

**INTERACCIONES A ESCALA NACIONAL ENTRE RAPACES
RUPÍCOLAS EN BASE A MODELOS DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL.**

**LOS CASOS DEL BUITRE LEONADO, ALIMOCHÉ Y ÁGUILA
PERDICERA.**



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

fundación



EQUIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación se ha desarrollado en la Universidad de Málaga, en colaboración con los técnicos de EDPR. El equipo que ha desarrollado el estudio ha estado conformado por:

Antonio-Román Muñoz Gallego, Doctor en Biología y Profesor de la Universidad de Málaga, **Raimundo Real Giménez**, Catedrático de Universidad, Vicedecano de Extensión Universitaria y Coordinador del Programa de Doctorado en Diversidad Biológica y Medio Ambiente en la Universidad de Málaga y **Ana Luz Márquez Moya**, Doctora en Biología e Investigadora contratada en la Universidad de Málaga.

La supervisión del trabajo la han realizado **Carlos Aguado de Luna** y **Tamara Castrillón Ramil**, por parte de EDPR

Fotografía de Portada: Juan Luis Muñoz.

Los dibujos de las aves son propiedad de Juan Varela Simó.

INDICE

EQUIPO DE INVESTIGACIÓN	2
1. INTRODUCCIÓN	4
2. OBJETIVOS.....	5
3. METODOLOGÍA DE TRABAJO	9
3.1 Especies objeto de estudio.....	9
3.2 Áreas de distribución de las especies objeto de estudio.	10
3.3 Área de estudio	11
3.4 Análisis de los datos	11
3.4.1. La modelación ambiental.....	11
3.4.2. Variables ambientales utilizadas	12
3.4.3. El uso de la función de Favorabilidad	12
3.4.4. La aplicación de la lógica difusa	13
4. RESULTADOS	16
4.1 Modelos ambientales	16
4.2 Procesos de exclusión competitiva	18
4.3 El cambio reciente del clima y la distribución del águila perdicera en España. ¿Cómo se espera que afecte a la especie?.....	20
5. CONCLUSIONES	21

1. INTRODUCCIÓN

Las rapaces diurnas se consideran como unos excelentes indicadores de los cambios en los ecosistemas y también de los impactos de la actividad humana en el medio natural. Se trata de un grupo formado por numerosas especies, que cubren un amplio espectro de requerimientos ecológicos y susceptibilidades frente a los cambios anteriormente mencionados. En el caso concreto de las grandes rapaces, grupo que incluye a las especies consideradas en este estudio, su presencia se ha asociado tradicionalmente con áreas de elevada biodiversidad e incluso han sido propuestas como especies emblemáticas apropiadas para ser el símbolo e imagen de campañas de conservación. En la actualidad todas las especies se encuentran protegidas legalmente y están incluidas en la Convención Internacional sobre el Comercio de Especies Amenazadas (CITES), además de en los catálogos nacional y autonómicos de especies amenazadas.

Aunque hay algunas especies que viven en colonias, es frecuente que las aves rapaces presenten comportamientos territoriales como consecuencia de fenómenos de competencia. Dicha competencia tiene lugar cuando se producen interferencias entre individuos y se acentúa cuando se da el caso en el que especies con requerimientos ecológicos similares comparten el mismo hábitat. En el caso del buitre leonado (*Gyps fulvus*), el alimoche (*Neophron percnopterus*) y el águila perdicera (*Aquila fasciata*) encontramos que las tres especies utilizan para nidificar sustratos rocosos, siendo el buitre una especie colonial mientras que alimoche y águila perdicera nidifican de manera solitaria. Al compartir el hábitat de nidificación, en aquellas zonas en las que los cortados rocosos son escasos podrían producirse fenómenos de exclusión competitiva. Además, buitre leonado y alimoche son especies carroñeras que comparten recurso alimenticio.

