

#### Cómo citar este artículo:

González Jiménez, Germán. "Vigilancia ambiental en los parques eólicos: importancia de la retroalimentación en el programa de vigilancia a nivel local". *Almoraima. Revista de Estudios Campogibraltareños*, 47, septiembre 2017. Algeciras. Instituto de Estudios Campogibraltareños, pp. 259-272.

Recibido: enero de 2014

Aceptado: febrero de 2014

# VIGILANCIA AMBIENTAL EN LOS PARQUES EÓLICOS: IMPORTANCIA DE LA RETROALIMENTACIÓN EN EL PROGRAMA DE VIGILANCIA A NIVEL LOCAL

*Germán González Jiménez* / Instituto de Estudios Campogibraltareños.

## RESUMEN

El trabajo de los vigilantes ambientales en un parque eólico, supone la expresión más directa de la ejecución de un programa de vigilancia ambiental. Una labor que garantiza el cumplimiento de las medidas protectoras y correctoras contenidas en el Plan de Vigilancia Ambiental. Para satisfacer dicha expectativa, el trabajo de campo debe cumplir dos funciones: por un lado actuar de forma preventiva disminuyendo de forma efectiva el impacto de los aerogeneradores sobre las aves y por otro proporcionar mediante el análisis de la información recogida, una retroalimentación que contribuya a mejorar el sistema de vigilancia.

De acuerdo con la segunda premisa, el presente trabajo pretende contribuir en la mejora de la vigilancia, tratando de dar respuesta a dos cuestiones básicas: 1º ¿Existen patrones de máxima actividad en el uso del espacio? y 2º ¿Utilizan las aves líneas de vuelo predecibles?

Para responder a ambas cuestiones se han analizado los registros obtenidos durante dos temporadas (2012/13 y 2013/14) en dos parques eólicos localizados entre la sierra de la Plata y la del Retín; una de las zonas de la provincia de Cádiz con mayor densidad de aerogeneradores instalados. Los resultados obtenidos permiten mejorar de forma sistemática el esfuerzo empleado durante la vigilancia ambiental, incrementando la atención durante las horas de máxima actividad, según el periodo estacional y prediciendo el movimiento de las aves en función de las condiciones ambientales.

**Palabras claves:** parques eólicos, vigilancia ambiental, retroalimentación.

## ABSTRACT

The work of environmental monitoring on a wind farm is the most direct indicator of the execution of an environmental program. A work that ensures fulfilment of the protective and corrective measures contained in the Environmental Monitoring Plan. To meet this expectation, the fieldwork must fulfil two functions: On the one hand it must act preventively reducing the impact of wind turbines on birds and on the other hand provide via analysis, the gathered information, as feedback that contributes to improving the monitoring system.

According to the second premise, this paper aims to contribute in improving environmental surveillance, trying to answer two priority issues: 1. Are there peak patterns of maximum activity in the use of area? And 2., do the birds use predictable flying paths?.

To answer both questions the records obtained during two seasons have been analysed (2012/13) and (2013/14) in two wind farms located between the Sierra de la Plata and Retin; one of the areas of the Cádiz province with the highest density of installed wind turbines. The results obtained allow to improve systematically the effort spent on the environmental monitoring, increasing attention during peak hours of activity, depending on the time and predicting the movement of the birds according to the environmental conditions.

**Keys words:** wind farms, environmental monitoring, feedback.

## INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista de la biología de la conservación, han sido numerosos los estudios realizados en la última década dentro de los parques eólicos. La realización de estos trabajos se ha centrado, por citar algunos ejemplos, en evaluar: el impacto de los parques eólicos sobre las aves (Drewitt y Langston, 2006; Noguera *et al.*, 2010), analizar las causas que originan la mortalidad (Barrios & Rodríguez, 2009; Chamberlain *et al.*, 2006; De Lucas *et al.*, 2008, Carrete *et al.*, 2012) o en valorar los riesgos que supone la instalación y sus posibles atenuantes (De Lucas *et al.*, Eds., 2009). El objeto de todos, ha sido centrar los esfuerzos en realizar estudios predictivos sobre la incidencia potencial del parque eólico sobre la fauna; de forma que éstos permitieran atenuar los efectos adversos de la generación de energía eólica. Una energía renovable que contribuye a mitigar el preocupante efecto invernadero: “Según información del Global Wind Energy Council, los 97 GW operativos en 2007 evitaron esparcir en la atmósfera 122 x 106 de toneladas de CO<sub>2</sub>” (Domínguez *et al.*, 2010).

En la práctica, para reducir los efectos negativos, ha resultado fundamental establecer directrices que permitan evaluar previamente el impacto de los parques sobre aves y quirópteros (Atienza *et al.*, 2012). De ésta forma la evaluación del estudio de impacto ambiental, se ha convertido en la principal herramienta legal para prevenir los efectos negativos sobre los recursos naturales, integrando la conservación de éstos recursos con el desarrollo socio-económico (Martínez *et al.*, 2003).

El avance en el conocimiento científico ha permitido cierto progreso en la evaluación de impacto de los proyectos, no obstante después de dos décadas de crecimiento exponencial en la potencia eólica instalada, el impacto sobre la aves sigue siendo una controvertida consecuencia (Cifuentes, 2013). El índice de siniestralidad de las aves rapaces resulta especialmente alarmante a pesar de tener una importancia crítica en las evaluaciones de impacto ambiental (Martínez *et al.*, 2003). El ser especies relativamente grandes, escasas y con bajas tasas de reproducción provoca que sus poblaciones sean vulnerables a la mortalidad por causas humanas (Sterner *et al.*, 2009).

El plan de vigilancia *per se*, supone la expresión más directa en la ejecución del programa de vigilancia ambiental durante la fase de funcionamiento de un parque eólico. El seguimiento ambiental es llevado a cabo por personal especializado, capacitado para detectar e interpretar vuelos de riesgo que requieran la parada de una o varias máquinas. El técnico debe

dar aviso al centro de control del parque, para que de forma inmediata se proceda a parar las máquinas que puedan originar una colisión. La finalidad es reducir situaciones de riesgo para las aves que puedan verse afectadas por el funcionamiento de los aerogeneradores, garantizando el cumplimiento de las indicaciones y medidas protectoras y correctoras contenidas en el estudio de impacto ambiental.

Para satisfacer dicha expectativa el plan de vigilancia debería cumplir dos funciones: 1º) actuar de forma preventiva disminuyendo de forma efectiva la siniestralidad; y 2º) proporcionar mediante el análisis de la información recogida una retroalimentación que contribuya a mejorar el sistema de vigilancia. Este *feedback* debe ser considerado como parte del programa de vigilancia y en la medida de lo posible, contribuir en estudios a micro-escala (nivel local) a mejorar la operatividad diaria en la ejecución de las instrucciones de la Junta de Andalucía (2009), para la vigilancia ambiental en los parques de la provincia de Cádiz.

Con este fin, el trabajo pretende fortalecer la vigilancia ambiental de la zona de estudio, dando respuesta a dos cuestiones básicas: ¿existen patrones temporales de actividad? y ¿utilizan las especies conductas de vuelo predecibles? Para responder a estas cuestiones, se ha analizado la variación de actividad de las aves en el uso del espacio, con el fin de determinar si existen periodos de máxima afluencia de aves y se ha determinado el comportamiento de vuelo específico en función de: las condiciones ambientales, el patrón de vuelo y las estrategias (altura y distancia) de cruce.



