

Capítulo 8

LA NIDIFICACIÓN DE AVES EN LA RED DE TRANSPORTE DE ELECTRICIDAD DE ESPAÑA: EVALUACIÓN, PREVENCIÓN Y CORRECCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA ASOCIADA.

VICTOR NAVAZO.

*RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA. Paseo del Conde de los Gaitanes, 177.
La Moraleja-Alcobendas. 28107 Madrid. España.
E-mail: vnavazo@ree.es*

ALFONSO LAZO.

*Asistencias Técnicas Clave, S.L. Progreso, 5. 41013 Sevilla. España.
E-mail: a.t.clave@redestb.es*

RESUMEN

La nidificación de aves, especialmente de cigüeñas blancas, en torres de líneas de alta tensión es un problema de grandes dimensiones que repercute de forma significativa sobre el servicio de transporte de electricidad. Consecuentemente, RED ELÉCTRICA ha venido desarrollando en los últimos años, un extenso programa de investigación aplicada de cara a la solución de esta problemática, en colaboración con equipos de trabajo encuadrados en organismos públicos y empresas privadas. El programa comprende estudios abordados a tres niveles: evaluación, prevención y corrección de la problemática. Los estudios de evaluación han servido para poner de manifiesto las dimensiones precisas del problema, su heterogénea ocurrencia espacial, las especies de aves involucradas y su comportamiento de nidificación sobre las torres. A nivel de prevención se ha realizado un estudio de identificación de los factores implicados en la nidificación de las aves sobre torres eléctricas, lo que ha permitido generar una herramienta metodológica para predecir la

aparición de nidos en puntos concretos de la red de transporte. Finalmente, la corrección del problema está siendo abordada con un conjunto de estudios en los que se ensaya la utilización de medidas y actuaciones que hagan posible la eliminación de los efectos negativos derivados de nidificación pero manteniendo el papel ecológico de las torres eléctricas como soporte de nidos para aves.

INTRODUCCIÓN

La nidificación sobre elementos de infraestructura y construcciones humanas es un comportamiento relativamente frecuente en las aves (ej. Olendorff *et al.* 1981, 1996, Steenhof *et al.* 1993, Janss *et al.* 1996). Entre éstas estructuras se encuentran las torres de líneas eléctricas aéreas, sobre las que nidifican especies pertenecientes a distintos grupos.

La nidificación sobre líneas está muy extendida a escala mundial, manifestando su mayor incidencia en países con cierto nivel de desarrollo socioeconómico pero que conservan un entorno natural poco alterado (lo que normalmente implica la presencia de tendidos eléctricos en espacios naturales bien conservados). Es relativamente común en determinadas áreas de América del Norte (Fitzner 1980, Stahlecker y Griese 1979) y Sudáfrica (Ledger 1988, Ledger *et al.* 1993), así como en la Península Ibérica (Janss *et al.* 1996, Sánchez *et al.* 1997).

Entre las especies registradas como nidificantes figuran en primer lugar las aves rapaces y los córvidos. Destacan varias especies de gran envergadura, como el águila real *Aquila chrysaetos*, el águila pescadora *Pandion haliaetus* y el águila de cabeza blanca *Haliaeetus leucocephalus* en Norteamérica (Fitzner 1980, Lee 1980, Castellanos y Ortega-Rubio 1995), el águila marcial *Polemaetus belliosus* en Sudáfrica (Ledger *et al.* 1993) o el águila imperial *Aquila adalberti* y el águila perdicera *Hieraaetus fasciatus* en la Península Ibérica (Sánchez *et al.* 1997, Navazo *et al.* 1997). El número de especies de mediana envergadura nidificantes en tendidos es mayor, destacando varias especies de los géneros *Buteo*, *Falco* y *Corvus*, tanto en Norteamérica (Stahlecker y Griese 1979) como en Europa (Negro 1986, Sánchez *et al.* 1997). En la Península Ibérica destaca como nidificante en tendidos, tanto por su número como por su envergadura la cigüeña blanca *Ciconia ciconia* (Janss *et al.* 1996, Navazo y Roig 1997).

Hay suficientes evidencias para sostener la hipótesis de que los tendidos eléctricos, al servir de soporte de nidos, contribuyen de forma significativa a la extensión del área de cría de algunas de estas especies, principalmente en zonas con características adecuadas para su presencia pero carentes de estructuras naturales apropiadas para la nidificación (Olendorff *et al.* 1981, Nelson 1982). Además, algunos autores ven en la utilización de las torres eléctricas alguna ventaja sobre la utilización de soportes naturales como acantilados o árboles (Steenhof *et al.* 1993), aunque no ha podido demostrarse la existencia de diferencias en éxito reproductivo entre parejas nidificantes sobre tendidos y sobre soportes naturales (Van Daele 1980).

Pero la utilización de los tendidos por la aves, por su repercusión sobre el servicio y el mantenimiento de las líneas eléctricas, suele aparejar importantes

repercusiones negativas para las compañías propietarias de las mismas (Engel *et al.* 1993, Janss *et al.* 1996). Estas incidencias negativas suelen materializarse principalmente en cortocircuitos (provocados por acumulaciones de excrementos y/o materiales aportados por las aves a los nidos), dificultades durante las labores de mantenimiento y alteraciones de la distribución de cargas y del aerodinamismo de las torres (que afectan a su estabilidad). El efecto de la nidificación sobre el mantenimiento y explotación de las líneas eléctricas se traduce, pues, en pérdidas económicas y de calidad del servicio. En consecuencia, la nidificación de aves sobre tendidos se ha convertido en un serio problema ambiental para las compañías eléctricas en determinados ámbitos geográficos, entre ellos España.

RED ELÉCTRICA es la compañía responsable del transporte de electricidad a muy alta tensión (220 y 400 kV). Muchas torres de transporte se localizan en espacios naturales bien conservados, en los que la nidificación de aves en tendidos tiene lugar con cierta frecuencia (Navazo y Roig 1996).

Al verse muy afectada cualitativamente por la nidificación de las aves en sus torres, RED ELÉCTRICA ha puesto en marcha en los últimos años un amplio y ambicioso programa de investigación orientado hacia el estudio de las interacciones entre las aves y las torres de transporte de electricidad. Sus objetivos son la caracterización y cuantificación del problema, la prevención de incidencias sobre el servicio y la corrección de situaciones problemáticas concretas. Este programa es actualmente la más importante de las actuaciones con contenido ambiental puesta en marcha de forma individual por una compañía eléctrica española. En este capítulo ofrecemos los principales logros alcanzados con su ejecución.

EL PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA DE NIDIFICACIÓN EN RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

La investigación desarrollada por RED ELÉCTRICA sobre la nidificación de aves en líneas de transporte tiene su máximo exponente en los tres estudios que exponemos a continuación y que ilustran los distintos niveles a los que ha sido abordado el problema: evaluación, prevención y corrección.

En el campo de la **evaluación** destaca el estudio realizado en 1995 en el cuadrante suroccidental de la Península (Andalucía occidental, Extremadura y Castilla-La Mancha), donde la nidificación sobre tendidos es más frecuente. Sus resultados sirvieron de base para estudios posteriores de aspectos más concretos de la problemática y para la adopción de un procedimiento de actuación en relación con los nidos de aves presentes en torres de transporte de electricidad.

La **prevención** de la nidificación de las aves sobre los tendidos de transporte ha sido abordada con un estudio cuyo objeto fue identificar los factores implicados en la ocupación de torres por las dos especies de aves que más frecuentemente nidifican sobre tendidos en España: la cigüeña blanca y el cuervo. El análisis de la incidencia de dichos factores, planteado a diversas escalas de trabajo condujo a la elaboración de una herramienta metodológica con capacidad para predecir la probabilidad de ocupación de un punto de la red por parte de ejemplares nidificantes de ambas especies.

Por último, y principalmente enfocado a la **corrección** de problemas, destaca el conjunto de estudios realizados en la colonia de nidificación de cigüeñas blancas de la línea a 400 kV Almaraz-Guadame, convertida en un verdadero "laboratorio natural" en el que se vienen ensayando distintos procedimientos de actuación y dispositivos disuasores de la nidificación.

EVALUACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA: ESTUDIO DE LA NIDIFICACIÓN DE AVES EN LA RED DE TRANSPORTE DE ELECTRICIDAD (220 Y 400 kV)

ANTECEDENTES

En 1995, RED ELÉCTRICA decidió abordar un estudio que permitiera la evaluación y caracterización de la problemática de la nidificación de aves en un ámbito geográfico especialmente castigado por las incidencias de las aves sobre el servicio de transporte de electricidad: el cuadrante suroccidental de la Península Ibérica.

ÁMBITO DE ESTUDIO

El estudio se llevó a cabo sobre la red de transporte de electricidad (220-400 kV) que gestiona RED ELÉCTRICA en las provincias de Badajoz, Ciudad Real, Huelva, Sevilla, Cádiz, Córdoba, Jaén, Málaga, Granada y Almería. La red se consideró formada entonces por 15 líneas (incluyendo 5 sin servicio), con una longitud total de 1.800 km y unas 4.000 torres. El diseño de la práctica totalidad de las torres corresponde a dos modelos básicos: el cabeza de gato y el doble circuito.

METODOLOGÍA

La información de partida para la cuantificación de la nidificación la constituyó un conjunto de fichas de nidificación en torres procedentes de una revisión global de la red efectuada en 1994. Estos datos fueron completados con los procedentes de un muestreo parcial de la red realizado en 1995 para actualizar los registros de nidificación del año anterior. Los muestreos se realizaron accediendo hasta las torres por tierra y tan cerca como fuera posible. Se anotó la presencia o ausencia de nidos en cada torre revisada, las especies responsables de su construcción y/o utilización, el lugar en la torre ocupada por cada nido y las características de éstos. No se contabilizaron los nidos de aves de pequeño tamaño (igual o inferior al de una urraca).

Tomando como base los resultados de la revisión de 1994, calibrando los errores cometidos en la misma y cotejando los resultados con las revisiones parciales realizadas en 1995, se obtuvo una visión bastante aproximada de la problemática de la nidificación de aves en el ámbito de estudio.