En las últimas décadas se ha detectado un crecimiento poblacional de buitre leonado sin antecedentes para ninguna otra especie de rapaz en el continente europeo, ampliando de manera notable su área de distribución y multiplicando por varios enteros el número de efectivos. Por el contrario, alimoche y águila perdicera presentan una situación y estado de conservación muy diferente. El alimoche mantiene sus efectivos poblacionales en la mitad norte peninsular, mientras que en la mitad sur está considerado "*En peligro crítico de Extinción*", y año tras año el contingente reproductor no para de disminuir. En el caso del águila perdicera se trata de una especie catalogada como "*Vulnerable*" y que ha sufrido una regresión generalizada durante las últimas décadas en Europa, siendo la población española la más importante en todo el continente.

El fuerte crecimiento poblacional del buitre leonado está asociado directamente con la ampliación de su área de distribución y la ocupación de nuevas zonas, en muchas de las cuales estaba presente el águila perdicera y también el alimoche. A escala local, y sirvan como ejemplo casos detectados en Andalucía, Asturias, Cantabria y Castilla y León, ya se han detectado fenómenos de ocupación por parte del buitre leonado de lugares de nidificación de alimoche y águila perdicera. En el presente estudio se ha profundizado en el conocimiento de este tipo de interacciones a escala nacional, en base a las áreas de distribución ocupadas por las tres especies y al efecto del tamaño de sus poblaciones.

2. OBJETIVOS

De un modo generalizado se define competencia como la interacción biológica entre seres vivos, en la que la presencia de una especie afecta o reduce la adecuación biológica de otra. Así, cuando dos especies distintas utilizan un mismo recurso, generalmente limitado, se produce una dinámica

de competencia. Algunos ejemplos de recursos que promueven la competencia son el alimento, el agua, o la disponibilidad de lugares donde vivir. La competencia, tanto en el seno de una misma especie (competencia intraespecífica) como entre especies diferentes (competencia interespecífica) es un tema de gran importancia en ecología, y especialmente en ecología de comunidades, ya que puede afectar a la estructura de las comunidades ecológicas.

Hay que considerar que la competencia es un proceso natural de todos los ecosistemas, si bien hay condiciones que pueden alterar el equilibrio existente entre las diferentes poblaciones, como la introducción de especies exóticas o el crecimiento poblacional de una especie, favorecido por condiciones no naturales. Este último es el caso del buitre leonado, especie central en el presente estudio que ha sufrido un crecimiento poblacional continuado en las últimas décadas, sin precedentes en una rapaz.

La exclusión competitiva puede estudiarse mediante modelos teóricos y matemáticos, y tradicionalmente se ha estudiado en laboratorio y a una escala muy pequeña; la propia ley de exclusión se formuló con levaduras (Gause, 1932). Sin embargo, la exclusión competitiva rara vez se observa en sistemas ecológicos naturales, y es más raro aún que se estudie a gran escala. Es este el motivo por el que el presente trabajo aborda una escala que incluye la España continental.

Los objetivos propuestos en la presente investigación son los siguientes:

1. Elaborar modelos de distribución para las tres especies a escala nacional, que pongan de manifiesto qué factores son los que

condicionan su presencia y permita distinguir entre zonas favorables y desfavorables.

2. Una vez obtenidos los modelos para cada especie, se plantea la elaboración de un método que permita establecer los niveles de interacción-competencia entre las diferentes especies a escala nacional (dicho método estará basado en lógica difusa (fuzzy logic) y debe ser de aplicación universal).
3. Si se encuentran interacciones significativas y de interés entre especies se procederá a identificar la especie afectada y las zonas de interacción. Se prestará especial atención al caso del buitre leonado y el alimoche, dado que las dinámicas poblacionales actuales de ambas especies en el área de estudio son muy diferentes; el buitre leonado experimenta un crecimiento continuado en todo el país y el alimoche presenta graves problemas de conservación en la mitad sur de España.
4. También se propone como objetivo plantear un método a partir del cual analizar el efecto del cambio del clima sobre la distribución de las especies. Para ello se contará con los escenarios de cambio de clima propuestos por el Panel Intergubernamental de Cambio del Clima (IPCC), considerando diferentes modelos de circulación atmosférica y también de emisiones.