**Figura 1.** Localización de la zona de estudio. En la orto-imagen (Google Earth, 2015) se indican las alineaciones de máquinas y el número de turbinas.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Área de estudio

El estudio se ha realizado en el término municipal de Tarifa (Cádiz) en dos parques eólicos de 40 MW de potencia, generada por 20 turbinas situadas sobre torres de tipo tubular de 84 metros de altura y palas de 35 metros de longitud. Los aerogeneradores se distribuyen sobre una superficie de 2,5 km<sup>2</sup>, con una equidistancia entre máquinas de 212,6 ± 49,6 metros.

Geográficamente, los parques se sitúan en una zona de la provincia de Cádiz con una de las más altas concentraciones de aerogeneradores (Agencia Andaluza de la Energía, 2014). En 65 km<sup>2</sup> se han contabilizado 322 aerogeneradores, con distribución contagiosa en hileras en función de la orografía; aproximadamente 5,1 turbinas/Km<sup>2</sup>.

La zona (figura.1), al suroeste de la depresión de la Janda (Cádiz), se localiza entre las sierras de la Plata al este (458 m s.n.m) y del Retín al oeste (316 m s.n.m). Se incluye dentro de la provincia biogeográfica Tingitano-Onubo-Algarviense (Galán *et al.*, 2003). Su fisonomía es la de un área constituida por una serie de cerros de pequeña altura de 81±34 m s.n.m, dedicados a la explotación agropecuaria con cultivos rotatorios de cereales y años de barbecho, en los que pasta el ganado. La vegetación no ha variado prácticamente en los últimos 85 años (ver p.ej.: Ceballos & Martí, 1930) y está formada por matorral esclerófilo-termófilo típico de zonas con explotación ganadera, con dominio de: palmito *Chaemaerops humilis* Linneo, 1753 y erguén *Calicotome villosa* Link, 1808, en pequeños rodales sobre pastizales y con una importante presencia de especies resistentes al pastoreo: cardos *Cynara humilis* Linneo, 1753, cardo blanquillo *Galactites tomentosa* (Moench 1794) y cardillo o tagarina *Scolymus hispanicus* Linneo, 1753. El estrato herbáceo es pobre y xerófilo en el que destaca por su abundancia las liliáceas como *Asphodelus ramosus* Linneo, 1753.

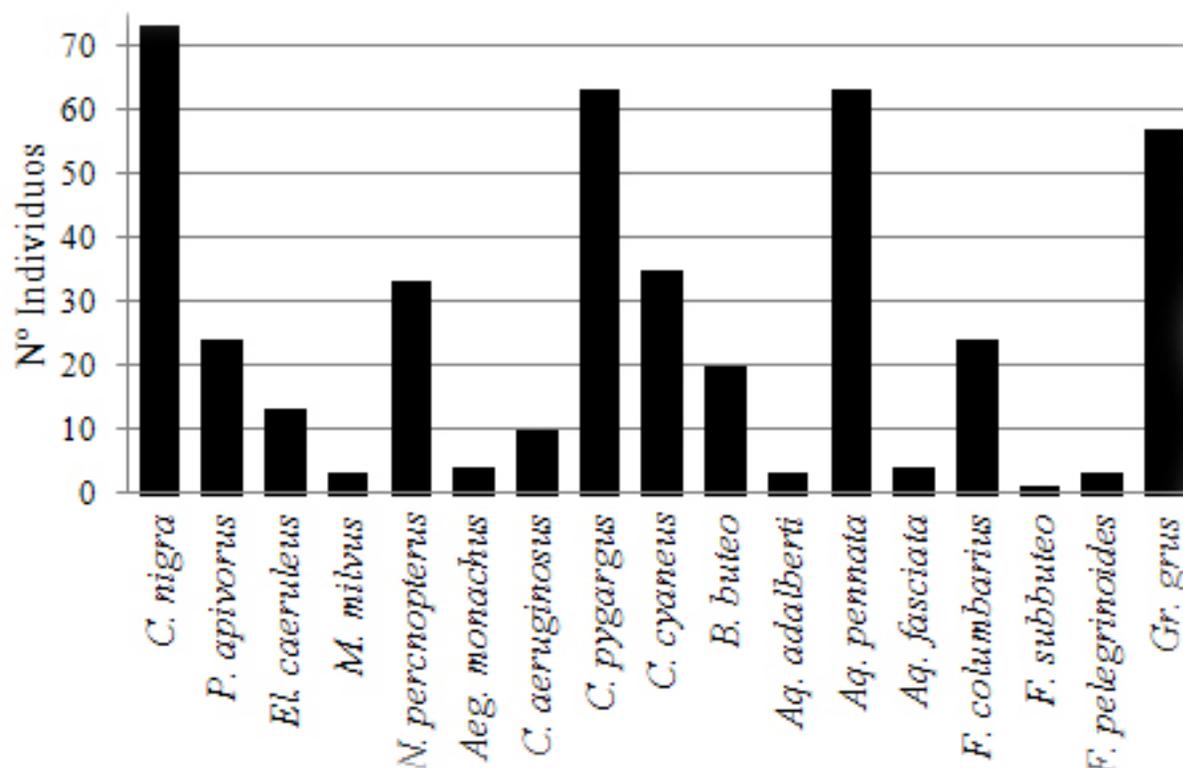


Figura 2. Frecuencias de especies relativamente escasa. Años 2012/14.

### Censos de avifauna

Se han llevado a cabo registros diarios de actividad, mediante observación directa desde puntos elevados, para determinar: los patrones de movimiento y caracterizar el vuelo de las aves en relación con los aerogeneradores que estaban siendo objeto de la vigilancia ambiental. Éste método presenta algunas limitaciones, como el grado de detección y/o la distancia a la que puede ser localizada un ave en función de su tamaño o del contraste que ofrece contra el cielo (Tellería, 1981); o bien errores de paralaje de la posición relativa de un ave en vuelo respecto a la posición de los aerogeneradores. Para reducir tales efectos se ha realizado un entrenamiento previo para: sistematizar el trabajo de campo, estandarizar el registro de datos y ganar experiencia en la detección y posicionamiento de las aves dentro de los parques.

En total, se han invertido 286 jornadas de muestreo, distribuidas uniformemente  $12 \pm 1,6$  días/mes, a lo largo de dos temporadas de estudio 2012/3 y 2013/4. La jornada de observación se corresponde con el horario de la labor de vigilancia establecido por la Junta de Andalucía (2009), por lo que el número de horas de muestreo diario  $10,6 \pm 1,3$  horas/día, ha variado en función de la estacionalidad oscilando entre 9 y 12 horas, con el fin de ajustarse al horario de actividad de las aves, especialmente de aquellas más sensibles.

Los censos de actividad se han realizado de forma continuada a lo largo de toda la jornada, registrando: variables generales “día y hora solar”, condiciones ambientales “dirección y velocidad de viento”, parámetros poblacionales “especie y número de individuos”, patrones de vuelo “directos sin cambios de rumbo, campeo en busca de alimento pueden incluir lances o cernidos, cicleo o vuelos circulares para ganar altura aprovechando corrientes térmicas, sedimentados bien sea en el suelo o sobre atalayas e interacciones de agresión inter-específicas” y estrategias de vuelo “entendiendo éstas como la altura de vuelo y la distancia respecto al aerogenerador más cercano”.