RESULTADOS

DIMENSIONES DE LA PROBLEMÁTICA: NÚMERO DE TORRES AFECTADAS, NÚMERO DE NIDOS Y ESPECIES INVOLUCRADAS. El número total de torres afectadas por la nidificación se estimó entre 103 (el número constatado en las revisiones efec-

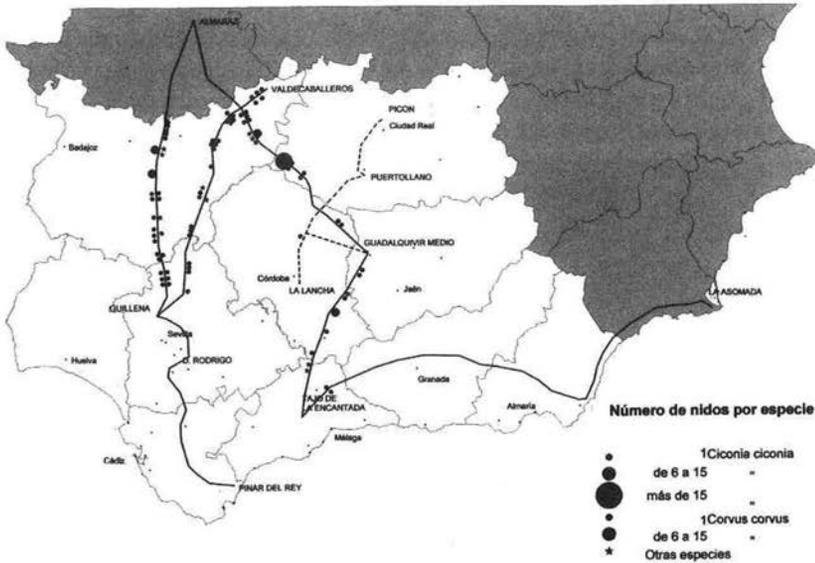


Figura 1. Distribución de nidos de aves en líneas de Red Eléctrica de España en el ámbito de estudio (tramo continuo: líneas a 400 kV; tramo discontinuo: líneas a 220 kV).

tuadas) y 156 (número máximo estimado). Estas cifras suponen que entre un 2,9% y un 4,3% de las torres de la red de transporte se encontraba ocupado al menos por un nido de ave de mediana o gran envergadura. El número total de nidos en la red de transporte se estimó entre 132 (mínimo registrado) y 172.

La distribución de los nidos por líneas no fue homogénea. La mayoría de las líneas mostraron muy bajos porcentajes de ocupación de las torres por nidos (del 0 al 0,3%), mientras que a cuatro de ellas correspondieron porcentajes importantes (>5%), destacando en concreto la línea Almería-Guillena (ALZ-GUI), con una ocupación mínima del 12,5% de sus torres.

Cuatro especies de aves fueron registradas como nidificantes: el cuervo *Corvus corax* (98 nidos), la cigüeña blanca *Ciconia ciconia* (39 nidos), el cernícalo vulgar *Falco tinnunculus* (7 nidos) y el águila perdicera *Hieraaetus fasciatus* (1 nido). En seis casos no se pudo identificar la especie nidificante.

Los cuervos estuvieron presentes en todas las líneas con nidos, siendo la única especie nidificante en tres de ellas. Si bien a esta especie corresponde el 77% de las torres con nido ($n=120$), sus nidos sólo representan el 66% del total. La situación inversa se constató para la cigüeña (nidificante en tres líneas), con un 17% de los torres pero un 26% de los nidos, al ser frecuente la existencia de más de un nido por torre. Los cernícalos vulgares fueron registrados como nidificantes en tres de las líneas, siempre sobre nidos abandonados de cuervo.

COMPORTAMIENTO DE NIDIFICACIÓN. El 13% de las torres registradas soportaba más de un nido. El 35% de las torres ocupados por cigüeñas tenía más de un nido, mientras que entre los cuervos este porcentaje sólo representó el 4%, poniendo de manifiesto la existencia de diferencias significativas entre las ten-

dencias gregarias de ambas especies ($\chi^2=45,49$, 1 gl, $P<0,001$). Ningún nido de cernícalo se encontró en la misma torre junto a otro nido ocupado de esta u otra especie. Sólo un 6% de las torres alojó simultáneamente nidos de dos especies distintas (siempre cuervo y cigüeña).

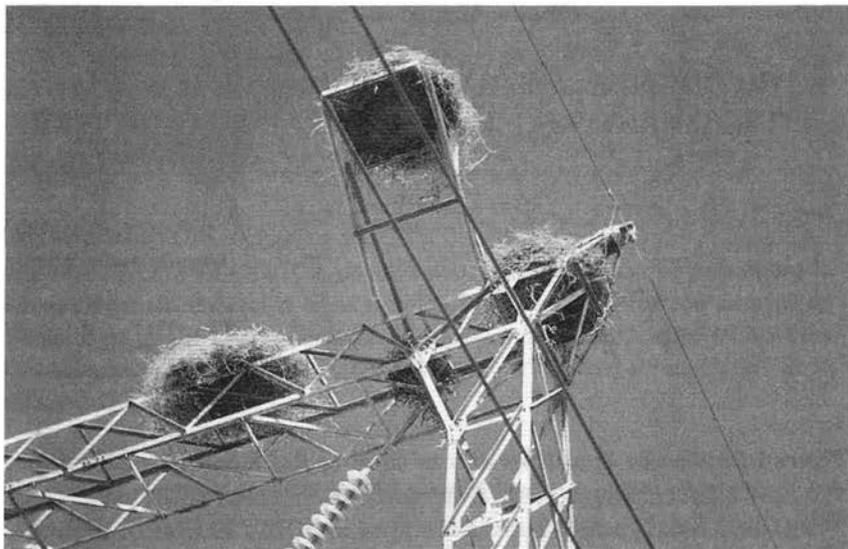


Foto 1. *Tres nidos de cigüeña blanca y uno de cuervo (el de menor tamaño en el interior del armazón) sobre una torre de transporte de electricidad. Uno de los nidos de cigüeña aparece desplazado a una plataforma de nidificación.*

La mayoría (69%) de los nidos de cigüeña se encontraban muy próximos entre sí, ya fuera en la misma torre o en torres contiguas, y el 85% se encontraba a menos de 5 torres de distancia del nido de cigüeña más cercano; entre los cuervos este porcentaje se redujo al 24%.

La distribución de los nidos en la red fue manifiestamente diferente entre especies. La totalidad de los nidos de cigüeña se localizó en el cuadrante noroccidental del ámbito de estudio (provincias de Badajoz y Ciudad Real), mientras que los de cuervo se mostraron más repartidos y distribuidos de forma más regular a lo largo de las líneas. Los nidos de cernícalo vulgar fueron registrados en su totalidad en la provincia de Badajoz, pero sin tendencia a la concentración. En términos globales, la mayoría de la problemática (82% de las torres y 85% de los nidos) se localizó en la provincia de Badajoz y zonas colindantes de las de Ciudad Real y Sevilla.

LAS TORRES COMO LUGAR DE NIDIFICACIÓN. Cigüeñas y cuervos mostraron el mismo patrón de selección de modelo de torre ($\chi^2=0,28$, 1 gl, $P=0,596$): el 83% de los nidos de cigüeña y el 77% de los de cuervo se localizaron en torres tipo "cabeza de gato". Considerando todas las especies conjuntamente, la selección de modelos difirió de la esperada por su abundancia en el ámbito de estudio ($\chi^2=101,66$, 2 gl, $P<0,001$); en concreto, el modelo cabeza de gato fue seleccionado positivamente, mientras que los modelos de doble circuito registrados fueron evitados.

El 77% de los nidos se localizó justo encima de una cadena de aisladores (nivel A), el 18% en cualquier otro lugar de la torre por encima del plano horizontal más inferior definido por los conductores (nivel B) y el 5% bajo dicho plano (nivel C). Las diferencias entre modelos de torres fueron significativas ($\chi^2=58,35$, 2 gl, $P<0,001$): en los modelos cabeza de gato el 89% de los nidos se localiza en el nivel A, porcentaje que se reduce al 25% en las torres de doble circuito. Las diferencias entre especies también fueron significativas ($\chi^2=23,33$, 1 gl, $P<0,001$): el 89% de los nidos de cuervo, pero sólo el 49% de los de cigüeña se encontraron en el nivel A. En las torres tipo "Cabeza de Gato" el 100% de los nidos de cuervo y el 60% de los de cigüeña se encontraron en el nivel A, siendo estos porcentajes del 37% y 11%, respectivamente, en los modelos doble circuito.

En las torres modelo cabeza de gato el 75% de los nidos fue construido en el puente superior de la torre y justo al lado de uno de los vértices de anclaje del cable de tierra. Sin embargo, la distribución de los nidos en los modelos doble circuito es más repartida: ningún punto de estas torres mostró una frecuencia de uso tan alta (figura 2).

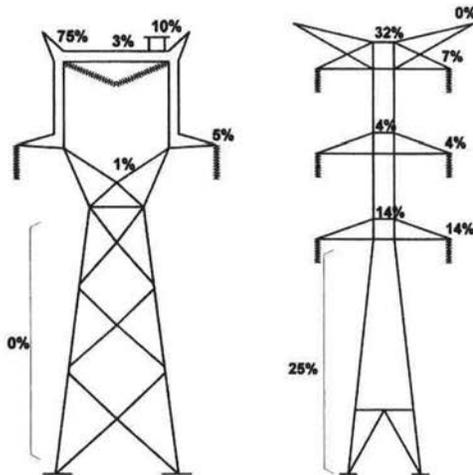


Figura 2. Porcentaje de ocupación de distintos puntos de las torres "cabeza de gato" y "doble circuito" por aves nidificantes en líneas de transporte de electricidad en el ámbito de estudio (para las torres cabeza de gato se indica también el porcentaje de nidos situados sobre plataformas de nidificación).

INCIDENCIAS DE LOS NIDOS SOBRE EL SERVICIO. De las 10 líneas en servicio en 1995, 4 no se vieron afectadas en modo alguno por la nidificación de aves, 2 lo fueron en baja medida (menos del 1% de las torres con nidos) y 4 se consideraron muy afectadas por la problemática.

Para valorar la incidencia de cada nido registrado sobre el servicio y el mantenimiento de las líneas de transporte de electricidad se asumieron las siguientes premisas:

1. No tienen incidencia alguna los nidos localizados por bajo del plano más bajo definido por los conductores;

2. Los nidos de cernícalo y cuervo no dan lugar a acumulaciones de restos que repercutan de forma importante sobre el servicio, al contrario de lo que ocurre con los nidos de cigüeñas o grandes rapaces;

3. Los nidos de cernícalo y cuervo por sus pequeñas dimensiones no dificultan las labores de mantenimiento;

4. Los nidos de cigüeña sobre plataformas artificiales de nidificación (instaladas en varias torres) no repercuten de forma importante en la formación de acumulaciones de restos o excrementos ni entorpecen el mantenimiento de las torres.

En el 17% de las torres registradas no cabía esperar incidencias negativas para el servicio debidas a los nidos, en el 2% tan sólo dificultades al mantenimiento de las torres, en el 73% la caída de restos o deposiciones de excrementos en cantidades que no supondrían problemas serios para la explotación o el mantenimiento de las líneas, y en el 8% restante repercusiones importantes por acumulaciones de excrementos y/o restos.

Se comprobó que el modelo de torre juega un papel muy importante en la determinación del nivel de incidencia previsible de los nidos sobre el servicio: tan sólo en el 16% de las torres de doble circuito cabría esperar alguna repercusión, aunque fuera leve; en el modelo cabeza de gato este porcentaje alcanzó el 97%, estableciendo una diferencia altamente significativa entre modelos de torre ($\chi^2=70,52$, 1 gl, $P<0,001$).

DISCUSIÓN

Desde el punto de vista de la evaluación de la problemática de la nidificación, los resultados más importantes del estudio realizado han sido los siguientes:

- Se han fijado las dimensiones del problema y se ha caracterizado su heterogénea repercusión en la red y distribución geográfica, con la identificación de áreas de elevada incidencia ;

- Se han identificado de las especies responsables y se ha caracterizado su comportamiento de nidificación sobre las torres: concentración de nidos en torres, distribución espacial de los nidos, modelos de torres seleccionados y puntos de nidificación ocupados en las torres;

- Se han caracterizado los distintos modelos de torres de transporte como soporte para los nidos de las aves, tanto desde el punto de vista de las posibilidades de nidificación que ofrecen a las distintas especies como de las distintas incidencias que acarrea para el servicio.

