son el grupo con mayor colisión, al ser las especies más halladas. Sin embargo, no es posible determinar si especies más pequeñas estarán presentando una alta colisión con aerogeneradores y esta no habrá sido detectada. Este sesgo puede deberse a varias razones: *i*) un cadáver de ave rapaz en general, y de buitre en particular, resulta mucho

menos apetecible que los de otras aves para depredadores como los zorros, por lo que su permanencia en el campo es superior al de otras especies; *ii*) una presencia alta de carnívoros en los parques eólicos, que rápidamente predan las especies afectadas; en los últimos años se viene detectando un aumento de la densidad de zorros en el entorno de los parques eólicos, ya que aprenden pronto que los aerogeneradores suponen una fuente de alimento; *iii*) el tamaño del ave es proporcional al tiempo que permanece en el campo y, por tanto, a la probabilidad de hallarla (BARRIOS y RODRÍGUEZ, 2004). En el caso de que el zorro u otros carnívoros, córvidos e incluso otros buitres preden sobre los cadáveres, los restos de buitre leonado tienen un volumen y un peso suficientes como para que casi siempre permanezca algo en el campo. Sin embargo, las aves de peso inferior al kilogramo son muy fáciles de ser transportadas fuera del área de estudio y, las especies más pequeñas, ser ingeridas de inmediato sin dejar rastro. Algunos estudios han demostrado que el 90 % de los cadáveres de los paseriformes no permanecen en el campo más de 24 horas (LEKUONA, 2001). Por todo lo anterior, es muy probable que la alta siniestralidad en buitres leonados sea solo la punta del iceberg y detrás de esto haya muchas más especies afectadas y en mayor número.

Recomendaciones

La compatibilidad de la energía eólica con la avifauna puede ser posible, siempre y cuando se tomen una serie de medidas preventivas. Existen varias opciones para disminuir el impacto de los parques eólicos: *i*) la instalación de nuevos parques y aerogeneradores debería ir precedida de un estudio detallado del comportamiento de las aves en el lugar de instalación, lo que permitiría mejorar su diseño, minimizando la mortalidad de aves por colisión; *ii*) es relevante desarrollar programas de detección de colisiones en los parques eólicos con el fin de identificar aerogeneradores que puedan estar provocando una alta tasa de mortalidad, y en este sentido se recomienda realizar prospecciones frecuentes, ya que existe una probabilidad mayor de depredación de las aves más pequeñas y palatables; *iii*) los aerogeneradores se pueden hacer más visibles para las aves, y de hecho algunos estudios han mostrado una disminución en la tasa de mortalidad al pintarlos con colores más vistosos o con patrones que han mostrado ser efectivos

(ondas cuadradas blancas y negras que cubran el aspa en su totalidad; McISAAC 2001); *iv*) la instalación de dispositivos que impidan que las aves se posen sobre las torres de los aerogeneradores, y *v*) la instalación de módulos de detección y prevención de colisiones como el DTBird (Liquen Consultoría Ambiental, S. L.) en los aerogeneradores con mayor incidencia de colisiones. Se trata de un sistema automático capaz de detectar aves en los 360 grados del aerogenerador a una distancia máxima de 600 metros; si el ave se acerca demasiado, el DTBird emite sonidos de advertencia. En el caso de que los sonidos sean ignorados por el ave, el mecanismo realiza automáticamente la parada y la reactivación del aerogenerador en función del riesgo de colisión en tiempo real.

