

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**  
**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
**MÁSTER EN BIOLOGÍA DE LA CONSERVACIÓN**



**ESTUDIO ETOLÓGICO DEL ÁGUILA PERDICERA (*AQUILA FASCIATA*) A  
TRAVÉS DEL ACELERÓMETRO DE EMISORES GPS**  
**ETHOLOGICAL STUDY OF BONELLI'S EAGLE (*AQUILA FASCIATA*) THROUGH  
ACCELEROMETER FROM GPS TRANSMITTER**

Por:

Marta García Moreno

Tutores:

José Manuel Serrano Talavera (UCM)

Juan José Iglesias Lebrija (GREFA)

TRABAJO FIN DE MÁSTER



Madrid, septiembre de 2020

## Índice

Resumen.....	2
Palabras clave.....	2
Introducción.....	3
Objetivos.....	6
Material y métodos.....	8
Área de estudio.....	8
Material utilizado.....	8
Metodología.....	9
Análisis.....	12
Resultados.....	15
Observaciones.....	15
Análisis.....	18
Discusión.....	24
Conclusiones.....	28
Agradecimientos.....	29
Bibliografía.....	30

## Resumen.

Desde hace relativamente poco, se ha comenzado a utilizar el acelerómetro como instrumento de seguimiento de muchas especies junto con el GPS (Bécares et al., 2010; López-López, 2016). El problema es que hay poca información acerca del significado de los datos que nos ofrece este dispositivo y como saber interpretarlos correctamente. Es por ello por lo que este estudio busca comenzar a explicar de manera correcta la información que nos facilita el acelerómetro, poder extraer una serie de valores que sean representativos de ciertos comportamientos conocidos a priori, para más adelante, obteniendo solamente datos del dispositivo, saber inferir qué comportamientos está realizando el individuo. De esta forma se permitiría estudiar el comportamiento de los animales marcados en libertad sin la necesidad de realizar observaciones directas. Para eso se realizó un estudio etológico de una serie de individuos de águila perdicera marcados con un acelerómetro (Garcelon, 1985) en un recinto cerrado del Centro de Recuperación de Fauna Salvaje de GREFA. Mediante la observación directa se apuntaron una serie de comportamientos que más adelante se analizaron junto con los datos proporcionados por el acelerómetro. Se describieron las actividades más importantes y relevantes a la hora de controlar individuos que se han liberado del centro de recuperación, tales como Alimentación, Desplazamiento, Descanso e Interacción con otros individuos. De esta forma se consiguió inferir en los datos y extraer valores estándar representativos de los comportamientos de Alimentación y Descanso.

## Palabras clave.

Acelerómetro, águila perdicera, análisis discriminante, comportamiento, voladero.

## Introducción

El monitoreo de las aves es una herramienta esencial para el control y seguimiento de estas, en especial de las numerosas especies cuyas poblaciones se hayan en riesgo. El seguimiento remoto de aves es importante no solo para conocerlas más en profundidad, tanto su comportamiento, sus áreas de campeo, rutas migratorias, etc.; sino que también nos da una gran cantidad de información acerca de sus hábitats y el medio que les rodea, facilitando en muchos casos la evaluación y análisis periódicos de, por ejemplo, medidas de gestión aplicadas en distintos tipos de ecosistemas. Para este fin, se utilizan las llamadas especies centinela, generalmente depredadores apicales, es decir, especies que se encuentran en lo más alto de la cadena trófica, lo que les hace extremadamente sensibles a cambios en el medio o algún tipo de alteraciones (Heithaus et al., 2008; Reyes-González et al., 2013-2017). Su interés radica en que su estudio y seguimiento puede ayudar al diseño de nuevas medidas de gestión y conservación de distintos tipos de medio (Sergio et al., 2006).