La incidencia registrada (60% de las líneas con nidos, 40% de líneas afectadas de forma importante, entre un 3 y un 4% de torres afectadas y líneas con un porcentaje mínimo de ocupación de hasta un 12,5%) podría ser calificada como importante, pero la ausencia de estudios de referencia en otros ámbitos nos impide realizar comparaciones. En Norteamérica la incidencia parece ser cuantitativamente importante en algunas zonas (Stahlecker 1978, Knigh y Kawashima, 1993), aunque no existen datos comparable con los de nuestro estudio. En España, una cuantificación realizada en Extremadura entre 1994 y 1995, arrojó la cifra de unos 500 nidos de especies de aves de mediana a gran envergadura

sobre tendidos de transporte (Sánchez *et al.* 1997); no obstante, el estudio no proporciona datos que permitan cotejar la incidencia del problema (número de líneas y torres revisadas, número de torres afectadas, etc.), ni referencias sobre la localización de los nidos o la identificación de las líneas afectadas.

AGENTES IMPLICADOS: LAS ESPECIES DE AVES. En términos cuantitativos, el cuervo es la especie más importante como nidificante sobre torres de transporte. La predilección de esta especie por las torres de transporte, frente a las de distribución, de altura muy inferior, ya ha sido señalada con anterioridad (Negro 1986). Dicho comportamiento tiene su paralelismo en la elección de árboles de gran talla y otros soportes muy elevados sobre el suelo cuando cría sobre plataformas naturales (Cramp y Simmons 1977). Sin embargo, en términos cualitativos, la incidencia de la nidificación de cuervos en la red de líneas de nuestro ámbito es muy baja. Ello se debe tanto a las reducidas dimensiones del nido como a la escasa formación de acumulaciones de restos debajo de los mismos (en comparación con otras especies) y a que se ubican generalmente en lugares poco problemáticos para el mantenimiento de las líneas. El hecho de que se trate de una especie que nidifica en solitario da lugar a que no se formen concentraciones de nidos sobre las torres, circunstancia que multiplicaría las tareas de mantenimiento y el nivel de incidencias potenciales sobre el servicio. Por todo ello, los nidos de cuervo no suelen ser problemáticos, no debiendo ser objeto de actuaciones para reducir la incidencia de la nidificación sobre la red de transporte de electricidad.

La cigüeña blanca, menos importante en términos cuantitativos que el cuervo, da lugar a un nivel de incidencias cualitativamente más notable. Las grandes dimensiones de los nidos, el aporte continuado de materiales para su construcción y el gran volumen de deposición de excrementos de estas aves (Cramp y Simmons 1977), causan problemas importantes si los nidos se localizan justo encima de una cadena de aisladores o en puntos que dificulten las tareas de mantenimiento. A su vez, el comportamiento de cría colonial de la especie es responsable de la concentración de nidos en torres. Por un lado esto se traduce en un incremento en el nivel de incidencias en torres ocupadas por varios nidos, pero por otro, facilita la corrección del problema al encontrarse las incidencias muy localizadas espacialmente. Tanto por la abundancia de la especie y su repercusión actual como nidificante sobre tendidos, como por la evolución previsiblemente al alza del tamaño de su población (SEO/Birdlife 1997) y por su frecuencia de uso de torres eléctricas (Sánchez *et al.* 1997), la cigüeña se convierte en la especie de ave potencialmente más problemática para el servicio de transporte de electricidad.

El resto de especies nidificantes en tendidos, como las grandes rapaces, son ya bastante menos numerosas en nuestro ámbito de estudio. Sin embargo, la incidencia de las grandes rapaces puede ser cualitativamente muy importante en los puntos de la red donde nidifiquen: por un lado por su repercusión directa sobre el servicio (grandes nidos, acumulaciones de restos y excrementos), pero también por el hecho de que, al tratarse de especies amenazadas (águila imperial, águila perdicera, etc.) su presencia como nidificante puede condicionar el calendario y el tipo de actuaciones a realizar en el mantenimiento de las

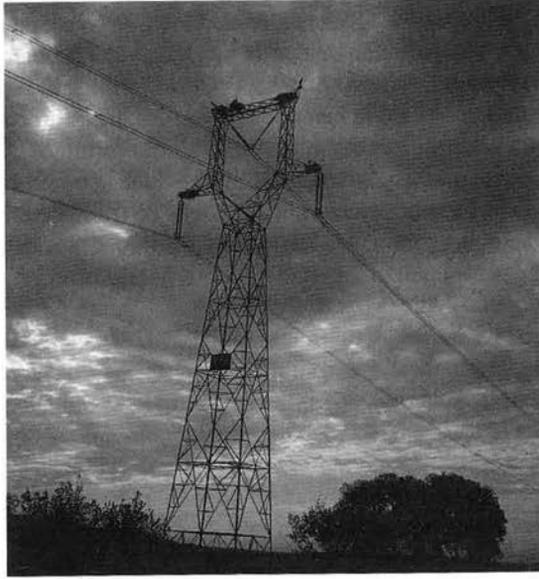


Foto 2. Torre de transporte de electricidad (modelo cabeza de gato) con 5 nidos de cigüeña blanca.

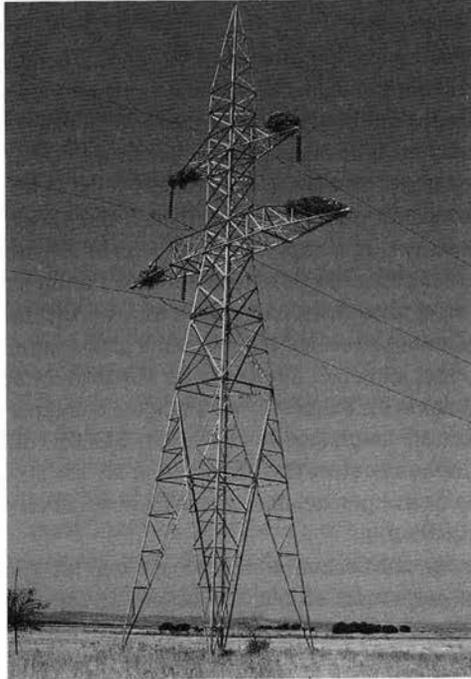


Foto 3. Nidos de cigüeña blanca sobre una torre de doble circuito de dos crucetas pero sólo con un circuito instalado. Los nidos situados en la cruceta inferior no son problemáticos para el servicio de transporte de electricidad al no localizarse justo encima de una cadena de aisladores.

torres, limitándolas a las compatibles con la protección de la pareja reproductora, su nido y su prole.

AGENTES IMPLICADOS: LAS TORRES. La predilección por las torres "cabeza de gato" es manifiesta entre todas las especies registradas, mientras que los modelos "doble circuito" tienden a ser evitados en nuestro ámbito de trabajo como soporte de nido. El primer modelo ofrece un número elevado de lugares potenciales de nidificación, fácilmente accesibles para aves de gran envergadura, especialmente en el puente superior de la torre y en las crucetas laterales; por el contrario, la presencia de conductores sobre la mayoría de los puntos potenciales de nidificación en torres doble circuito puede suponer un obstáculo para las aves de gran envergadura. El modelo cabeza de gato es, por tanto, el de mayor capacidad de acogida a aves nidificantes, y de hecho es en el que se han registrado las mayores concentraciones de nidos (hasta ocho nidos en una misma torre en nuestro ámbito de estudio).

La mayoría de los nidos presentes en torres "cabeza de gato" se localizan encima de las cadenas de aisladores, son problemáticos para la instalación y crean dificultades en las labores propias de mantenimiento, al contrario con lo que ocurre con las torres de doble circuito. La distribución de nidos de cuervos y cigüeñas sobre cada modelo también es diferente, lo que confirma que la conflictividad potencial del modelo doble circuito es muy inferior a la del modelo cabeza de gato. En el caso de la cigüeña, la especie que más repercute sobre el servicio, esta diferencia se acentúa aún más a favor del primer modelo, ya que tiende a nidificar por debajo del nivel de los conductores, en torres de amarre (con cadenas de aisladores horizontales al suelo) o en las crucetas libres de torres con sólo un circuito instalado.

INCIDENCIA DE LA NIDIFICACIÓN SOBRE EL SERVICIO Y ACTUACIONES RECOMENDABLES. El número de líneas y torres afectadas por la nidificación es importante. Sin embargo, si analizamos la potencial repercusión de cada nido sobre el servicio en función de la especie nidificante y de su localización en la torre, se obtiene una visión diferente de la problemática: sólo en un 8% de las torres cabe esperar alguna repercusión seria sobre el servicio (cortocircuito) debida a la acumulación de materiales y/o excrementos sobre las cadenas de aisladores. La distribución de estas torres muy problemáticas se concentra espacialmente en un ámbito geográfico reducido y, prácticamente, sólo en dos líneas, ocupadas por colonias de nidificación de cigüeña blanca. No obstante, dada la previsible evolución poblacional al alza de la cigüeña y su tendencia a la utilización de torres de transporte, este porcentaje puede incrementarse y llegar a suponer un número importante de torres.

A la luz de los resultados obtenidos, surgen propuestas básicas de actuación en relación con la problemática de la nidificación de aves en líneas de transporte. En primer lugar, y salvo en casos excepcionales, hay que resaltar la falta de justificación para actuar sobre nidos sin repercusión predecible sobre el servicio, ya sea porque se encuentren bajo el nivel de los conductores o por pertenecer a especies de baja incidencia (cuervo, cernícalos y otras aves de pequeña envergadura).