A partir de los trabajos realizados en el presente estudio podrán acometerse numerosas aproximaciones encaminadas a la conservación y gestión de especies. Así, la información generada puede servir de base para

llevar a cabo aproximaciones aplicables directa o indirectamente a la explotación de la energía eólica y sus implicaciones en la conservación del medio natural.



Figura 1. Parques eólicos y cigüeñas. Comarca de La Janda (Cádiz).

3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para afrontar el estudio de las interacciones ecológicas entre las especies consideradas se han utilizado técnicas de **modelización espacial** y se han considerado los efectos de las **interacciones bióticas a gran escala**.

3.1 Especies objeto de estudio

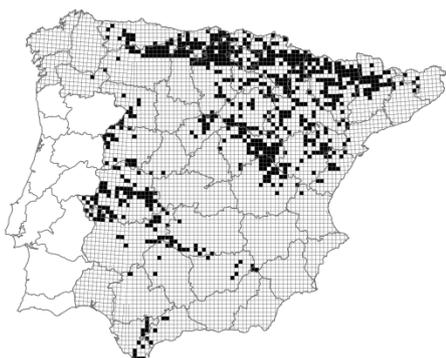
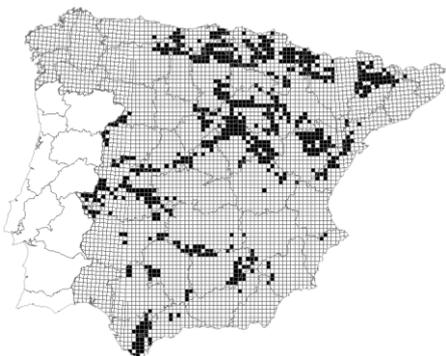
Las especies que han centrado nuestras investigaciones han sido el buitre leonado, el alimoche y el águila perdicera, todas ellas de hábitos rupícolas y, por tanto, susceptibles de ejercer competencia entre ellas. Es preciso considerar que el mayor nivel de interacciones se prevé entre el buitre y el alimoche ya que, además, ambas son especies carroñeras.



Figura 2. Láminas de las especies objeto del estudio, buitre leonado, alimoche y águila perdicera (Autor: Juan Varela).

3.2 Áreas de distribución de las especies objeto de estudio.

Para los análisis se han utilizado las áreas de distribución actuales durante el periodo de reproducción.



En los tres casos se han usado las áreas de distribución más actualizadas conocidas, utilizando como base las cuadrículas UTM 10 x 10 km. Esta información ha sido facilitada por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

3.3 Área de estudio

El territorio analizado en el presente estudio es la España peninsular. Su situación geográfica entre dos continentes —Europa y África—, y dos grandes extensiones marinas —océano Atlántico y mar Mediterráneo—, la definen como una unidad biogeográfica de gran interés. El área de estudio es un amplio y heterogéneo espacio emplazado entre dos grandes barreras geográficas que dificultan el intercambio biótico y abiótico entre los territorios adyacentes: los Pirineos al norte, y el estrecho de Gibraltar en el sur. Debido a sus características geográficas, la Península Ibérica posee un clima muy diverso, y a ello contribuye su posición latitudinal y su heterogeneidad topográfica.

3.4 Análisis de los datos

3.4.1. La modelación ambiental

El modelado de la distribución de las especies permite simular procesos ecológicos de índole biogeográfico y permite predecir respuestas. Constituye una herramienta de gran utilidad en biogeografía, ya que nos acerca al conocimiento de las relaciones entre las especies y su entorno. En general, el modelado de la distribución de las especies es una herramienta

de gran utilidad para estudiar las causas que condicionan la presencia y ausencia de las especies en un área geográfica concreta, así como para comprender los procesos que finalmente intervienen en la distribución espacial de los seres vivos. Además, también puede estudiar las interacciones entre especies.

3.4.2. Variables ambientales utilizadas

Los modelos de distribución para las especies consideradas en el estudio se han realizado en función de un conjunto de variables descriptoras de las condiciones ambientales, que han considerado los siguientes aspectos: situación espacial, topografía, clima y actividad humana. Las variables han sido elegidas en base a su disponibilidad para el territorio estudiado y a su potencial predictivo, asumiéndose su correlación con factores que afectan a la fisiología de las especies. En el Anexo 1 se indican todas las variables utilizadas.