En el análisis de la información se ha diferenciado “numero de registros” de “número de individuos de una especie”; entendiéndose que a efectos de la vigilancia ambiental el riesgo de una especie depende tanto del número de registros realizados, como de la abundancia “número de individuos contabilizados” Para evitar la redundancia se ha estimado objetivamente el número mínimo de individuos probables.

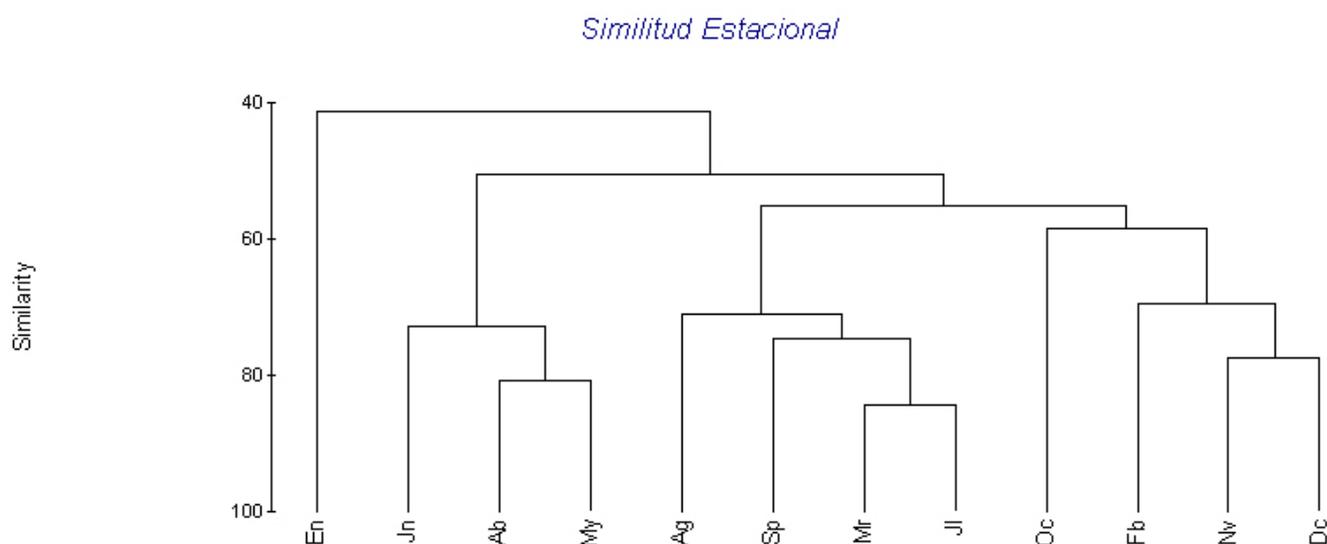


Figura 3. Dendrograma de afinidad específica. Comparación mensual.

VIGILANCIA AMBIENTAL EN LOS PARQUES EÓLICOS: IMPORTANCIA DE LA RETROALIMENTACIÓN  
EN EL PROGRAMA DE VIGILANCIA A NIVEL LOCAL  
Germán González y otros

Nombre Científico	Distribución fenológica años 2012-2014												Σ	f(x)
	Oc	Nv	Dc	En	Fb	Mr	Ab	My	Jn	Jl	Ag	Sp		
<i>Ciconia nigra</i>	16	1	9		9							38	73	0,66
<i>Ciconia ciconia</i>	34	257	402		259	284	21	27	2	213	919	898	3.316	30,05
<i>Pernis ptilorhynchus</i>	14	1										9	24	0,22
<i>Elanus caeruleus</i>			2	7	2	2							13	0,12
<i>Milvus migrans</i>	22	1			65	479	1	33		332	2.258	296	3.487	31,60
<i>Milvus milvus</i>		2										1	3	0,03
<i>Neophron percnopterus</i>					2	7	4	4	4	4	6	2	33	0,30
<i>Gyps fulvus</i>	1.306	747	247	76	110	180	126	97	61	64	120	76	3.210	29,09
<i>Aegyptus monachus</i>		3	1										4	0,04
<i>Circus gallicus</i>	20	6	7	1	3	30	23	20	22	31	31	37	231	2,09
<i>Circus aeruginosus</i>	3					1		1		1		4	10	0,09
<i>Circus pygargus</i>	2					4	10	5	1	11	20	10	63	0,57
<i>Circus cyaneus</i>		3	10	7	5	9	1						35	0,32
<i>Buteo buteo</i>	2	2	4	2	1		2				2	5	20	0,18
<i>Aquila adalberti</i>			1	1	1								3	0,03
<i>Aquila pennata</i>	11	1	2			2	1	2	6	8	8	22	63	0,57
<i>Aquila fasciata</i>			1	1			1	1					4	0,04
<i>Falco tinnunculus</i>	39	35	34	25	28	32	24	13	22	40	29	37	358	3,24
<i>Falco columbartus</i>	5	4	4	4		3						4	24	0,22
<i>Falco subbuteo</i>							1						1	0,01
<i>Falco pelegrinoides</i>			1		1						1		3	0,03
<i>Grus grus</i>	14	4	5	34									57	0,52
	1.488	1.067	730	158	486	1.033	215	203	118	704	3.394	1.439	11.035	100

Tabla 1. Número de aves observadas. Distribución mensual.

De acuerdo con el programa de seguimiento (Junta de Andalucía, 2009), se han registrado diariamente la presencia de cigüeñas, rapaces diurnas y grullas, observadas dentro del área de influencia de los generadores. Para valorar el nivel de importancia de las especies que habitualmente hacen uso del espacio, se ha atendiendo a criterios: internacionales de especie prioritaria (De Juana, 1992), nacionales *Libro rojo de las aves de España* (Madroño *et al.*, 2004) y regionales *Libro rojo de los vertebrados amenazados de Andalucía* (Franco & Rodríguez, 2001).

### Análisis de datos

En relación con las especies registradas, se ha analizado la abundancia absoluta como número total de aves censadas, y la frecuencia relativa como el porcentaje respecto al total de especies detectadas en los censos. La semejanza estacional se ha analizado mediante un dendrograma de similitud, obtenido con el programa PRIMER-5 (v 5.2.8), mediante análisis clúster de la distribución fenológica de ambas temporadas.

El número de registros de aves en función de la franja horaria (hora UTC), se ha utilizado para determinar los patrones temporales de actividad, entendiendo que éste refleja la intensidad del uso del espacio, aportando un perfil de las franjas horarias más críticas para la siniestralidad potencial. Para profundizar en los patrones temporales se ha tenido en cuenta que el aumento de la luminosidad del fotoperiodo alarga el ritmo circadiano endógeno de los animales diurnos (Martín, 2005), por ello se han estudiado dos etapas en función de si la duración de las horas de luz aumentan o disminuyen, estableciéndose dos períodos en función del fotoperiodo (fp): PI enero a junio ( $\Delta fp +$ , crecen) y PII de julio a diciembre ( $\Delta fp -$ , decrecen). Para analizar los datos se ha comprobado: si existen diferencias interanuales y/o entre los periodos establecidos. Para ello se ha realizado sendos contrastes bilaterales de medias, t-Student con un nivel de significación  $\alpha = 0,05$ .