El traslado de nidos problemáticos a otros puntos de la misma torre o a plataformas de nidificación alternativas debe hacerse sólo en el caso de aves rapa-

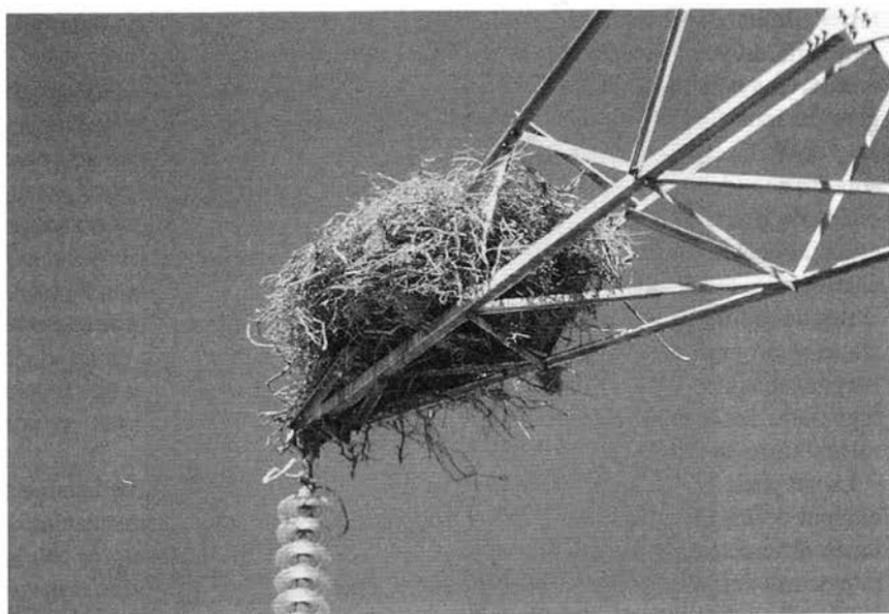


Foto 4. *Nido de cigüeña problemático para el servicio de transporte de electricidad por encontrarse situado justo encima de una cadena de aisladores.*

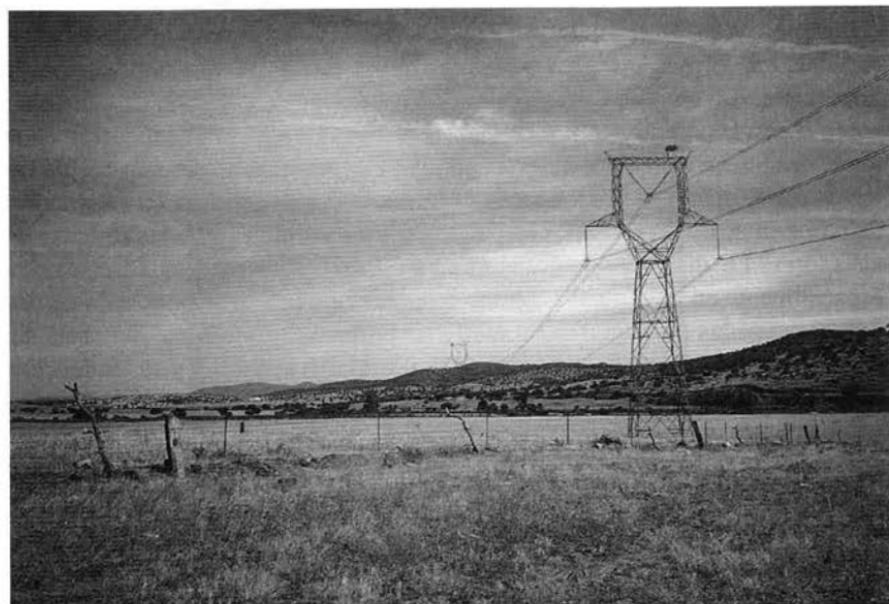


Foto 5. *Tipo de ambiente natural seleccionado positivamente por las cigüeñas blancas nidificantes sobre torres de transporte de electricidad (línea Almaraz-Guadame, Chillón, Ciudad Real).*

ces territoriales y cuervos (por la improbabilidad de que otra pareja ocupe el lugar liberado por el traslado); en el caso de las cigüeñas, sólo cuando se pueda utilizar en el lugar del nido desplazado y en otros potenciales lugares de nidificación de la misma torre un disuasor de la nidificación de reconocida eficacia. Estas actuaciones deberían llevarse a cabo siempre fuera del periodo de cría de la especie en cuestión.

Tabla 1. Tipos de hábitat en el entorno de las torres muestreadas. Se indica el número (y porcentaje) de torres con nido de cigüeña, con nido de cuervo y sin nido (control) registrado en cada tipo de hábitat.

<u>HÁBITAT</u>	<u>CIGÜEÑA</u>	<u>CONTROL</u>	<u>CUERVO</u>
Hábitats naturales forestados			
1. bosque mediterr.	0 (0,0 %)	6 (3,5 %)	0 (0,0 %)
2. pinar	15 (8,7 %)	12 (7,0 %)	2 (3,1 %)
3. dehesa	27 (15,7 %)	39 (22,8 %)	18 (27,7 %)
Hábitats naturales deforestados			
4. matorral	1 (0,6 %)	5 (2,9 %)	0 (0,0 %)
5. erial	7 (4,1 %)	12 (7,0 %)	13 (20,0 %)
6. pastizal	30 (17,4 %)	19 (11,1 %)	9 (13,8 %)
Cultivos herbáceos			
7. secano	71 (41,3 %)	53 (31,0 %)	13 (20,0 %)
Cultivos leñosos			
8. eucaliptal	4 (2,3 %)	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)
9. frutales	3 (1,7 %)	2 (1,2 %)	0 (0,0 %)
10. olivar	4 (2,3 %)	16 (9,3 %)	6 (9,2 %)
11. viñedo	2 (1,2 %)	1 (0,6 %)	4 (6,2 %)
Hábitats humanizados			
12. Construcciones	8 (4,6 %)	6 (3,5 %)	0 (0,0 %)

Salvo situaciones extremas, el derribo de los nidos no es una medida recomendable, ya que su reconstrucción en los mismos puntos, en otros puntos de la misma torre o en torres aledañas es probable, especialmente en el caso de cigüeñas. Además, la construcción o reconstrucción de un nido lleva asociado un nivel de incidencias mayor para el servicio que la ocupación de un nido antiguo (Olendorff *et al.* 1996), principalmente debido a una mayor tasa de caída restos y excrementos.

Para reducir la incidencia potencial de la nidificación sobre las líneas de transporte de nuevo trazado es fundamental, pues, recurrir a modelos de torre doble circuito frente a las cabeza de gato o similares. En el caso de líneas ya instaladas con este último modelo, la utilización de disuasores eficaces y plataformas de nidificación artificiales, ya sea en el mismo cuerpo de la torre o en sus inmediaciones, son las únicas medidas que se pueden recomendar para atajar la problemática descrita.

Finalmente, debemos decir que las actuaciones sobre torres ocupadas por nidos, que busquen la protección integral de las mismas frente a la nidificación,

pueden suponer la resolución puntual del problema en la torre inicialmente afectada, pero el traslado del mismo a torres adyacentes sobre las que la actuación de protección no haya sido prevista. En el caso de las colonias de nidificación de cigüeña blanca, las actuaciones de protección que impongan una limitación a la nidificación sobre determinadas torres ocupadas puede conducir a la extensión física de la colonia a nuevas torres y, en definitiva, la dispersión del problema. Esta consecuencia no es deseable en la medida en que la concentración de la problemática en un número reducido de torres facilita su control y corrección y rebaja costes.

PREVENCIÓN DE INCIDENCIAS: ESTUDIO DE LOS FACTORES INVOLUCRADOS EN LA NIDIFICACIÓN SOBRE TORRES DE LÍNEAS DE TRANSPORTE Y SU APLICACIÓN A LA PREDICCIÓN DE LA OCUPACIÓN DE LA RED POR NIDOS DE CIGÜEÑA Y CUERVO

ANTECEDENTES

En 1996, RED ELÉCTRICA puso en marcha un estudio para identificar los factores asociados a la presencia de aves nidificantes en torres de transporte y detectar pautas comunes de nidificación utilizables en la predicción de la ocupación de la red por nuevos nidos. En concreto, el interés principal del estudio radicó en la elaboración de una herramienta metodológica que permitiera identificar los puntos de la red y las torres con mayor probabilidad de ser ocupados por las dos especies nidificantes más frecuentes: el cuervo y la cigüeña blanca.

MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el cuadrante suroccidental de la Península Ibérica, incluyendo las provincias españolas con mayor presencia de cigüeñas nidificantes sobre la red de transporte de electricidad: Huelva, Cádiz, Sevilla, Córdoba, Málaga, Granada, Jaén, Badajoz, Cáceres, Ciudad Real, Toledo, Madrid, Ávila, Segovia y Salamanca. Se estudió la totalidad de la red de transporte de RED ELÉCTRICA comprendida por este ámbito (51 líneas), así como un conjunto adicional de líneas entre 66 y 220 kV pertenecientes a otras compañías (50 líneas).

Se utilizaron registros correspondientes a 239 nidos de cigüeña y 68 nidos de cuervo, presentes respectivamente en 172 y 65 torres. Estos nidos, en su mayoría, eran conocidos con anterioridad, aunque algunos fueron localizados por primera vez durante las prospecciones realizadas para este estudio. Asumimos que se obtuvieron registros de la práctica totalidad de los nidos de cigüeña presentes en líneas de transporte del ámbito de estudio y de un elevado porcentaje de los de cuervo.

La localización de cada torre ocupada por nidos se precisó en mapas topográfico a escala 1: 50000, utilizándose un total de 23 hojas de la serie L del Servicio Geográfico del Ejército. Otras 23 hojas de la misma serie, en las que no

Tabla 2. Valores medios (\pm error estándar) de las variables incluidas en el análisis discriminante de la localización de los núcleos de nidificación de cigüeña blanca sobre torres de transporte de electricidad.

VARIABLE	NÚCLEOS	CONTROL
Distancia a la masa arbórea más cercana (m)	268,9 \pm 61,9	511,7 \pm 102,7
Distancia a la carretera más cercana (m)	825,0 \pm 106,6	534,8 \pm 74,7
Dist. al núcleo de población más cercano. (m)	5.014,6 \pm 638,7	5.320,1 \pm 665,4
Dist. a la población con más de 5000 h. (m)	13.106,7 \pm 1636,8	14.246,3 \pm 2518,6
Distancia a la masa de agua más cercana (m)	2.578,7 \pm 471,4	9.802,4 \pm 1529,6
Kilómetros de carretera en un radio de 5 km	26,4 \pm 1,4	27,1 \pm 3,1
Altitud sobre nivel del mar (m)	256,6 \pm 34,5	485,6 \pm 41,1
Índice de relieve ⁽¹⁾	15,7 \pm 1,8	26,8 \pm 3,0
Coord. longitudinales	5°55'	5°12'
Coord. latitudinales	38°29'	38°30'
Temp. media del mes más frío (°C)	8,1 \pm 0,3	7,4 \pm 0,3
Temp. media del mes más cálido (°C)	25,2 \pm 0,2	26,1 \pm 0,3
Duración del período de heladas (mes)	4,0 \pm 0,2	4,6 \pm 0,2
Índice de continentalidad (°C) ⁽²⁾	17,0 \pm 0,3	18,8 \pm 0,2
Precipitación media anual (mm)	665,9 \pm 19,9	604,8 \pm 15,7
Déficit hídrico medio anual (mm)	514,6 \pm 11,6	541,2 \pm 11,8
Duración del período de sequía (m)	4,3 \pm 0,1	4,7 \pm 0,1
Cultivos de regadío (%) ⁽³⁾	4,2 \pm 0,7	5,9 \pm 2,2
Cultivos intensivos de secano (%) ⁽³⁾	24,5 \pm 3,3	24,7 \pm 3,1
Cultivos arbóreos y repoblaciones (%) ⁽³⁾	32,9 \pm 4,4	20,3 \pm 2,7
Hábitats (semi)naturales (%) ⁽³⁾	30,2 \pm 3,5	44,3 \pm 4,6
Terreno improductivo (%) ⁽³⁾	8,2 \pm 1,0	4,8 \pm 0,5

⁽¹⁾ Número de veces que dos líneas perpendiculares de 10 km de longitud, cruzadas sobre el punto, cortan curvas de nivel de 40 m

⁽²⁾ Temperatura media del mes más cálido - temperatura media del mes más frío

⁽³⁾ Porcentaje de la superficie de la hoja en que se localiza el núcleo (serie L) dedicada a cada tipo de aprovechamiento

se localizaron nidos pero si líneas de transporte fueron seleccionadas al azar para servir como hojas "control" en los análisis. En dichas hojas se seleccionaron a su vez torres "control", sin nidos, también de forma aleatoria. Se dispuso así de dos conjuntos de datos para cada especie estudiada: torres y hojas con nidos y torres y hojas sin nidos.