3.4.3. El uso de la función de Favorabilidad

Se trata de una función desarrollada por nuestro grupo de investigación que calcula el grado en el que un ambiente determinado proporciona condiciones favorables para una especie. La comunidad científica internacional acepta esta función, tal y como pone de manifiesto su utilización en artículos publicados en revistas de reconocido prestigio que trabajan de manera específica la modelación ecológica.

Es un algoritmo matemático diseñado para la modelación de la distribución de las especies, que presenta ventajas con respecto a otros algoritmos ya que presenta la ventaja de proporcionar un resultado independiente de la probabilidad estocástica de encontrar una especie en

una localidad, la cual viene condicionada por el tamaño relativo de su distribución en el área de estudio, o prevalencia.

Entre las propiedades más destacables de la Función de Favorabilidad se encuentran, en primer lugar, la posibilidad de comparar directamente modelos obtenidos para diferentes especies, y en segundo lugar la posibilidad de combinar diferentes modelos mediante el uso de la lógica difusa.

3.4.4. La aplicación de la lógica difusa

Aplicado a la Función de Favorabilidad, y en concreto a las interacciones entre especies, cada localidad puede ser favorable en diferente medida para cada una de las especies consideradas, pero además para cada localidad puede predecirse el nivel de interacción entre ellas en base a la teoría de la *favorabilidad compartida* de Richerson & Lum (1980). Estos autores parten de la idea de que cuando las condiciones ambientales se acercan a los niveles óptimos para las especies, éstas pueden dedicar una mayor cantidad de energía para realizar ajustes de coadaptación entre ellas. Por el contrario, cuando las especies se acercan a los límites letales, deben aumentar la variedad de adaptaciones, energía y recursos materiales para hacer frente a esas condiciones extremas, en detrimento de poder dedicar recursos a la coadaptación con otras especies. Consecuentemente, la coexistencia de especies diferentes se facilita cuando las condiciones ambientales les son favorables a todas ellas.

Teniendo en cuenta la hipótesis de favorabilidad, y poniendo como ejemplo a dos especies consideradas en este estudio, el buitre leonado y el alimoche, cabría esperar cuatro situaciones diferentes como resultado de su interacción:

1. Zonas en las que **buitre leonado y alimoche** están **en lugares que les son muy favorables ambientalmente**. En este caso es muy probable que puedan coexistir ya que en estas zonas, favorables para ambas especies simultáneamente, se dan las condiciones adecuadas para que puedan dedicar recursos a coadaptarse (zona señalada en color verde en la figura 3).
2. Zonas ambientalmente **desfavorables para buitre leonado y alimoche**. En este caso la ausencia de alimoche no podría achacarse a la presencia de buitre leonado, ya que en estas zonas el alimoche tendría problemas por sí mismo, con independencia de que la otra especie esté o no, al igual que tendría problemas el buitre leonado (zona señalada en color azul en la figura 3)
3. Si **buitre leonado y alimoche** están **en zonas de favorabilidad intermedia** (zona señalada en color rojo en la figura 3), se espera que se den interacciones de competencia entre ambas especies.
4. Por último, en aquellas zonas en las que el **alimoche** posea una **favorabilidad intermedia** y el **buitre** una **favorabilidad alta** se prevé una interacción competitiva entre ambas especies en la que el buitre leonado podría desplazar al alimoche.