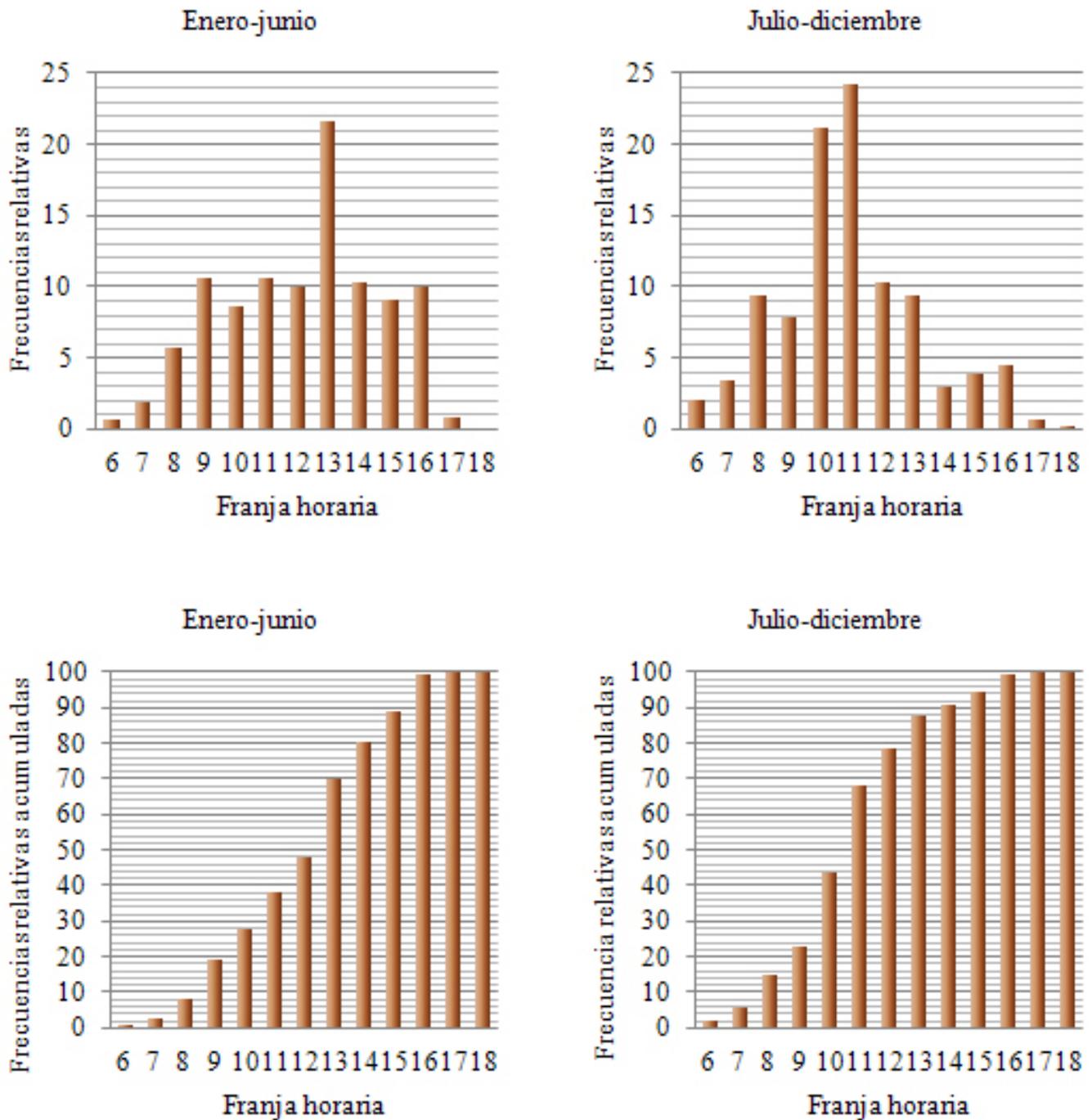


Figura 4. Patrones horarios en función de los periodos establecidos por el fotoperiodo.

VIGILANCIA AMBIENTAL EN LOS PARQUES EÓLICOS: IMPORTANCIA DE LA RETROALIMENTACIÓN  
EN EL PROGRAMA DE VIGILANCIA A NIVEL LOCAL  
Germán González y otros

Nombre Científico	Distribución fenológica años 2012-2014												Σ	f(x)
	Oc	Nv	Dc	En	Fb	Mr	Ab	Mj	Jn	Jl	Ag	Sp		
<i>Ciconia nigra</i>	16	1	9		9							38	73	0,66
<i>Ciconia ciconia</i>	34	257	402		259	284	21	27	2	213	919	898	3.316	30,05
<i>Pernis ptilorhynchus</i>	14	1										9	24	0,22
<i>Elanus caeruleus</i>			2	7	2	2							13	0,12
<i>Milvus migrans</i>	22	1			65	479	1	33		332	2.258	296	3.487	31,60
<i>Milvus milvus</i>		2										1	3	0,03
<i>Neophron percnopterus</i>					2	7	4	4	4	4	6	2	33	0,30
<i>Gyps fulvus</i>	1.306	747	247	76	110	180	126	97	61	64	120	76	3.210	29,09
<i>Aegyptus monachus</i>		3	1										4	0,04
<i>Circaetus gallicus</i>	20	6	7	1	3	30	23	20	22	31	31	37	231	2,09
<i>Circus aeruginosus</i>	3					1		1		1		4	10	0,09
<i>Circus pygargus</i>	2					4	10	5	1	11	20	10	63	0,57
<i>Circus cyaneus</i>		3	10	7	5	9	1						35	0,32
<i>Buteo buteo</i>	2	2	4	2	1		2				2	5	20	0,18
<i>Aquila adalberti</i>			1	1	1								3	0,03
<i>Aquila pennata</i>	11	1	2			2	1	2	6	8	8	22	63	0,57
<i>Aquila fasciata</i>			1	1			1	1					4	0,04
<i>Falco tinnunculus</i>	39	35	34	25	28	32	24	13	22	40	29	37	358	3,24
<i>Falco columbartus</i>	5	4	4	4		3						4	24	0,22
<i>Falco subbuteo</i>							1						1	0,01
<i>Falco pelegrinoides</i>			1		1						1		3	0,03
<i>Grus grus</i>	14	4	5	34									57	0,52
	1.488	1.067	730	158	486	1.033	215	203	118	704	3.394	1.439	11.035	100

Tabla 2. Número de registros por días y horas de observación. Tasa de vuelo mensual.

Para caracterizar los vuelos se han seleccionado por su abundancia y/o incidencia en parques eólicos de la provincia de Cádiz tres especies: *Gyps fulvus*, *Circaetus gallicus* y *Falco tinnunculus*. En total se han analizado 476 vuelos, distribuidos durante 2012/3 de forma uniforme cuando su presencia a lo largo del año lo ha permitido (15 vuelos x especie x mes). La conducta de vuelo se ha caracterizado por tres variables: rumbo, patrón y estrategia de vuelo. La relación entre rumbo y dirección de viento, se ha analizado mediante una grafica radial, contrastando su resultado, con el coeficiente de correlación de Pearson para un nivel de significación del 0,01. Para comprobar si las observaciones realizadas sobre los patrones de vuelos tienen alguna dependencia con la dirección del viento se ha realizado una  $\chi^2$  de Pearson.