Aunque en los parques eólicos españoles se han propuesto varias medidas correctoras, la eficacia de la mayoría de ellas apenas ha sido contrastada. El diseño de estas medidas y la comprobación de su eficacia deben ser específicos para cada parque; ya existen variables diversas como la geografía del terreno, la abundancia de especies y la composición de especies presentes en la zona que hacen que cada parque obedezca a una casuística diferente, lo que implica estudios individualizados y medidas correctoras diferentes (JOHNSON y cols., 2007). Teniendo en cuenta el escaso número de informes e investigaciones sobre colisiones de avifauna en parques eólicos españoles y aragoneses, se puede concluir que queda mucho por hacer en este campo de la gestión.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Gobierno de Aragón y al Centro de Recuperación de Fauna Silvestre La Alfranca la aportación de los datos empleados para la realización de esta investigación. A Beatriz La Cruz, su ayuda en algunos apartados de la investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASOCIACIÓN EMPRESARIAL EÓLICA (2017). *Eólica 2017*. Disponible en <https://www.aeeolica.org/uploads/AEE_ANUARIO_17_web.pdf>.
- ATIENZA, J. C., I. MARTÍN-FIERRO, O. INFANTE, J. VALLS y J. DOMÍNGUEZ (2011). *Directrices para la evaluación del impacto de los parques eólicos en aves y murciélagos (versión 3.0)*. SEO/BirdLife. Madrid.

- BARRIOS, L., y A. RODRÍGUEZ (2004). Behavioral and environmental correlates of soaring-bird mortality at on-shore wind turbines. *Journal of Applied Ecology*, 41: 72-81.
- BOLETÍN OFICIAL DE ARAGÓN (2010). Decreto 233/2010, de 14 de diciembre, del Gobierno de Aragón, por el que se establece un nuevo régimen de protección para la conservación del cernícalo primilla (*Falco naumanni*) y se aprueba el plan de conservación de su hábitat.
- CARRASCAL, L. M., y D. PALOMINO (2008). *Las aves comunes reproductoras en España. Población en 2004-2006*. SEO/BirdLife. Madrid.
- DREWITT, A. L., y R. H. W. LANGSTON (2008). Collision effects of wind-power generators and other obstacles on birds. *Annals New York Academy of Science*, 1134: 233-266.
- GOBIERNO DE ARAGÓN (2007). *Catálogo de especies amenazadas de Aragón*. Departamento de Medio Ambiente. Zaragoza.
- HERRERA-ALSINA, L., R. VILLEGAS-PATRACA, L. E. EGUIARTE y H. T. ARITA (2013). Bird communities and wind farms: A phylogenetic and morphological approach. *Biodiversity Conservation*, 22: 2821-2836.
- JANSS, G. F. E. (2000). Avian mortality from power lines: A morphologic approach of a species-specific mortality. *Biology Conservation*, 95: 353-359.
- JOHNSON, G. D., M. D. STRICKLAND, W. P. ERICKSON y J. R. YOUNG (2007). Uso de datos para desarrollar medidas correctoras del impacto sobre las aves provocado por la instalación de parques eólicos. En M. D. Lucas, G. Janss y M. Ferrer (eds.), *Birds and wind farms: risk assessment and mitigation*. Quercus. Madrid.
- KATZNER, T. E., D. BRANDES, T. MILLER, M. LANZONE, C. MAISONNEUVE, J. A. TREMBLAY, R. MULVIHILL y G. T. MEROVICH. (2012). Topography drives migratory flight altitude of golden eagles: Implications for on-shore wind energy development. *Journal of Applied Ecology*, 49: 1178-1186.
- LEKUONA, J. M. (2001). *Uso del espacio por la avifauna y control de la mortalidad de aves y murciélagos en los parques eólicos de Navarra durante un ciclo anual*. Dirección General de Medio Ambiente. Gobierno de Navarra. Pamplona.
- LEKUONA, J. M., y C. URSÚA (2007). Avian mortality in wind power plants of Navarra (Northern Spain). En M. D. Lucas, G. Janss y M. Ferrer (eds.), *Birds and wind farms: Risk assessment and mitigation*. Quercus. Madrid.
- LUCAS, M. de, G. F. E. JANSS y M. FERRER (2007). *Birds and wind farms: Risk assessment and mitigation*. Quercus. Madrid. 275 pp.
- LUCAS, M. de, G. F. E. JANSS, D. P. WHITFIELD y M. FERRER (2008). Collision fatality of raptors in wind farms does not depend on raptor abundance. *Journal of Applied Ecology*, 45: 1695-1703.
- MARQUÉS, A. T., H. BATALHA, S. RODRIGUES, H. COSTA, M. J. RAMOS PEREIRA, C. FONSECA, M. MASCARENHAS y J. BERNARDINO (2014). Understanding bird collisions at wind farms: An updated review on the causes and possible mitigation strategies. *Biological Conservation*, 179: 40-52.