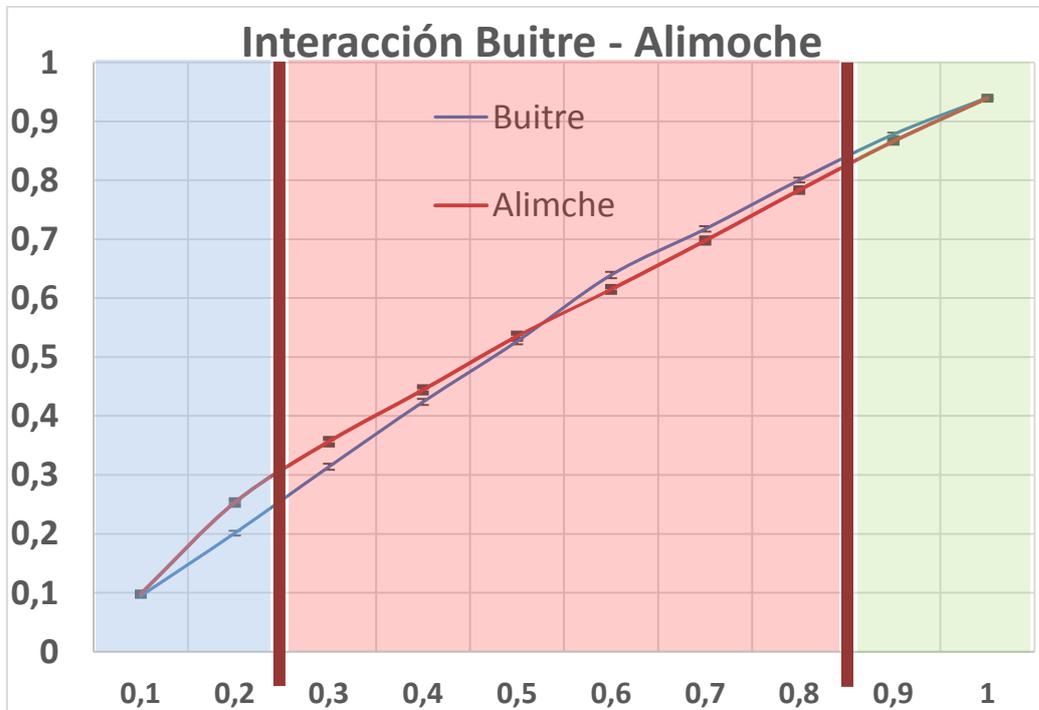


Figura 3. Diagrama de favorabilidad compartida entre el alimoche y el buitre leonado para explicar la teoría de Richerson & Lum (1980), donde se marcan los límites de desfavorabilidad ($< 0,2$), favorabilidad intermedia ($> 0,2$ y $< 0,8$) y zonas muy favorables ($> 0,8$).

4. RESULTADOS

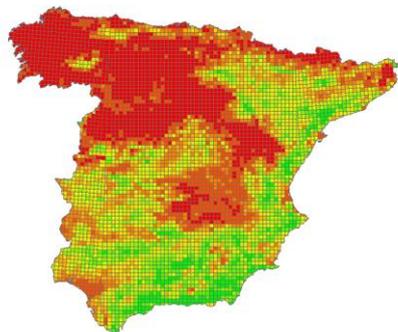
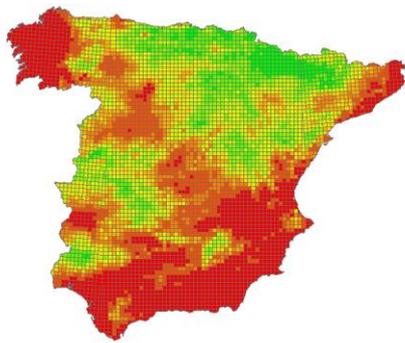
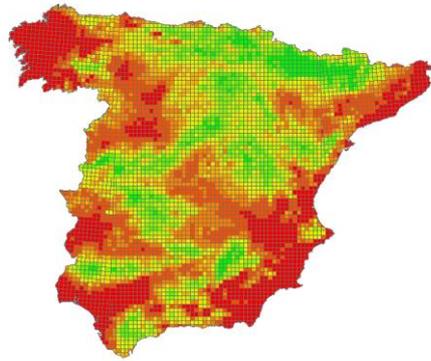
En este apartado se incluyen los resultados más significativos obtenidos en el presente estudio. En primer lugar se incluyen los resultados relativos a los modelos ambientales, interacciones biogeográficas y procesos de exclusión competitiva, y seguidamente aquellos relativos al efecto potencial del cambio del clima sobre las especies.

4.1 Modelos ambientales

Se han obtenido modelos ambientales para todas las especies mediante la asociación de su distribución geográfica con los conjuntos de variables predictoras utilizadas. Dichos modelos reflejan la favorabilidad ambiental para cada una de ellas en todas las cuadrículas de 10x10 km de España.