La estrategia de vuelo se ha analizado estudiando para cada especie, la frecuencia relativa de aves observadas en relación con la altura de vuelo ( $a \leq 60$  m.,  $60 \text{ m.} < b \leq 120$  m. y  $c > 120$  m.) y la distancia al aerogenerador más cercano ( $a \leq 100$  m.,  $100 \text{ m.} < b \leq 200$  m. y  $C > 200$  m.). La altura de vuelo se ha establecido en función de la altura de la torre y la longitud de las aspas. El aerogenerador crea tres zonas de diferente riesgo, una zona entre el suelo y la punta del aspa, cuando se encuentra próxima a la superficie terrestre perpendicular al suelo, una segunda zona que se corresponde con la zona de barrido de las aspas y la tercera zona por encima de la punta del aspa cuando está se encuentra en su punto más alejado del suelo y perpendicular al mismo. La distancia de riesgo, se ha establecido en función de las instrucciones de la Junta de Andalucía (2009).

Para comprobar si la varianza obtenida entre patrones de vuelo y estrategias utilizadas, se debían a diferentes comportamientos específicos, se comprobó en primer lugar la similitud de las varianzas aplicando una prueba de homogeneidad (Fowler & Cohen, 1999) para posteriormente realizar un análisis de la varianza ( $n = 26$ ;  $p < 0,02$ ).

## RESULTADOS

### Análisis específico

Se han registrado: 17.914 vuelos, contabilizándose 11.035 individuos de 22 especies distintas (tabla 1), pertenecientes a tres grupos taxonómicos: Ciconiformes (2 sp.), Falconiformes (19 sp.) y Gruiformes (1 sp.).

De las especies, seis se encuentran a nivel regional en peligro de extinción: cigüeña negra *Ciconia nigra*, milano real *Milvus milvus*, alimoche común *Neophron percnopterus*, buitre negro *Aegypius monachus*, aguilucho lagunero *Circus aeruginosus* y águila imperial ibérica *Aquila adalberti*; cuatro presenta poblaciones vulnerables: elanio común *Elanus caeruleus*, aguilucho cenizo *Circus pygargus*, águila perdicera *Aquila fasciata* y halcón peregrino *Falco peregrinus*; dos presentan datos insuficientemente conocidos: esmerejón *Falco columbarius* y alcotán europeo *Falco subbuteo*; una presenta riesgo menor “casi amenaza”: grulla común *Grus grus* y nueve no presentan riesgos: cigüeña blanca *Ciconia ciconia*, abejero europeo *Pernis apivorus*, milano negro *Milvus migrans*, buitre leonado *Gyps fulvus*, culebrera europea *Circaetus gallicus*, aguilucho pálido *Circus cyaneus*, busardo ratonero *Buteo buteo*, águila calzada *Hieraetus pennata* y cernícalo vulgar *Falco tinnunculus*.

La diversidad registrada pone de manifiesto el valor ecológico de la zona y proporciona un valor añadido a la vigilancia ambiental. Con la vigilancia de algunas especies como cigüeñas, buitres o águilas culebreras, que actúan como “especies paraguas”, se contribuye a la protección de otras especies de mayor valor ecológico (Simberloff, 1998), cuya conservación resulta prioritaria a todos los niveles como el águila imperial o el buitre negro.

En relación con la abundancia específica, se pueden establecer tres grupos. - El primero estaría formado por tres especies: “*C. ciconia*, *M. migrans* y *G. fulvus*” que aglutinan el 91 % de los individuos censados, sus efectivos aumentan exponencialmente durante los pasos migratorios, diluyendo estadísticamente la presencia del resto de las aves. - Un segundo grupo formado por dos especies: “*C. gallicus* y *F. tinnunculus*”, con presencia constante durante la época reproductora. Son poco abundantes, sólo un 5%, pero relativamente frecuentes; además la primera debido a su comportamiento de vuelo y a su importancia a nivel local, juega un papel trascendente durante la vigilancia ambiental. - El tercero (figura 2), lo formaría un grupo heterogéneo de dieciséis especies con baja representación estadística 4%. Dentro de éste grupo encontramos especies que siendo escasas, presentan un alto nivel de protección como: “*C. nigra*, *M. milvus*, *N. percnopterus*, *A. monachus*, *C. aeruginosus* y *A. adalberti*”.

A partir del análisis de similitud (figura 3) se pueden establecer tres periodos fenológicos; el primero “abril, mayo y junio” definido por especies nidificantes; el segundo marcado por el paso postnupcial de milanos negros en “julio, agosto y septiembre” y el tercero por el paso de buitres leonados en “octubre, noviembre y diciembre”. Los meses invernales “enero, febrero y marzo” no presentan una identidad propia. Tras un punto de inflexión en el número de aves registradas en enero, se produce un aumento de la diversidad específica por la presencia de aves invernantes y por máximos de migración prenupcial, de tal forma que el paso de milanos en marzo hace que presente más similitud con julio que con los meses invernales.

### Uso del Espacio: tasa de vuelo y patrones temporales de actividad

Los muestreos de uso del espacio (tabla 2), han proporcionado 11.716 registros durante la primera temporada (nº días = 145) y 6.198 registros durante la segunda (nº días 143). Existe una marcada variación interanual, relacionada con la diferencia de efectivos contabilizados durante el paso postnupcial. El 58% de la varianza interanual se produce durante los meses de octubre y noviembre: 4.773 u. (2012/3) versus 1.584 u. (2013/4).

Si comparamos mensualmente la tasa de vuelo, número de aves registradas por hora y día, se observan grandes diferencias tanto en la evolución anual como interanual, coincidiendo los máximos diarios en octubre de 2012 (23,2 vuelos/hora) y

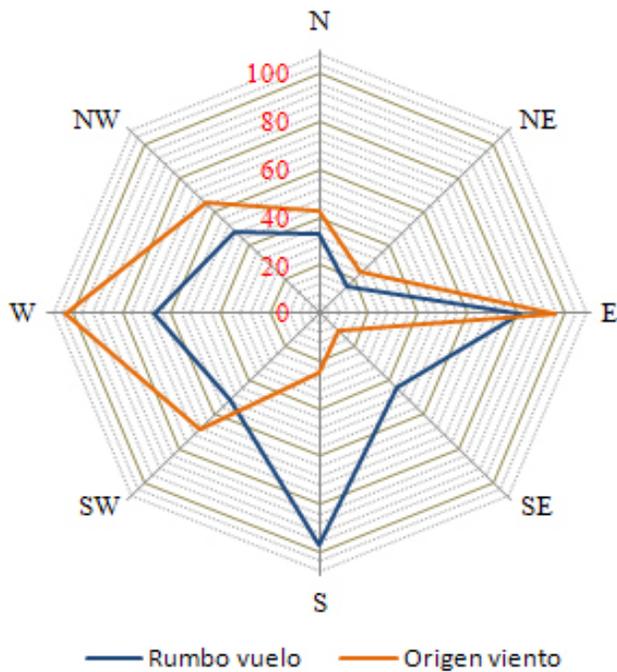


Figura 5. Rosa de origen del viento y rumbo de vuelo.

agosto 2013 (19,5 vuelos/hora). Los mínimos anuales se han obtenido en junio 2013 y 2014: 1,18 y 0,95 vuelos/horas respectivamente. Estos resultados, son una imagen clara de la afluencia de aves durante el paso postnupcial y de influencia de estos periodos de tiempo en la vigilancia ambiental.