Cada torre fue caracterizada midiendo el valor de un conjunto de variables de su entorno así como determinados atributos técnicos de la torre que, a priori, guardaban alguna relación con la probabilidad de su ocupación por las aves. Las variables fueron medidas directamente en el campo o sobre mapas topográficos a escala 1:100000 y mapas de cultivos y aprovechamientos a escala 1:50000.

En el caso de la cigüeña se optó por considerar como unidad de muestreo el núcleo de nidificación en vez de la torre, haciendo corresponder a dicho núcleo el valor mediano de las variables estimadas para el conjunto de las torres del

Tabla 3. Resumen de resultados del análisis discriminante de la localización de los núcleos de nidificación de cigüeña sobre líneas de transporte. Se proporciona el valor de los siguientes parámetros: l = lambda de Wilks, l_p = lambda de Wilks parcial, F = valor de F asociado a l_p ($F_{1,74}$), P = valor de probabilidad asociado a la F , $c.bruto$ = coeficiente bruto de la función discriminante, $c.est$ = coeficiente estandarizado de la función discriminante.

<u>VARIABLES</u>	<u>L</u>	<u>L_p</u>	<u>F</u>	<u>P</u>	<u>C.BRUTO</u>	<u>C.EST.</u>
Incluidas en el modelo						
Distancia a embalse, etc.	0.604	0.867	11.370	0.0012	0.882	0.546
Indice de continentalidad	0.652	0.802	18.220	0.0001	0.366	0.679
Duración del per. de sequía	0.595	0.879	10.144	0.0021	1.004	0.576
Distancia a carretera %	0.538	0.972	2.109	0.1506	-0.653	-0.244
Superficie de secano	0.545	0.960	3.098	0.0825	-0.003	-0.392
Distancia a masa arbolada (constante)	0.534	0.981	1.469	0.2293	0.194	0.242
					12.038	

COEFICIENTES DE LA FUNCIÓN DE CLASIFICACIÓN

	<u>Núcleos</u>	<u>Control</u>
Distancia a embalse, etc.	7.398	9.060
Indice de continentalidad	6.346	7.036
Duración del período de sequía	18.035	19.927
Distancia a carretera	22.268	21.036
% Superficie de secano	-0.410	-0.453
Distancia a masa arbolada	3.795	4.161
Constante	-132.824	-155.471

MATRIZ DE CLASIFICACIÓN

	<u>Núcleos</u>	<u>Control</u>
Núcleos	77.50 %	—
Control	—	90.24 %
Total	83.95 %	

núcleo. La localización del núcleo en la red se hizo corresponder con la de la torre más centrada del mismo, considerando que una torre pertenecía a un núcleo de nidificación cuando la distancia de la misma a la torre más cercana de dicho núcleo no era superior a 1 km. Para el cuervo, la unidad de muestreo fue la torre.

Los distintos conjuntos de datos fueron sometidos a un análisis discriminante por pasos con el objeto de identificar las variables con mayor peso en la discriminación entre torres ocupadas por nidos y torres no ocupadas por nidos (torres control).

Tabla 4. Valores medios (\pm error estándar.) de las variables usadas en el análisis discriminante de la selección de torres por los cuervos.

Variable	Con nido	Control
Altura de la torre (m)	29.5 \pm 0.97	28.3 \pm 1.1
Distancia al árbol mas cercano (m)	253.6 \pm 47.7	139.4 \pm 30.2
Dist. a la masa arbolada más cercana (m)	398.8 \pm 75.7	815.6 \pm 265.1
Altura del soporte mas cercano (m)	10.9 \pm 1.3	9.2 \pm 0.8
Distancia al soporte mas cercano (m)	132.8 \pm 19.6	52.9 \pm 10.9
Alt. de la torre eléctrica mas cercana (m)	28.0 \pm 1.3	26.5 \pm 1.3
Dist. a la carretera más cercana (m)	893.8 \pm 75.9	508.5 \pm 62.6
Dist. al carril más cercano (m)	411.2 \pm 39.8	241.9 \pm 24.8
Dist. al caserío más cercano (m)	706.9 \pm 58.9	605.0 \pm 62.3
Dist. a la población más cercana (m)	4401.9 \pm 432.9	5016.9 \pm 504.4
Dist. a la zona húmeda más cercana (m)	6281.9 \pm 824.6	7435.4 \pm 882.8
Dist. al arroyo más cercano (m)	1378.1 \pm 157.3	1817.7 \pm 192.6
Altitud sobre nivel del mar (m)	383.6 \pm 22.4	480.8 \pm 32.5
Indice de relieve	25.7 \pm 1.7	30.1 \pm 2.3
Km de carretera en un radio de 5 km	24.7 \pm 1.1	25.9 \pm 1.4

Tabla 5. Resumen de resultados del análisis discriminante de la localización de las torres de líneas de transporte ocupadas por nidos de cuervo. Se proporciona el valor de los siguientes parámetros: l = lambda de Wilks, l_p = lambda de Wilks parcial, F = valor de F asociado a l_p ($F_{1,125}$), P = valor de probabilidad asociado a la F , c_{bruto} = coeficiente bruto de la función discriminante, c_{est} = coeficiente estandarizado de la función discriminante.

VARIABLES	L	L_p	F	P	C.BRUTO	C.EST.
Incluidas en el modelo						
Distancia a la carretera.	0.799	0.856	21.059	0.0001	1.936	0.681
Dist. al poste más cercano	0.797	0.858	20.670	0.0001	1.550	1.043
Dist. a la masa arbolada	0.753	0.909	12.556	0.0006	-0.611	0.576
Dist. al arroyo (constante)	0.702	0.974	3.357	0.0693	-0.488	-0.290
					-5.172	

COEFICIENTES DE LA FUNCIÓN DE CLASIFICACIÓN

	Torres ocupadas	Torres control
Distancia a la carretera.	21.371	18.759
Dist. al poste más cercano	5.947	3.406
Dist. a la masa arbolada	-1.092	-0.267
Dis. tal arroyo	6.829	7.488
Constante	-44.874	-37.915

MATRIZ DE CLASIFICACIÓN

	Torres ocupadas	Torres control
Torres ocupadas	80.00 %	—
Torres control	—	70.77 %
Total	75.39 %	

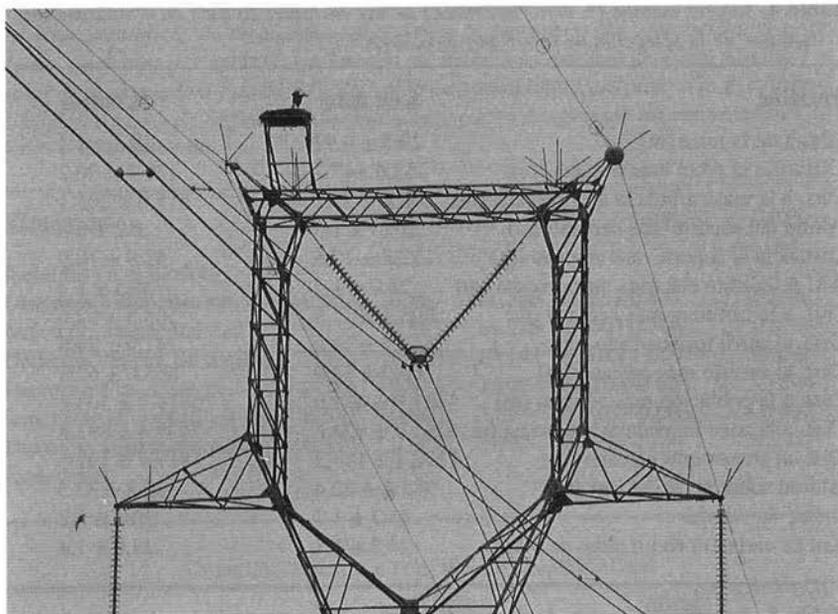


Foto 6. Modelo de torre cabeza de gato dotada de plataforma de nidificación (ocupada por un nido de cigüeña blanca) y disuasores de la nidificación instalados en el puente y las crucetas (varillas tipo EDF).

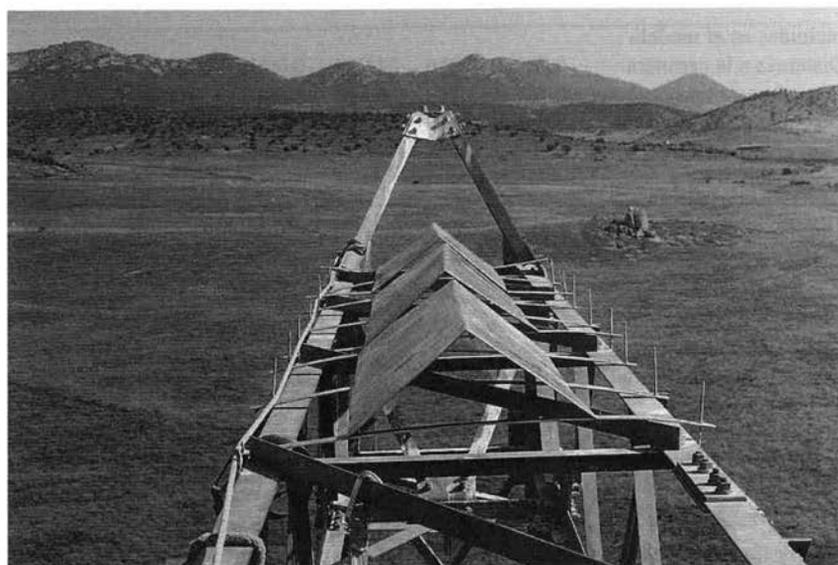


Foto 7. Prototipos de un dispositivo disuasor de la nidificación de cigüeñas, instalados sobre la torre de ensayo de la línea Almaraz-Guadame.

Cuadro 1. *Determinación de la probabilidad de ocupación de un punto de la red de transporte por un núcleo de nidificación de cigüeñas*

Se calculará el valor de las siguientes expresiones para cada punto,

$$F1= 9.06(\log(DAG+1))+7.04(\log(ICO+1))+19.93(\log(DPS))+21.04(\log(DCA)) \\ -0.45(\sin(SSE))+4.16(\log(DMA+1))-155.47$$

$$F2= 7.40(\log(DAG+1))+6.35(\log(ICO+1))+18.03(\log(DPS))+22.27(\log(DCA)) \\ -0.41(\sin(SSE))+3.79(\log(DMA+1))-132.82$$

DAG= distancia a la zona húmeda más cercana (m)

ICO= índice de continentalidad (°C)

DPS= duración del período de sequía (en meses)

DCA= distancia de la carretera asfaltada más cercana (m).