La favorabilidad más baja se muestra en rojo y la transición al verde indica un incremento de favorabilidad, mostrándose las cuadrículas más favorables en color verde intenso.

Cada uno de los modelos se basa en variables concretas que predicen la distribución de la especie. Lo que en principio es un modelo complejo puede resumirse en un mapa de favorabilidad que puede explicarse de un modo más simple.



4.2 Procesos de exclusión competitiva

Al analizar las interacciones entre las 3 especies resultaron significativos los efectos potenciales del buitre leonado sobre el alimoche. Este hecho se apoya en los fenómenos de competencia detectados a escala local y también en la situación actual de ambas especies, donde la población de buitre leonado continúa creciendo mientras que la de alimoche está inmersa en un proceso de rarefacción continuado. Además, cobra interés al considerar que el alimoche es una especie amenazada que ha sufrido una alarmante disminución en toda su área de distribución europea y se ha extinguido de numerosas zonas.

En los modelos obtenidos para el alimoche se obtienen valores generalmente desfavorables en Andalucía, donde en la actualidad hay únicamente dos núcleos reproductores, en los entornos de Tarifa y Cazorla. En el caso del buitre leonado, en Andalucía sí aparecen zonas de favorabilidad elevada, aunque predominan aquellas de favorabilidad intermedia.

Una vez obtenido el mapa de exclusión competitiva potencial, se distinguen unas zonas marcadas en color rojo, consideradas de alto riesgo de exclusión, y otras señaladas en color naranja, donde el riesgo se considera intermedio. En las zonas señaladas en rojo se dan condiciones muy favorables para el buitre leonado y de favorabilidad intermedia para el alimoche, por lo que se consideran zonas de elevada prioridad de actuación para la conservación del alimoche, señaladas en los círculos. En las zonas indicadas de color naranja los valores de favorabilidad para el buitre leonado son mayores que los obtenidos para el alimoche, por lo que también pueden producirse fenómenos de exclusión competitiva.

En las zonas señaladas con círculos es donde se concentra en la actualidad la mayor parte de la población reproductora de alimoche en Andalucía, motivo por el que sería conveniente enfocar en ellas medidas de conservación específicas para la especie, que tengan en cuenta los posibles efectos del buitre leonado.