Se ha comprobado que la distribución de frecuencia de los registros en función de la franja horaria no muestra diferencias interanuales estadísticamente significativas ( $T\text{-st}=1,47$   $n=25$ ,  $p<0,05$ ), por lo que para establecer los patrones temporales de actividad se han tratado en conjunto (tabla 3). A partir de esta tabla se ha comprobado que existen diferencias significativas ( $T\text{-st}=0,26$ ;  $n=37$ ,  $p<0,05$ ) en los periodos establecidos en función del aumento (P.I) o disminución (P.II) del número de horas de luz, por lo que se han analizado de formar independiente (figura 4). La distribución temporal de los movimientos de las aves en el área estudio es bastante más homogénea en invierno-primavera ( $\Delta f_p +$ ) que en los meses estivales y otoñales ( $\Delta f_p -$ ) donde existe una mayor oscilación del flujo de aves. Los picos de afluencia varían en función del periodo analizado: con un máximo entorno a las 13 p.m. durante la primera parte de año y entre las 10 y las 12 a.m. durante el segundo periodo. Si analizamos los movimientos

de una forma global, también se produce un adelantamiento de periodo de máxima actividad; así durante la primera mitad de año el 90 % de los efectivos han pasado antes de las 15 p.m., mientras que el paso de este mismo contingente se adelantan una hora 14 p.m. A medida que se va a cortando el número de horas de luz, se adelanta el movimiento de las aves.

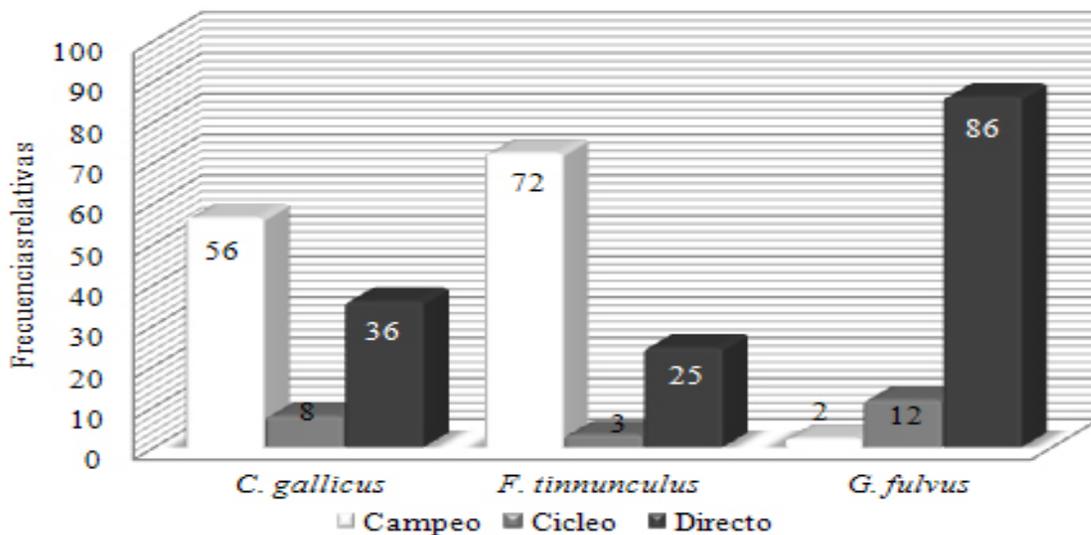


Figura 6. Patrones específicos de vuelo.

H <sub>z</sub>	Registros 2012/4												PI ( $\Delta fp +$ )		PII ( $\Delta fp -$ )			
	Oct	Nov	Dic	En	Feb	Mar	Ab	May	Jun	Jul	Ag	Sep	$\Sigma$	f(x)	F(x)	$\Sigma$	f(x)	F(x)
6	0						10	14	3	81	191	11	27	0,69	1	283	2,02	2
7	31	8				7	39	19	10	42	336	68	75	1,91	3	485	3,47	5
8	183	308	14	11	12	26	72	67	38	36	666	103	226	5,76	8	1310	9,36	15
9	246	160	31	8	80	186	50	66	24	42	546	81	414	10,56	19	1106	7,90	23
10	1172	298	139	33	41	85	88	35	57	265	432	662	339	8,65	28	2968	21,21	44
11	1432	396	171	83	63	133	56	47	36	75	969	342	418	10,66	38	3385	24,19	68
12	620	277	119	68	80	132	50	34	29	40	219	161	393	10,02	48	1436	10,26	78
13	424	327	450	88	316	308	64	48	23	9	65	47	847	21,60	70	1322	9,45	88
14	61	109	105	26	46	180	77	51	24	12	55	75	404	10,30	80	417	2,98	91
15	28	177	53	21	45	163	59	23	45	21	166	103	356	9,08	89	548	3,92	95
16	4	96	134	35	22	264	22	37	12	254	114	20	392	10,00	99	622	4,45	99
17	0					7	15	5	3	72	23	8	30	0,77	100	103	0,74	99
18											8		0	0		8	0,06	100

Tabla 3. Evolución de los registros en función de la franja horaria. Patrón temporal de actividad.

Especie	Patrón vuelo	Altura y distancia de vuelo									$\Sigma$
		aa	ab	ac	ba	bb	bc	ca	cb	cc	
<i>G. fulvus</i>	Directo	4	7		21	25	8	9	29	52	155
	Campeo	-	-	-	1	1	-	-	-	2	4
	Cicleo	1	-	-	1	6	4	2	1	6	21
<i>C. gallicus</i>	Directo	1	2	-	9	17	1	1	3	8	42
	Campeo	9	10	1	11	21	5		7	2	66
	Cicleo	-	1	-	-	3	-	1	2	2	9
<i>F. tinnunculus</i>	Directo	7	16	1	1	9	4	-	1	-	39
	Campeo	19	32	5	9	37	12	-	-	1	115
	Cicleo	1	1	-	2	1	-	-	-	-	5

Tabla 4. Número de vuelos específicos en función del patrón y de la estrategia de vuelo.