SSE= porcentaje de superficie de la hoja (serie L) dedicada a cultivos intensivos de secano

DMA= distancia a la masa arbolada más próxima (m)

La probabilidad (expresada como %) con la que cada punto se podría ver ocupado por un núcleo de nidificación se calculará como:

$$P(\text{ocupación})=100(e^{F1}/(e^{F1}+e^{F2}))$$

Cuadro 2. *Determinación de la probabilidad de ocupación de un punto de la red de transporte por un nido de cuervo*

Se calculará el valor de las siguientes expresiones para cada punto,

$$F1= 21.37(\log(DCA+1))+5.50(\log(DSO+1))- 1.09(\log(DMA+1)) \\ +6.83(\log(DAR+1)) -44.87$$

$$F2= 18.76(\log(DCA+1))+3.41(\log(DSO+1))-0.27(\log(DMA+1)) \\ +7.49(\log(DAR+1))-37.92$$

DCA= distancia de la carretera asfaltada más cercana (m).

DSO= distancia al soporte adecuado para la cría más próximo (árbol alto, acantilado o torre eléctrica) (m)

DMA= distancia a la masa arbolada más próxima (m)

DAR= distancia al arroyo más próximo (m)

La probabilidad (expresada como %) con la que la torre podría verse ocupada por un nido de cuervo se calculará como:

$$P(\text{ocupación})=100(e^{F1}/(e^{F1}+e^{F2}))$$

RESULTADOS

CARACTERÍSTICAS DEL ENTORNO DE LOS NIDOS SOBRE TORRES DE TRANSPORTE DE ELECTRICIDAD. En función de las características fisionómicas predominantes en el paisaje, el entorno de cada torre fue clasificado en distintos tipos de hábitats. Estos hábitats fueron agrupados posteriormente en cinco grandes categorías (Tabla 1).

La distribución observada de los nidos por grandes tipos de hábitat difiere de la de las torres control, tanto para la cigüeña ($\chi^2=12.733$, 4 gl, $P=0,0127$) como para el cuervo ($\chi^2=10.489$, 4 gl, $P=0,0329$), y son diferentes entre especies ($\chi^2=15.328$, 4 gl, $P = 0,0041$), lo que pone en evidencia la existencia de dos patrones de selección de hábitat de nidificación diferenciados.

Las cigüeñas seleccionan positivamente las torres situados en cultivos herbáceos, pero no los localizados en hábitats forestados y cultivos leñosos (olivar). Los cuervos, por su parte, seleccionan torres en hábitats naturales deforestados (matorrales, pastizales, eriales), pero no en zonas de cultivos herbáceos. En conjunto, ambas especies tienden a nidificar más frecuentemente sobre torres de transporte en hábitats desforestados, esto es, cuando escasean otros soportes adecuados para los nidos.

La mayor disponibilidad de un modelo de torre no se traduce necesariamente en un elevado número de torres ocupadas, tanto entre las cigüeñas ($\chi^2=2.674,83$, 5 gl, $P<0,001$) como entre los cuervos ($\chi^2=227,30$, 5 gl, $P<0,001$) y la predilección por los modelos de torre también difiere entre ambas ($\chi^2=577,10$, 5 gl, $P<0,001$). El modelo cabeza de gato es el más seleccionado por ambas especies, pero sobre todo por los cuervos.

La cigüeña selecciona para nidificar, con una frecuencia mayor a la esperada, torres de líneas sin cable de tierra: así, el 64% de las torres ocupadas por la especie carecen de este cable, mientras que las mismas torres sólo representan el 13% de las de control ($\chi^2=92,13$, 1 gl, $P<0,001$). El cuervo, por el contrario, sigue un patrón opuesto, con sólo un 6% de torres sin cable de tierra ocupadas, porcentaje que no difiere significativamente del esperado ($\chi^2=2,47$, 1 gl, $P=0,116$). Se deduce que la presencia de cable de tierra en determinados diseños de torre puede suponer para las cigüeñas un serio inconveniente (quizás porque interfiera con las maniobras de posada y despegue de las aves), lo que determina que sean seleccionados con menor frecuencia que la esperada. El cuervo, por su menor tamaño y capacidad de maniobra en vuelo, esta especie no debe tener tantos problemas como la cigüeña con los cables de tierra.

ANÁLISIS DE LOS FACTORES ASOCIADOS A LA LOCALIZACIÓN DE NÚCLEOS DE NIDIFICACIÓN DE CIGÜEÑAS SOBRE TORRES DE LÍNEAS DE TRANSPORTE. Se ha tratado la información correspondiente a 40 núcleos de nidificación de cigüeñas, con un total de 239 nidos y 172 torres ocupadas. El tamaño de los núcleos osciló entre 1 nido en 1 torre (11 casos) y 31 nidos distribuidos entre 12 torres (1 caso).

Se planteó un análisis discriminante de 22 de las variables estimadas en el entorno de cada torre ocupada (Tabla 2). El valor de dichas variables para cada núcleo se calculó como el valor mediano de los valores correspondientes a todos los nidos del núcleo.

Sólo 6 de las 22 variables son consideradas por el modelo como determinantes de la localización de los núcleos (Tabla 3). El 77.5% de los núcleos utilizados en el análisis son clasificados correctamente por el modelo, así como el 90.2% de los puntos control; en conjunto, la clasificación correcta de los casos por el modelo de las 6 variables alcanza el 84% de los casos. Las variables seleccionadas fueron las siguientes:

- la proximidad a una zona húmeda, embalse o río caudaloso (con incidencia positiva sobre la presencia de núcleos de nidificación)
- el índice de continentalidad (temperatura del mes más cálido - temperatura media del mes más frío) (con incidencia negativa)
- la duración del período de sequía estival (con incidencia negativa)
- la proximidad a una carretera asfaltada (con incidencia negativa)
- la representación de los cultivos de secano en el entorno (con incidencia positiva)
- la proximidad a una masa arbolada (con incidencia positiva).

En resumen, los núcleos de nidificación de cigüeña sobre torres de transporte están mejor representados en hábitats que se caracterizan por unas adecuadas posibilidades de alimentación (proximidad a zonas húmedas, adecuadas condiciones climatológicas para la especie), pero en ambientes abiertos donde otros soportes adecuados no abundan (cultivos de secano). La proximidad a una masa arbolada puede haber quedado seleccionada en la medida en que éstas masas, cuando se localizan entre cultivos de secano, suelen estar asociada a ambientes de ribera, seleccionados positivamente por las cigüeñas.

ANÁLISIS DE LOS FACTORES ASOCIADOS A LA NIDIFICACIÓN DE CUERVOS SOBRE LÍNEAS DE TRANSPORTE. El análisis de la nidificación de cuervos se planteó en base a un conjunto de 15 variables estimadas en el entorno de 65 nidos de cuervo y otros tantos puntos de control (Tabla 4). El análisis discriminó 4 de estas variables, con una clasificación correcta del 80,0% de las torres ocupadas por nidos y del 70,8% de las torres control (porcentaje conjunto del 75,2%; Tabla 5).

Se concluye que la probabilidad de ocupación de una torre por un nido de cuervo se asocia a los siguientes factores:

- la proximidad a una carretera asfaltada (con incidencia negativa)
- la proximidad a otro tipo de soporte alternativo para el nido (con incidencia negativa)
- la proximidad a masas arboladas (con incidencia positiva)
- la proximidad a arroyos (con incidencia negativa).

La variable con mayor peso en la función discriminante es la distancia al soporte alternativo para el nido más cercano (torre eléctrica o árbol). Esta distancia coincide, en el 70% de los casos, con la distancia al árbol más cercano, lo que nos permite deducir que el cuervo tiende a nidificar sobre torres de transporte cuando escasean los árboles adecuados para la cría. La variable "distancia a la carretera más cercana" nos está indicando que esta selección tiene en cuenta, además, la "tranquilidad" del entorno o la menor presencia humana en el mismo. Ausencia de soportes adecuados y escasa interferencia humana parecen ser, pues, los factores más condicionantes, de la selección de una torre de transporte de electricidad como soporte de un nido de cuervo.

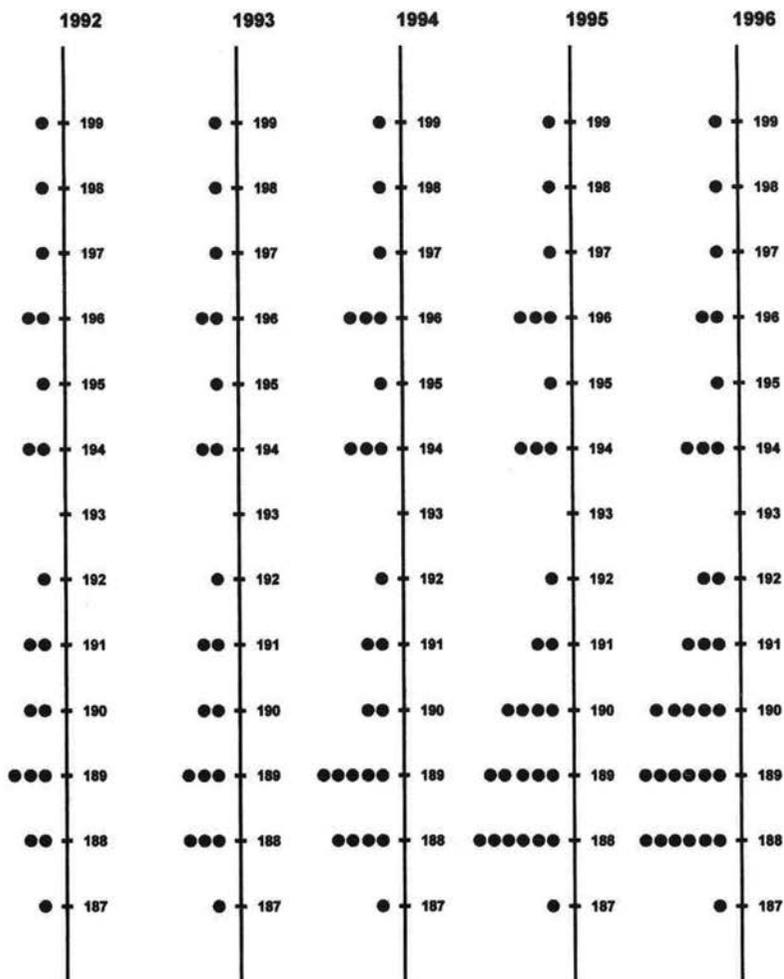


Figura 3. Distribución de los nidos de cigüeña por torres en la colonia de cría de la línea ALZ-GMD entre 192 y 1996. Los nidos se representan como puntos para reflejar el proceso de concentración de nidos en las torres 188 a 190.

APLICACIÓN DE LOS RESULTADOS A LA PREVENCIÓN DE LA APARICIÓN DE NIDOS SOBRE LÍNEAS DE TRANSPORTE DE ELECTRICIDAD

El análisis discriminante realizado sobre la presencia de nidos de cigüeña y cuervo en la red de transporte permite generar sendas funciones matemáticas (funciones de clasificación), que, con un margen de error conocido, permiten a su vez estimar la probabilidad de aparición de un nido en determinado punto de la red existente o proyectada.