- MARTÍNEZ-PADILLA, J. (2016). Cernícalo vulgar – *Falco tinnunculus*. En A. Salvador y M. B. Morales (eds.), *Enciclopedia virtual de los vertebrados españoles*. Museo Nacional de Ciencias Naturales. Madrid.
- MCISAAC, H. P. (2001). Raptor acuity and wind turbine blade conspicuity. *Proceedings of National Avian-Wind Power Planning Meeting*, IV: 59-87.
- MOLINA, B. (2015). *El milano real en España. III Censo Nacional. Población invernante y reproductora en 2014 y método de censo*. SEO/BirdLife. Madrid.
- MORAL, J. C. del, y B. MOLINA (2018). *El buitre leonado en España, población reproductora en 2018 y método de censo*. SEO/BirdLife. Madrid.
- MUÑOZ-GALLEGO, A. R. (2014). Infraestructuras energéticas y conservación de la diversidad biológica: el caso de los parques eólicos y los tendidos eléctricos. *Jábega*, 106: 47-59.
- REAL DECRETO 139/2011, de 4 de febrero, para el desarrollo del Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y del Catálogo Español de Especies Amenazadas.
- SAMPIETRO, F. J., E. PELAYO, F. HERNÁNDEZ, M. CABRERA y J. GUIRAL (1998). *Aves de Aragón: atlas de especies nidificantes*. Diputación General de Aragón/Ibercaja. Zaragoza.
- SAWIN, J. L. (2016). *Energías renovables 2016: reporte de la situación mundial*. Disponible en <<https://cutt.ly/7kjERoB>>.
- SERGIO, F., A. TANFERNA, J. CHICANO, J. BLAS, G. TAVECCHIA y F. HIRALDO (2019). Protected areas under pressure: Decline, redistribution, local eradication and projected extinction of a threatened predator, the red kite, in Doñana National Park, Spain. *Endangered Species Research*, 38: 189-204 (DOI: 10.3354/esr00946).
- SOCIEDAD ESPAÑOLA DE ORNITOLOGÍA (SEO) (2018). *Más de 20 000 milanos negros protagonizan el paso migratorio de aves por Aragón*. Disponible en <<https://cutt.ly/PkjYPYo>>.
- STEWART, G. B., A. S. PULLIN y C. F. COLES (2005). Effects of Wind Turbines on Bird Abundance (systematic review). CEE review 04-002 (SR4). *Collaboration for Environmental Evidence review: 04-002 (SR4)*. Disponible en <<https://cutt.ly/KkjE28Q>>.
- TALAYERO-NAVALES, A. P., y E. TELMO-MARTÍNEZ (2011). *Energía eólica*. Prensas de la Universidad de Zaragoza (Colección de Textos Docentes; Serie energías renovables, 140). Zaragoza.
- THAXTER, C. B., G. M. BUCHANAN, J. CARR, H. STUART, M. BUTCHART, T. NEWBOLD, R. E. GREEN, J. A. TOBIAS, W. B. FODEN, S. O'BRIEN y J. W. PEARCE-HIGGINS (2017). Bird and bat species global vulnerability to collision mortality at wind farms revealed through a trait-based assessment. *Proceedings of the Royal Society B*, 284 (1862) (DOI: 10.1098/rspb.2017.0829).