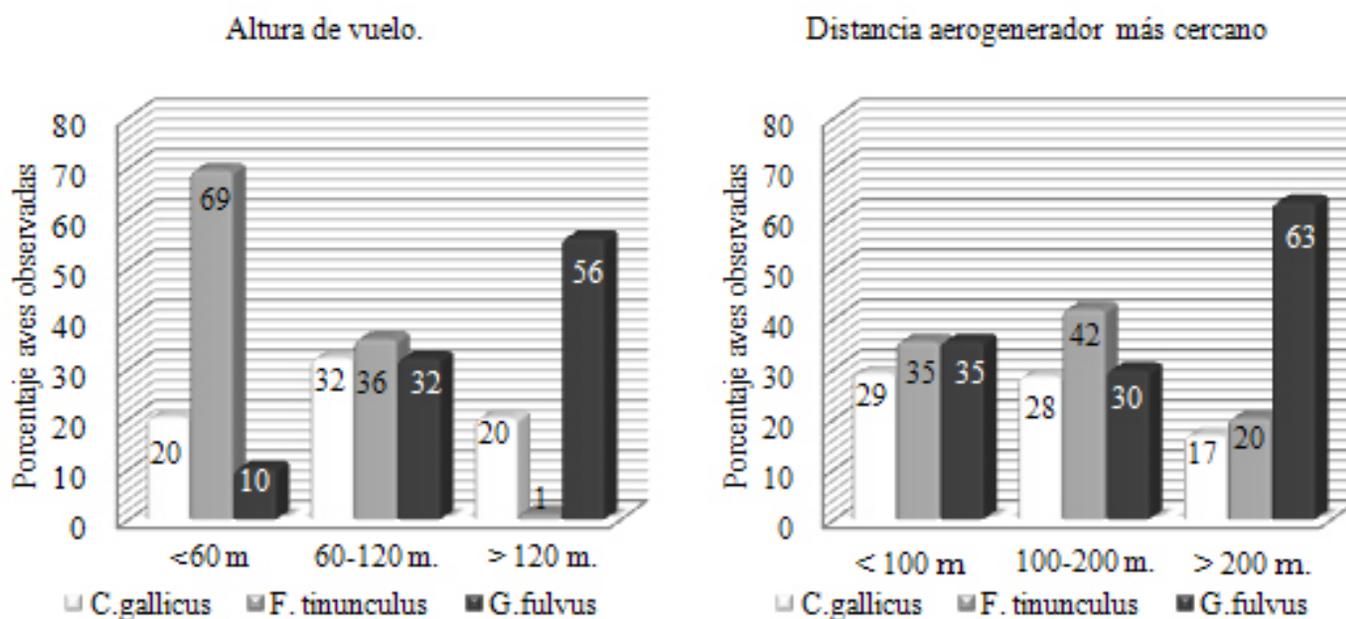


Figura 7. Estrategias específicas de vuelo. Histogramas de altura y distancia de vuelo

### Conducta de vuelo: rumbo, patrones específicos, estrategia de vuelo

Del número total de registros, se han analizado: 180 vuelos de buitres leonados, 127 de culebreras europeas y 169 de cernícalos comunes, documentándose hasta cinco patrones distintos de vuelos: directos (234 casos), campeos (186 casos), cicleos (33 casos), sedimentados sobre suelo o atalaya (17 casos) e interacciones inter-específicas (6 casos).

A partir de la gráfica radial (figura 5), se ha relacionado la dirección de vuelo en función del viento. Se ha obtenido una alta simetría entre rumbo y procedencia del viento existiendo una correlación alta con vientos de componente norte ( $R^2 = 0,96$ ;  $\alpha < 0,01$ ) y muy baja con vientos de componente sur ( $R^2 = 0,03$ ;  $\alpha < 0,01$ ); éstos a pesar de tener poca influencia en el régimen general de viento (8%), suponen un elevado porcentaje de los movimientos en la zona (32%).

De los cinco patrones de vuelo caracterizados, el 89% de los registros (reg.) se han debido a: vuelos directos de cruce (236 reg., 50%) y de campeo en busca de alimento (185 reg., 39%), resultando testimoniales el resto de los tipos: cicleo (35 reg., 7%), vuelo hasta atalaya o suelo (14 reg., 3%) e interacciones (6 reg., 1%). Los comportamientos de vuelo observados han resultado independientes de la dirección del viento, siendo muy bajos los valores que han relacionado vientos de componente SW y W con vuelos directos, de cicleo o de campeo ( $\chi^2_{exp} = 0,083$ ,  $F = 0,333$ ).

Existen diferencias inter-específicas en el uso del espacio, cada especie presenta un patrón de vuelo característico (figura 6). Así se relaciona: “vuelos de paso” entre zonas potenciales de alimentación realizado por el buitre leonado (86% vuelos directos) y “vuelos de campeo” realizados por el cernícalo común (72% vuelos directo) y la culebrera europea (56% vuelos directo); siendo poco frecuente observar a estas especies cicleando: 12% en buitres, 8% culebreras y tan sólo un 3% en cernícalos.

El análisis de la varianza de los patrones específicos de vuelos, caracterizados por la estrategia de vuelo en función de la altura y de la distancia respecto del aerogenerador más cercano (tabla 4), nos ha permitido comprobar que existen diferencias inter-específicas con vuelos de campeo ( $F_{2,26}=4,39$ ,  $P=0,023$ ) y directo ( $F_{2,26}=4,41$ ,  $P=0,023$ ). Así (figura 7), los buitres tienden a volar alejados, tanto en relación con la altura de vuelo (56 %) como de la distancia al aerogenerador más cercano (63%), mientras que los cernícalos suelen volar por debajo de las aspas (69%). No se han encontrado diferencias significativas cuando las especies ciclean, para ganar altura, en la zona de estudio ( $F_{2,26}=3,07$ ,  $P=0,064$ ).

## CONCLUSIONES

Los resultados del análisis de la información registrada durante la vigilancia ambiental suponen una importante fuente de retroalimentación para la mejora cualitativa de la vigilancia ambiental, haciendo más efectivas las labores de vigilancia: “mejora la actitud preventiva del vigilante ambiental al dotarlo de información sobre horarios de máxima actividad, direcciones de vuelos probables en función de la dirección del viento, patrones de vuelo y estrategias probables de vuelo en función de la especie”. De esta manera, el vigilante ambiental pasa de tener una labor exclusivamente de prevención a convertirse en un valor añadido en la ejecución del programa de vigilancia; aportando información directa de las relaciones establecidas entre el entorno físico y las especies que hacen uso del espacio. A pesar de lo limitado que son los recursos dedicados a los muestreos de aves, éstos son potencialmente una herramienta muy útil para obtener mejores y más resultados (Arenas & Vidal, 2012).

De forma práctica, la retroalimentación permite establecer y afinar año a año:

1º La distribución anual de la abundancia relativa de las especies, en especial de aquellas menos numerosas pero con un alto nivel de protección.

2º Las tasas de vuelo mensuales establecidas, anticipan los periodos más críticos de la vigilancia ambiental. Aunque la abundancia pueda presentar una clara diferencia inter-anual, existe una variación mensual predecible de los efectivos, que se traduce en ligeras variaciones durante el primer periodo del año enero-junio, con un fuerte incremento durante julio-agosto-septiembre-octubre seguida de un descenso hasta final de año.

3º El análisis de la distribución horaria de las frecuencias de registro, permite comprobar que existen patrones de actividad en la zona que no dependen de la abundancia anual y que sí lo hacen de la estacionalidad. Esto permite acotar los periodos críticos de máxima actividad, estableciendo que cuando son crecientes los incrementos de las horas luz, los picos de flujo se producen sobre las 13 horas, y en periodos decrecientes de luz la máxima afluencia se da entre las 10 y las 12 horas. Lo mismo ocurre con los movimientos dentro del parque, durante la primera parte del año, el 90% de las observaciones se dan entre las 8 y las 15 horas, mientras que durante la segunda parte éste porcentaje se da entre las 8 y las 14 horas.