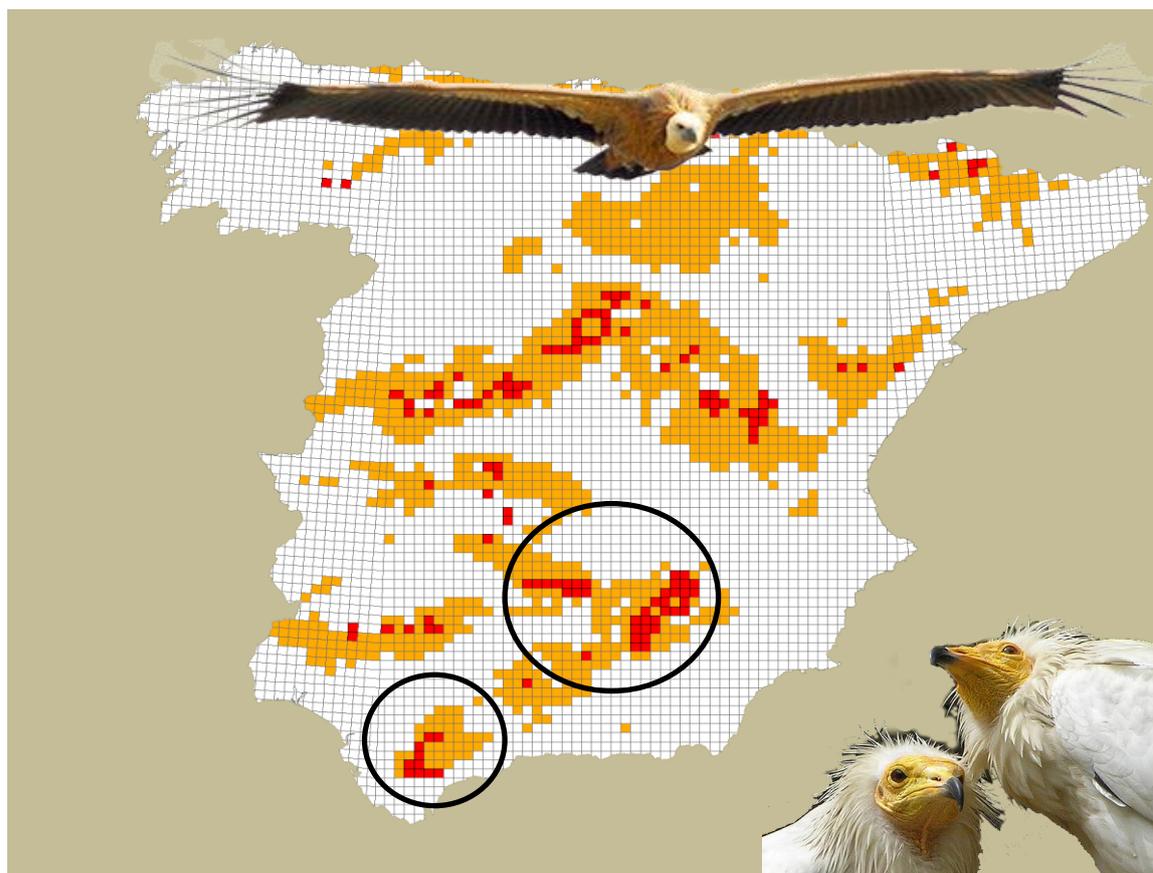


Figura 4. Mapa de *Exclusión Competitiva Potencial* del buitre leonado sobre el alimoche en España (cuadrículas rojas: áreas de alto riesgo de exclusión; cuadrículas naranja: áreas de riesgo intermedio de exclusión; círculos: áreas de elevada prioridad de actuación para la conservación del alimoche en Andalucía).

4.3 El cambio reciente del clima y la distribución del águila perdicera en España. ¿Cómo se espera que afecte a la especie?

El efecto del cambio del clima sobre las especies es un tema muy actual que comienza a tenerse en cuenta en el campo de la gestión. Hasta la fecha los estudios realizados no consideran la capacidad de las especies para adaptarse a las nuevas condiciones, motivo por el que las predicciones son, en general, negativas. Para estudiar cómo respondería el águila perdicera ante el cambio del clima hemos propuesto un nuevo método que sugiere que la principal amenaza para la especie no será el cambio climático, ya que todos los modelos pronosticados muestran que la distribución no sólo se mantendrá, sino que aumentará a lo largo del siglo XXI.

Lo más destacable en nuestro estudio, que supone una novedad a nivel internacional, es que se considera la capacidad de la especie de modificar su comportamiento reproductor y la tiene en cuenta a la hora de pronosticar su distribución futura. En base a la lógica difusa se plantean dos escenarios diferentes; en primer lugar se considera que la especie va a mantener en el futuro sus hábitos de reproducción actuales, nidificando básicamente sobre sustrato rocoso, y en segundo lugar se plantea la posibilidad de que la perdicera pueda compensar el incremento de favorabilidad ambiental nidificando en zonas no montañosas y en otro tipo de sustratos como, por ejemplo, los árboles, tal y como ocurre en otras zonas (p.ej. sur de Portugal e India).

Aunque los resultados obtenidos son diferentes atendiendo a los diferentes escenarios de cambio climático, lo cual era esperable, de manera generalizada predicen un aumento en el área de distribución del águila perdicera en España. Estos resultados serán publicados en la revista científica *Ecology and Evolution*.

5. CONCLUSIONES

El presente proyecto se ha basado en la modelación de la distribución de las especies y en la aplicación de la lógica difusa, y ha tratado aspectos que suponen una novedad en el estudio de la interacción entre especies y en la predicción de los efectos del cambio del clima sobre la biodiversidad.