En líneas generales podemos afirmar que la cigüeña blanca nidifica sobre torres de líneas de transporte cuando en la proximidad de los mismos se reúnen unos requisitos mínimos para su alimentación con éxito (zonas húmedas, escasa duración del período de sequía, terrenos llanos) pero no existe una elevada disponibilidad de soportes adecuados para la cría (zonas dominadas por los cultivos de secano), en ambientes relativamente tranquilos en lo que se refiere a la actividad humana (baja densidad de carreteras). Por su parte, el cuervo, con una presencia más amplia en todo tipo de hábitats y unos requerimientos tróficos más fáciles de satisfacer, tenderá a nidificar sobre torres de líneas de transporte sólo si una escasa presencia humana en el entorno de la torre lo permite y cuando la disponibilidad de soportes adecuados sea baja. En consonancia con estos resultados, es posible predecir qué puntos de la red de transporte reúnen condiciones para ser ocupados por parejas nidificantes de ambas especies, así como la probabilidad teórica de ocupación de dichos puntos por nidos de estas aves.

Para estimar la probabilidad de ocupación de un punto de la red por nidos de cigüeña o cuervo se elaboraron sendos procedimientos matemáticos, sintetizados en los cuadros 1 y 2. Partiendo del valor de variables estimadas sobre mapas topográficos y mapas de aprovechamientos y cultivos, se calcula el valor de expresiones matemáticas cuya relación proporciona el valor de la probabilidad buscada en cada punto. Es este el valor que se debe utilizar para evaluar la probabilidad de ocupación de un punto determinado de la red por alguna de estas especies.

Hay que señalar que existe una diferencia importante entre ambas especies estudiadas, que condiciona la aplicabilidad de estos procedimientos a la prevención de incidencias en la red de transporte. La cigüeña es, actualmente, un ave en expansión en la Península Ibérica (SEO/Birdlife 1997), que con frecuencia pasa a colonizar nuevos ámbitos, especialmente cuando puede recurrir a las torres eléctricas como soporte para sus nidos (Senra y Alés 1992). De el cuervo, sin embargo, no se puede decir lo mismo, y su tendencia poblacional es hacia la regresión (SEO/Birdlife 1997), por lo que la probabilidad con la que nuevas torres pasarán a ser ocupadas por nidos es inferior a la asociada a la nidificación de cigüeñas. En consecuencia, actualmente sólo alcanza pleno sentido la aplicación de una herramienta para predecir la aparición de nidos en torres en el caso de la cigüeña blanca, máxime cuando se trata de la especie con mayor incidencia sobre el servicio de transporte de electricidad.

LA CORRECCIÓN DE INCIDENCIAS: ESTUDIOS EN LA COLONIA DE NIDIFICACIÓN DE CIGÜEÑAS SOBRE TORRES DE LA LÍNEA ALMARAZ-GUADAME

ANTECEDENTES

La línea a 400 kV Almaraz-Guadame (ALZ-GMD), con torres del tipo "cabeza de gato", aloja a su paso por el Valle de Alcudia (Ciudad Real) una colonia de nidificación de cigüeñas blancas que ha sido objeto de seguimiento por parte de RED ELÉCTRICA prácticamente desde su formación.

La colonia de cigüeñas contaba hasta 1997 de 31 nidos distribuidos en un tramo de 13 torres, de las cuales una no se encontraba ocupada por las aves. Desde 1993, la colonia ha sido objeto de un seguimiento continuado, existiendo registros anteriores sobre la presencia de nidos de cigüeña en dicho tramo. Pero fue a partir de 1994, con la adopción de unas primeras medidas para reducir la incidencia de la nidificación, cuando la línea y la colonia pasaron a conformar lo que hoy conocemos como el primer laboratorio natural para el estudio de las interacciones entre las cigüeñas nidificantes y las líneas de transporte. Esta consideración es el resultado de un amplio programa de estudios realizados en dicha colonia, enfocados a la caracterización y análisis del comportamiento de las cigüeñas y al ensayo y valoración de actuaciones correctoras o mitigadoras del impacto de estas aves sobre el transporte de electricidad.

ACTUACIONES REALIZADAS EN LA LÍNEA ALMARAZ-GUADAME

En 1992, la colonia constaba 19 nidos en 12 torres, con una ocupación máxima de tres nidos en una de las torres. Para reducir la incidencia de los nidos sobre el servicio, RED ELÉCTRICA decidió trasladar, al inicio del período reproductivo de 1993, 12 de esos nidos a plataformas artificiales (una por torre). Estas plataformas son estructuras metálicas ancladas al puente superior y elevadas sobre el mismo, formadas por un marco metálico cuadrado que sujeta un enmallado también metálico. La plataforma se encuentra sujeta al puente por un sistema de anclaje que la desplaza con respecto al eje vertical de la torre, limitando así la probabilidad de caída de restos y excrementos desde el nido sobre la cadena de aisladores.

Durante 1994 y 1995 se llevaron a cabo muestreos continuados del comportamiento de las cigüeñas sobre las torres, prestando especial atención al uso por parte de las parejas reproductoras, pero también al comportamiento de los jóvenes y de los subadultos durante sus primeros intentos de nidificación.

En 1995 la colonia se encontraba formada ya por 29 nidos. A finales de este año RED ELÉCTRICA decidió proceder al ensayo de un tipo de elemento disuasor de la posada de las aves, un modelo de varillas suministrado por Electricité de France (EDF), ensayado con éxito por esta compañía eléctrica francesa. Estas varillas, de 1 m de longitud y 2 cm de diámetro fueron instaladas en forma de una sola varilla o en grupos de 2 ó 3 en puntos conflictivos para el servicio, para lo que fue necesario proceder a la retirada de 8 nidos. El seguimiento de la nidificación y el estudio del comportamiento de nidificación de las cigüeñas ante la presencia de los disuasores se llevó a cabo en 1996.

Finalmente, en 1997 se dio comienzo a un programa de diseño de nuevos disuasores de la nidificación, proyecto que continúa a lo largo de 1998 con el ensayo de varios prototipos de medidas disuasores y que tiene prevista su finalización en 1999 con el seguimiento de la eficacia de los disuasores una vez instalados en líneas problemáticas. Para ello fue necesaria la construcción de una torre de ensayo, de características idénticas a las de la línea ALZ-GMD localizada en su proximidad, así como el levantamiento de otra torre similar a las torres cabeza de gato en la inmediatez de la colonia de nidificación de cigüeñas de la Dehesa de Abajo (Puebla del Río, Sevilla), la mayor colonia de cigüe-

ñas sobre árboles en la Península Ibérica. Con el levantamiento de estas estructuras y el inicio de este proyecto, terminó por consolidarse un laboratorio natural para el estudio de las interacciones entre las especies de aves nidificantes y las líneas de transporte de electricidad.

EFICACIA DE LAS PLATAFORMAS DE NIDIFICACIÓN ARTIFICIALES

Tras la colocación de 12 plataformas artificiales en la línea y el desplazamiento de otros tantos nidos a las mismas, entre 1994 y 1995 se llevaron a cabo muestreos continuados del comportamiento de las cigüeñas sobre las torres a lo largo de dos estaciones reproductivas, abarcando desde los primeros momentos de construcción y reconstrucción de los nidos hasta la fase de emancipación de los jóvenes.

Entre los resultados más destacados del seguimiento, cabe destacar los siguientes:

- las cigüeñas aceptaron plenamente las plataformas como nuevo soporte para sus nidos, con lo que se redujo la caída de restos y excrementos sobre las cadenas de aisladores desde los nidos desplazados;
- los lugares dejados libres con el desplazamiento de nidos a plataformas fueron ocupados rápidamente por nuevas parejas nidificantes, con lo que se reprodujo o incrementó el problema causado por los nidos originales;
- con la instalación de plataformas se incrementó el número máximo de parejas nidificantes que podía alojar una torre;
- el incremento en el número de nidos por torre se tradujo, aparentemente, en un mayor atractivo de las torres como lugar de nidificación para nuevas parejas;
- los nidos de nueva construcción o reconstruidos (al ser retirados los nidos originales) se mostraron más problemáticos para el servicio de transporte de electricidad: la tasa de caída de restos desde los mismos fue muy superior durante las primeras fases de construcción del nido;
- los nidos fueron los lugares más frecuentados por las aves, mientras que otros puntos de la torre sin nidos apenas fueron usados durante la mayor parte del período reproductor; ello significa que la reubicación de nidos problemáticos a otros puntos de menor incidencia se traduciría en una menor presencia de las aves en dichos puntos problemáticos;
- forme de los mismos; esto se tradujo en un incremento en la problemática causada por las aves en dichas torres, aunque con una incidencia más predecible y localizada.

El uso de plataformas artificiales para propiciar la nidificación de aves sobre líneas eléctricas es hasta cierto punto frecuente, tanto para favorecer a especies con problemas de disponibilidad de puntos adecuados para la cría (Olendorff *et al.* 1981) como para resolver problemas causados al servicio por los nidos (Lee 1980, Van Daele 1980). En el caso de la cigüeña blanca, el principal problema que se ha identificado en relación con la utilización de estas plataformas se deriva del carácter colonial de la especie: con el traslado de nidos a plataformas se deja libre un punto muy adecuado para el establecimiento de una nueva pareja, hecho que ha ocurrido con frecuencia en la colonia estudiada. Se trata de un

comportamiento que no se debe esperar de otras aves que nidifican en solitario, con marcado carácter territorial.

La instalación de plataformas debe ser, pues, una medida a utilizar sólo en combinación con dispositivos disuasores de la nidificación instalados en los puntos problemáticos. De otra forma, el efecto conseguido puede ser incluso contraproducente, pues con las plataformas se consigue incrementar la disponibilidad de puntos de nidificación en las torres, propiciando la concentración de nidos y la multiplicación de los problemas de mantenimiento. Una de las causas de la multiplicación de estos problemas se debe a la mayor tasa de caída de restos desde nidos en construcción que desde nidos ya construidos, un fenómeno ya detectado con anterioridad en distintos estudios (Stahlecker y Griese 1979, Lee 1980).

EFICACIA DE LOS DISPOSITIVOS CONFORMADOS POR VARILLAS (MODELO EDF)

A finales de 1995, RED ELÉCTRICA decidió la instalación de dispositivos disuasores conformados por varillas (modelo EDF) en las torres ocupadas por nidos. Se derribaron ocho nidos y se colocaron disuasores en su lugar, así como en otros puntos de las torres no ocupados por nidos; incluso en algunos puntos se instalaron dichos disuasores sin retirar los nidos, confiando en que su presencia evitaría su reocupación en la temporada de nidificación entrante. Otros ocho nidos no fueron alterados. Hay que señalar que el objeto de esta actuación no era impedir la nidificación en las torres, sino dificultar la construcción u ocupación de los nidos situados en los puntos más problemáticos para el servicio.

El programa de seguimiento realizado en la temporada de nidificación de 1996 arrojó los siguientes resultados:

- los dispositivos instalados no impidieron la reconstrucción de los nidos derribados, ni la reocupación de los no derribados pero dotados de disuasores de la posada; este efecto se debió a una incompleta protección de dichos puntos, a los que las cigüeñas podían acceder desde otros puntos no protegidos;
- a pesar de su falta de eficacia, los disuasores pudieron ejercer cierta influencia en la selección del lugar de nidificación por parte de nuevas parejas reproductoras, que tendieron a evitar los puntos protegidos;
- la presencia de los disuasores en las torres pareció afectar al uso de las mismas por las cigüeñas, que pasaron a ocupar con mayor frecuencia que en otros años puntos de posada distintos a los nidos.