En las últimas décadas principalmente, el monitoreo de aves tanto marinas como terrestres ha ido evolucionando y mejorando en sus técnicas. Las nuevas tecnologías de rastreo han facilitado avances dramáticos en la comprensión fundamental de la ecología y el comportamiento animal (López-López, 2016). Especialmente se ha mejorado a gran escala permitiendo un seguimiento remoto, es decir, el método basado en la colocación sobre los individuos de dispositivos que almacenan datos o transmisores de señales que permiten su localización; algunos ejemplos son los registradores de GPS, emisores vía satélite tipo PTT, emisores vía satélite con GPS, emisores de radio, geolocalizadores o registradores de compás, entre otros (Bécares et al., 2010). Según el tipo de estudio que se desee realizar y su duración, ámbito y periodo del estudio, el tipo de especie que se vaya a estudiar y, en definitiva, los parámetros que nos interesen, se utiliza uno u otro dispositivo de seguimiento, el más adecuado a cada circunstancia. Según Bécares et al. (2010) el tamaño de estos dispositivos es la principal limitación que tiene su uso, pese a los rápidos avances que hay en esta área, condicionado sobre todo por la duración y tamaño de las baterías que llevan. Se recomienda no superar el 3-5% del peso del ave para minimizar riesgos, y aplicar una fijación que interfiera lo menos posible con la actividad normal del ave, que sea cómoda y de larga duración (Bécares et al., 2010)

Una de las últimas innovaciones en el monitoreo de especies ha sido el acelerómetro. Se trata de un dispositivo con un sensor de aceleración, que da información de la orientación y la dirección, detectando cambios en el balance, cabeceo y el ángulo de

“Estudio etológico del águila perdicera (*Aquila fasciata*) a través del acelerómetro de emisores GPS”

desviación horizontal (también conocido como azimut), es decir, en los ejes X, Y y Z respectivamente, denominándose también acelerómetro triaxial para diferenciarlo de los utilizados en la industria (<https://es.omega.com/prodinfo/acelerometro.html>). Dicho de otra forma, es un sensor que facilita información de dos tipos: de cambios de orientación y de movimientos de traslación acelerada (López-López 2016). El acelerómetro hoy en día se encuentra generalmente integrado en el mismo dispositivo que el GPS, por lo que tener ambos instrumentos emitiendo datos puede permitirnos obtener una cantidad inmensa de información.

Los acelerómetros llevan utilizándose desde hace décadas como método de registro de la actividad conductual (Müller y Schrader, 2003). Por lo general, en los estudios que se realizan con acelerómetros en animales se utiliza la ayuda de un proxy como es el índice de aceleración OBDA (*Overall Dynamic Body Acceleration*) que cuantifica el movimiento tridimensional de los animales como valor de aceleración y se utiliza como proxy del gasto energético específico de cada actividad que realiza un animal (Miwa et al., 2015).

Pero la utilización de estos dispositivos puede permitir extraer otro tipo de información, además de la ya mencionada, a partir de la interpretación de las gráficas que facilita el acelerómetro. El problema es que se sabe poco acerca de la interpretación de los datos que se adquieren por este medio. Las gráficas que crean estos dispositivos a primera vista son difíciles de traducir o interpretar como comportamientos de los individuos monitoreados, lo cual dificulta la comprensión de las actividades que estos llevan a cabo a lo largo de la jornada. Entender sus datos podría ser muy útil a la hora de gestionar muchas especies y poblaciones, de una forma muy visual se podría saber qué actividad está llevando a cabo un animal, solamente mirando el “dibujo” trazado por los ejes en la gráfica. Este método podría incluso convertirse en un sustituto de la observación directa, la cual podría llegar a interrumpir su actividad normal. Desde la comodidad de una pantalla se podría aprender en gran medida sobre la etología de muchas y diversas especies. Pero para ello, es necesario extraer unos valores estándar para cada eje, lo cual nos permita identificar los comportamientos de una especie concreta con cierto tipo de seguridad.