4º Los resultados obtenidos permiten predecir la dirección de los movimientos en función de la dirección del viento, útil a la hora de posicionarse adecuadamente para detectar el movimiento de las aves en la zona de estudio. En la zona se establece una alta correlación salvo con vientos del sur y del suroeste, que en principio puede ser explicada por: el movimiento de las aves hacia la Sierra de la Plata y al efecto de barrera de la Sierra de la Plata, que actúa como un corta viento.

5º Partiendo de la premisa, que la distribución de frecuencias relativas del comportamiento de un ave no se traduce directamente en una predicción del riesgo (Thelander & Smallwood, 2009), conocer la conducta de vuelo: patrón de vuelo y estrategias de cruce nos aproxima al conocimiento de la interrelación especie-ambiente. De tal forma, se ha comprobado en la zona que los patrones de vuelos son inherentes a la especie y no dependen de la dirección del viento. Se han detectado diferencias inter-específicas en la estrategia de vuelo en función del patrón de vuelo de la especie con vuelos directos y de campeo pero no se han establecido diferencias específicas, cuando las especies ciclean para ganar altura. Esto parece confirmar lo ya establecido por Kenetech (1995) que afirmaba que la mayoría de las aves que se aproximan a un aerogenerador lo evitan pasando por encima o cruzando sin que se produzcan accidentes.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Andaluza de la Energía (2014): "Informe de infraestructuras energéticas. Provincia de Cádiz". Consejería Economía, Innovación, Ciencia y Empleo. Junta de Andalucía. 25 pág.
- Arenas, M. y Vidal, M. 2012. "Valor añadido en el seguimiento ambiental: modelizando el patrón espacio-temporal de vuelo" I Congreso Ibérico sobre Energía Eólica y Conservación de la fauna. Jerez 2012.
- Atienza, J.C., Martín, I., Infante O., Valls J. y Domínguez J. 2012. "Directrices para la evaluación de impacto de los parques eólicos en aves y murciélagos" (versión 3.0). *SEO/BirdLife*, Madrid. 115 pág.
- Barrios L. y Rodríguez A. 2009. "Patrones espaciales y temporales de mortalidad de aves en dos parques eólicos del sur de España". En Lucas, M., Janss, G. y Ferrer, M. (Eds): "Aves y Parques Eólicos Valoración de Riesgos y Atenuantes". *Quercus*, (2009). 241-253 pág.
- Carrete, M., Sánchez-Zapata, J.A., Benítez, J.R., Lobón, M., Montoya, F. y Donazar, J.A. 2012. "Mortality at Wind-farms is positively related to large-scale distribution and aggregation in griffon vultures" *Biological Conservation Vol. 145*(1): 102-108 pág.
- Ceballos, L. y Martí, M. 1930. "*Estudio sobre la vegetación forestal de la provincia de Cádiz*". Instituto forestal de investigaciones y experiencias. Consejería de Medio Ambiente Madrid: 343 pág.
- Chamberlain, D.E, Rehfisch, M.,R, Fox, A.D, Desholm, M. y Anthony, S. 2006. "The effect of avoidance rates on bird mortality predictions made by wind turbine collision risk models". *Ibis Vol. 148* (Issue suplement), 198-202 pág.
- Cifuentes, N. 2013. "Seguimiento Ambiental en Parques Eólicos". Informe Gas Natural Fenosa.
- De Juana 1992. "Algunas prioridades en la conservación de aves en España". *Ardeola n° 39*(2): 1992, 73-83 pág.
- De Lucas, M., Janss, G., Whitfield, D.P. y Ferrer, M. 2008. "Collision fatality of raptors in wind farms does not depend on raptor abundance". *Journal of Applied Ecology, n° 45*: 1695-1703 pág.
- De Lucas, M., Janss, G. y Ferrer, M. 2009. "Aves y parques eólicos. Valoración del riesgo y atenuantes". *Quercus* (2009), 291 pág.
- Domínguez, J., Lago, C. y Prades, A. 2010. "Energías renovables y modelos energético, una perspectiva desde la sostenibilidad". *Nimbus n° 25-26*: 43-63 pág.
- Drewitt, A. y Langston, R. 2006. "Assessing the impacts of wind farm on birds". *Ibis, Vol. 148* (Issue suplement) s1: 29-42 pág.
- Franco, A y Rodríguez, M. (Cord.) 2001. "*Libro rojo de los vertebrados amenazados de Andalucía*". Consejería de Medio Ambiente. Sevilla. 336 pág.
- Fouler, J. y Cohen, L. 1999. "Estadística básica en ornitología". *SEO/BirdLife*, 144 pág.
- Galán, A., Pérez, V. y Vicente J.A. 2003. "Relaciones fito-geográficas entre el suroccidente de la península ibérica y el noroeste de África. Una propuesta de sectorización" *Lagascalia n° 23*: 27-51 pág.
- Junta de Andalucía, 2009. "*Instrucciones para los programas de vigilancia ambiental de los parques eólicos de la provincia de Cádiz*". Servicio de Gestión del Medio Natural. Consejería de Medio Ambiente.
- Kennetech Windpower, INC 1995. "*Avian research task forcé public meeting*". Pleasanton, California, 88 pág.
- Martín, E.C., 2005. "Ritmicidad en la función animal. Fisiología del tiempo biológico" Curso Doctorado Endocrinología y Cronobiología. Programa de doctorado Biología Agraria y Acuicultura. Universidad de Granada. 54 pág.
- Martínez, J.A., Martínez, J.E., Zuberogoitia, I. García, J.T., Carbonell, R., De Lucas, M. y Díaz, M. 2003. "La evaluación de impacto ambiental sobre las poblaciones de aves rapaces: problemas de ejecución y sus posibles soluciones". *Ardeola n° 50*(1): 85-102 pág.
- Madroño, A., González, C y Atienza, J.C. (Eds) 2004. "*Libro Rojo de las Aves de España*". Dirección General de la Conservación de la Naturaleza-Sociedad Española de Ornitología. Madrid.
- Noguera, J.C., Pérez, I. y Mínguez, E. 2010. "Impact of terrestrial wind farm on diurnal raptors: developing a spatial vulnerability index and potential vulnerability maps". *Ardeola n° 57*(1): 41-53 pág.
- Simberloff, D. 1998. "Flagships umbrellas and keys tones: in single-species managements passé in the landscape era" *Biological Conservation n° 83*: 247-257 pág.
- Sterner, D., Orloff, S y Spiegel, L. 2009. "Investigación sobre colisión con aerogeneradores en Estados Unidos". En De Lucas, M., Janss, G. y Ferrer, M. (Eds): "Aves y Parques Eólicos Valoración de Riesgos y Atenuantes". *Quercus*, 2009: 83-103 pág.
- Tellería, J.L. 1981. "*La migración de las aves no planeadoras en el Estrecho de Gibraltar*". *Volumen II. Aves no planeadoras*. Universidad Complutense Madrid.
- Thelander C. G. y Ruggie, L. 2000. "Avian risk behavior and fatalities at the Altamont Wind Resource Area: March 1998 to February 1999". Report to National Renewable Energy Laboratory, U.S. Department of Commerce, Springfield, Virginia.
- Thelander, C.G. & Smallwood, K. S., 2009. "Altamont Pass: un ejemplo de los efectos de los parques eólicos sobre las aves" En Lucas, M., Janss, G. y Ferrer, M. (Eds): "Aves y Parques Eólicos. Valoración de Riesgos y Atenuantes". *Quercus* 2009: 25-49 pág.