Se han obtenido **modelos de favorabilidad** ecogeográfica para las tres especies consideradas, mostrándose eficaces en todos los casos para describir y explicar la distribución de las mismas en España. Por tanto, los modelos de distribución se pueden considerar herramientas adecuadas para generar y comprobar hipótesis relacionadas con la respuesta de las especies a la variabilidad ambiental en el espacio geográfico y en el tiempo. En el caso del buitre leonado se detectan zonas consideradas como muy favorables para la especie que aún no están ocupadas, por lo que es previsible que continúe produciéndose un crecimiento del área de distribución, tal y como se refleja de manera local en numerosas localidades, donde aparecen nuevas colonias reproductoras. Este hecho es importante con vistas a los procesos de exclusión que pueden establecerse con otras especies de características ecológicas similares.

Atendiendo a los **fenómenos de competencia** estudiados es de destacar que, hasta el momento, se han realizado grandes esfuerzos para estudiar las causas que hay detrás del proceso de rarefacción del alimoche, pero es la primera vez que se apunta que el buitre leonado también puede afectar de manera significativa. Además del uso de venenos o el cambio en el sistema de gestión de la ganadería ovina y caprina, la afección provocada por el propio buitre leonado debería considerarse en el escenario actual de dinámica poblacional de ambas especies, donde el buitre leonado continúa

creciendo y el alimoche no cesa de disminuir (principalmente en la mitad sur de España donde está considerado *En Peligro Crítico de Extinción*). Los resultados apoyan la teoría de exclusión competitiva y demuestran que las desapariciones de territorios ocupados de alimoche, en el periodo de tiempo 1989-2008, se han dado principalmente en las zonas que hemos considerado en nuestro estudio como de “*de favorabilidad intermedia*” para el alimoche. Por tanto, este hecho debería considerarse entre las medidas de conservación del alimoche.

Como resultado destacable se incluye la identificación precisa de aquellas cuadrículas en las que el riesgo de competencia es más elevado. El énfasis en el estudio de las interacciones biogeográficas se ha puesto sobre el alimoche, ya que atendiendo a escritos y relatos de ornitólogos y cazadores de los siglos XIX y XX, esta especie debió ser común en Andalucía hasta mediados del siglo pasado, ya que lo señalan como un buitre abundante en las serranías de Cádiz y Málaga y en todas las sierras calizas de la cordillera Bética. En la actualidad la situación de la especie a nivel mundial es preocupante, ya que sufre un descenso generalizado, hecho que también se refleja de modo claro en la Comunidad Autónoma de Andalucía. En la actualidad estamos trabajando en la redacción de un nuevo artículo científico en el que se trata este aspecto. Con su publicación pretendemos poner de manifiesto que el crecimiento experimentado por el buitre leonado en las últimas décadas, que continúa en la actualidad, puede tener consecuencias sobre la conservación de otras especies amenazadas, como el alimoche.

Atendiendo a los resultados relativos al **efecto del cambio del clima** sobre las especies, se pone de manifiesto que, para el caso del águila perdicera y en base a los escenarios de circulación atmosférica y de emisiones disponibles en la actualidad, se produciría un incremento de la

favorabilidad ambiental para la especie a lo largo del siglo XXI. Este incremento de favorabilidad ambiental podría traducirse en una ampliación de su área de distribución, lo que puede variar en función de la capacidad de modificar su comportamiento reproductor. Si el águila perdicera continuase dependiendo principalmente de zonas montañosas para establecerse en un territorio, el incremento se produciría básicamente en los Pirineos, Montes Vascos, cordillera Cantábrica, Sistema Ibérico y Macizo Galaico, además de conservar las zonas de distribución actual. Si, por el contrario, la especie pudiese compensar la falta de favorabilidad topográfica con el incremento en la favorabilidad ambiental, es decir, que el aumento de favorabilidad ambiental pudiera traducirse en una menor dependencia de las zonas de montaña para nidificar, la ampliación de su área de distribución podría ser aún más significativa, y podría incluso ocupar zonas llanas con presencia de grandes árboles para nidificar, hecho que ya se ha detectado en algunas zonas de su área de distribución (principalmente en el sur peninsular).



Figura 5. Ejemplar adulto de águila perdicera sacando restos del nido (Autor: Dick Forsman).