Se pudo concluir, por tanto, la falta de eficacia de los dispositivos modelo EDF, o más bien de la disposición ensayada, ya que algunos indicios obtenidos apuntaron en la dirección de que una protección más intensa del puente superior de las torres podría ofrecer resultados satisfactorios. Se trataría de proteger además puntos de las torres no problemáticos pero que permiten el acceso a otros puntos con mayor repercusión sobre el servicio (como es el caso de los puntos de anclaje de los cables de tierra). Sin embargo podría tratarse de una solución muy costosa en términos de materiales empleados y tiempo de colocación de las medidas. Por otro lado, la barrera anti-nidificación así conformada podría suponer una barrera igualmente infranqueable para los operarios del servicio de

mantenimiento, quienes verían tremendamente dificultado su desplazamiento por la viga superior de las torres y su acceso a determinados puntos.

La falta de una respuesta positiva a la protección de las torres con estos disuasores impulsó a RED ELÉCTRICA a dar un nuevo salto en el estudio de las interacciones entre cigüeñas y torres eléctricas, y más concretamente en la resolución de la problemática de nidificación sobre puntos problemáticos para el servicio.

DISEÑO Y ENSAYO DE MEDIDAS DISUASORIAS DE LA NIDIFICACIÓN

Con los resultados de los estudios anteriores quedó patente que la problemática de nidificación de cigüeñas sobre torres de transporte exige, para su solución, una aproximación particular a las características de la especie y de las torres sobre las que nidifica en la Península Ibérica, dados los malos resultados obtenidos con medidas importadas de otros ámbitos (como las varillas EDF, posiblemente eficaces con otras especies de aves y en otros modelos de torre, pero ineficaces para impedir la nidificación de cigüeñas en torres “cabeza de gato”).

En 1997 RED ELÉCTRICA dio inicio a un ambicioso proyecto, que continúa en la actualidad, con el objeto de encontrar dispositivos disuasores de la nidificación eficaces, baratos y susceptibles de ser instalados en un elevado número de torres de líneas con problemas de nidificación. El proyecto se planificó para ser realizado en tres fases:

- de dispositivos.
- ensayo de los dispositivos en condiciones experimentales sobre torres levantadas “ex profeso” (laboratorio natural).
- validación de la eficacia de los dispositivos en torres con problemas de nidificación.

A finales de 1997 se dio por finalizada la primera fase del estudio con la elaboración de un catálogo de prototipos que podrían resultar eficaces instalados sobre torres de distintos modelos, pero enfocados específicamente a resolver los problemas de nidificación de cigüeñas en torres tipo “cabeza de gato”. Un conjunto de dichos dispositivos fue fabricado por una empresa de materiales del sector eléctrico y se planificó una secuencia de ensayo de los mismos sobre torres levantadas en la proximidad de la colonia de nidificación de cigüeñas de la línea Almaraz- Guadame y en la colonia de nidificación sobre árboles en la Dehesa de Abajo (Puebla del Río, Sevilla).

En el momento de escribir estas líneas (primavera de 1998) se había procedido ya al ensayo de varios de estos dispositivos, existiendo indicios suficientes de que algunos de ellos puedan ser considerados, con ligeras variaciones con respecto a los modelos ensayados, medidas anti-nidificación eficaces en puntos conflictivos. El proyecto de validación de éstos dispositivos en la temporada de cría de 1999, en líneas en tensión con nidos problemáticos, debería corroborar estos resultados y conducir de forma definitiva al hallazgo de disuasores eficaces, baratos, de fácil instalación, válidos para cualquier tipo de torre y de tensión de la línea, que no supongan un estorbo para las labores de mantenimiento de las torres y que no impidan que las torres mantengan su papel ecológico como soporte de nidos de cigüeña y otras aves.

CONCLUSIÓN

El encadenado de proyectos de investigación aplicada (evaluación, prevención y corrección), específicamente orientados al estudio de las interacciones entre aves nidificantes y tendidos de transporte se ha mostrado como una herramienta válida para abordar la problemática de la nidificación en la red de alta tensión. Los sucesivos pasos dados con los distintos estudios realizados han supuesto el que RED ELÉCTRICA se encuentre actualmente en condiciones de abordar de una forma definitiva la solución a muchos de los problemas causados por las aves nidificantes. Muy pocos aspectos de esta problemática no han quedado suficientemente cubiertos en los estudios llevados a cabo, que además han puesto de manifiesto el importante papel ecológico de las torres de líneas de transporte como soporte de nidos de avifauna amenazada.

Precisamente la línea de evaluación y fomento del papel ecológico de las torres es la que más oportunidades ofrece a la investigación futura de las interacciones entre las aves y el servicio de transporte de electricidad. La presencia de torres en ambientes naturales con suficiente capacidad de acogida para algunas especies de aves como rapaces, cuervos o cigüeñas, pero pobres en lugares adecuados para la nidificación de las mismas, puede ser utilizada como una herramienta válida para la conservación de dichas especies (Fitzner 1980, Nelson 1982, Olendorff *et al.* 1996). Por ello, se convierte en un reto para las compañías eléctricas como RED ELÉCTRICA el diseño de programas adecuados para el acondicionamiento de las torres de transporte como alternativa para la nidificación de estas aves amenazadas, una vez solucionados los problemas de mantenimiento que pudieran derivarse de su utilización.

AGRADECIMIENTOS

Guyonne Janss y Jesús Sánchez, encuadrados en el equipo de trabajo de A.T. Clave, participaron en el diseño, realización y discusión de los estudios reseñados en este capítulo. Miguel Ferrer, de la Estación Biológica de Doñana (C.S.I.C.) promovió su realización y realizó una labor de supervisión científica de los contenidos. La realización de estos estudios no hubiera sido posible sin la colaboración de Jorge Roig, del Departamento de Medio Ambiente, y del personal directivo y técnico de la Zonas de Operación y Mantenimiento de Sevilla y Madrid de RED ELÉCTRICA.

BIBLIOGRAFÍA

- CASTELLANOS, A. Y ORTEGA-RUBIO, A. 1995. Artificial nesting sites and ospreys at Ojo de Liebre and Gerrero Negro Lagoons, Baja California Sur, Mexico. *J. Field Ornithol.* 66(1): 117-127.
- CRAMP, S. Y SIMMONS, K. E. L. (EDS.) 1977. *The Birds of the Western Palearctic.* Oxford University Press, Oxford.
- ENGEL, K. A., YOUNG, L. S., STEENHOF, K., ROPPE, J. A. Y KOCHERT, M. N. 1993. Communal Roosting of common ravens in southwestern Idaho. *Wilson Bull.* 104(1):105-121.

- FITZNER, R. E. 1980. Impacts of a nuclear energy facility on raptorial birds. Pp. 9-33 en R. P. Howard y J. F. Gore (eds). Proc. Workshop on raptors and energy development. U.S. Dep. Inter., Fish Wildl. Serv., Boise. Id.
- JANSS, G., NAVAZO, V., ROIG, J., SÁNCHEZ, J. Y FERRER, M. 1996. Nidos de cigüeña blanca en torres de líneas eléctricas. *Quercus* 130: 18-22.
- KNIGHT, R. L. Y KAWASHIMA, J. Y. 1993. Responses of raven and red-tailed hawk populations to linear right-of-ways. *J. Wild. Manage.* 57(2), 266-271.
- LEDGER, J. A. 1988. Eskom Bird Identification Guide. Eskom, Johannesburgo.
- LEDGER, J. A., HOBBS, J. C. A. Y SMITH, T. V. 1993. Avian interactions with utility structures: Suthern African experiences. Pp. 4.1-4.11 en J. W. Huckabee (ed.): Procee. Of an International Workshop an Avian Interactions with Utility Structures. Electric Power Research Institute and Avian Power Line interactions Committee. Palo Alto. California.
- LEE, J. M. 1980. Raptors on the BPA transmission system. Pp. 41-51 en R. P. Howard y J. F. Gore (eds.) Proc. Workshop on raptors and energy development. U.S. Dep. Inter., Fish Wildl. Serv., Boise. Id.
- NAVAZO, V. Y ROIG, J. 1997. Estudio sobre la nidificación de aves en torres de líneas de tranporte de electricidad. Pp. 223-231 en Segundas Jornadas sobre Líneas Eléctricas y Medio Ambiente. RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, Madrid.
- NAVAZO, V., ROIG, J. Y LAZO, A. 1997. Características generales de las especies nidificantes en líneas de alta tensión. Datos para un manejo apropiado. Pp. 433-439 en Segundas Jornadas sobre Líneas Eléctricas y Medio Ambiente. RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, Madrid.
- NEGRO, J. J. 1987. Adaptación de los tendidos eléctricos al entorno. Monografías de Alytes, 1. Adenex, Mérida.
- NELSON, M. W. 1982. Human impacts on golden eagles: a positive outlook for the 1980's and 1990's. *Raptor. Res.* 16: 97-103.
- OLENDORFF, R. R., MILLER, A. D. Y LEHMAN, R. N. 1981. Suggested practices for raptor protection on power-lines: the state of the art in 1981. *Raptor Res. Rep. No. 4.* Rapt. res. Found., St. Paul, Minn. 111 pp.
- OLENDORFF, R. R., ANSELL, A. R., GARRETT, M. G., LEHMAN, R. N. Y MILLER, A. D. 1996. Suggested practices for raptor protection on power lines: the state of the art in 1996. *Avian Power Line interaction Committee*, 125 pp.
- SÁNCHEZ, A., BUENO, A., RODRÍGUEZ, J., GONZÁLEZ, F., ALVAREZ, A., RAMOS, V. Y CALDERA, J. 1997. Nidificación de aves en líneas eléctricas en Extremadura: problemática y manejo de conservación. Pp. 207-213 en. Segundas Jornadas sobre Líneas Eléctricas y Medio Ambiente. RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, Madrid.
- SENRA, A. Y ALÉS, E. E. 1992. The decline of the white stork *Ciconia ciconia* population of western Andalusia between 1976 and 1988: causes and proposals for conservation. *Biol. Conserv.* 61: 51-57.
- SEO/BIRDLIFE (EDS). 1997. Atlas de las Aves de España (1975-1995). Lynx Edicions, Barcelona.

- STAHLECKER, D.W. 1978. Effect of a new transmission line on wintering prairie raptors. *Condor*, 80: 444-446.
- STAHLECKER, D. W. Y GRIESE H. J. 1979. Raptor use of nest boxes and platforms on transmission towers. *Wildl. Soc. Bull.* 7: 59-62.
- STEENHOF, K. S., KOCHERT, M. N. Y ROPPE, J. A. 1993. Nesting by raptors and common ravens on electrical transmission line towers. *J. Wildl. Manage.* 57(2): 271-281.
- VAN DAELE, L. J. 1980. Osprey and power poles in Idaho. Pp. 104-112 *en* R.P. Howard and J.F. Gore, eds. *Proc. Workshop on raptors and energy development*. U.S. Dep. inter., Fish Wildl. Serv., Boise. Id.