Ya hay algunos estudios realizados con acelerómetros en animales, algunos de granja como por ejemplo el realizado por Pereira et al. (2018) sobre el comportamiento de alimentación de vacas lecheras. Pero cada vez la utilización de estos dispositivos se ha ido ampliando y ha llegado a ser una herramienta muy importante en el seguimiento de animales salvajes (Miwa et al., 2015), en concreto de aves, pudiendo analizar con

mucha más precisión sus comportamientos tales como, por ejemplo, patrones migratorios (Flack et al., 2018) o vuelos nocturnos (García-Jiménez et al., 2020). Esta nueva forma de monitoreo nos facilita mucha información relevante sobre las especies y su etología, pero es especialmente interesante en especies cuyas poblaciones están disminuyendo drásticamente y que se encuentran en una situación vulnerable que requiere medidas de conservación. Este es el caso del quebrantahuesos (*Gypaetus barbatus* Linnaeus, 1758), una especie vulnerable a nivel europeo (BirdLife International, 2015; García-Jiménez et al., 2020), o el águila perdicera (*Aquila fasciata* Vieillot, 1822) de la que se hablará más detalladamente en el siguiente párrafo por ser la especie utilizada en este estudio.

El águila perdicera o águila de Bonelli (*Aquila fasciata* Vieillot, 1822) es un ave rapaz de tamaño medio (Figura 1) cuya distribución paleártica se extiende por el sur de Europa, norte de África y próximo y medio Oriente, incluyendo India, el sur de China y parte de las islas de Indonesia (Bosch et al., 2010; Ontiveros, 2014). Esta ave se encuentra catalogada en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) como *Preocupación Menor* (*Least concern, LC*) a nivel global (BirdLife International, 2019), y como *Casi Amenazada* (*Near threatened, NT*) a nivel europeo (BirdLife International, 2015). Está catalogada como *Vulnerable* en el Catálogo Español de Especies Amenazadas (RD 139/2011) y como *En Peligro* en el Libro Rojo de las Aves de España (Madroño et al., 2004). Esto es debido a que ha sufrido descensos de población moderadamente rápidos durante los últimos cincuenta años, sobre todo en la Península Ibérica (BirdLife International, 2015). Su alta tasa de mortalidad es debida principalmente a la persecución directa y a la electrocución en tendidos eléctricos. También es un factor importante en España las alteraciones en el paisaje y el aumento de la presión humana en sus territorios (Ontiveros, 2014). Presenta dimorfismo sexual, siendo la hembra de un tamaño mayor que el macho en aproximadamente un 25% de masa corporal (Ontiveros, 2014).

Se han llevado a cabo varios proyectos de recuperación del águila perdicera en España, como el Proyecto Life Bonelli (LIFE12 NAT/ES/000701) ya finalizado en el cual la organización GREFA participó y el Proyecto AQUILA a-LIFE (LIFE16 NAT/ES/000235) que coordina la misma asociación.

“Estudio etológico del águila perdicera (*Aquila fasciata*) a través del acelerómetro de emisores GPS”



Figura 1. Águilas perdiceras (*Aquila fasciata*).

Fuente: Cámara del voladero de GREFA

## Objetivos

A partir de los datos proporcionados por el acelerómetro, se podrían extraer aspectos etológicos de un animal; por ejemplo, se podría saber si está volando, comiendo o descansando, sin necesidad de observarlo directamente, solamente mirando los valores que proporciona este dispositivo. Este dispositivo puede proporcionar incluso una información tan importante y definitiva en aspectos de rehabilitación y conservación como es si el animal está vivo o muerto en función de su posición. Pero para ello es necesario un estudio previo bajo unas circunstancias controladas en el cual sea posible extraer de los datos del acelerómetro una serie de valores estándar para las diferentes conductas. Este es el propósito del presente trabajo. Conseguir esto supondría un cambio radical en la información que obtenemos de muchas especies. En especial de especies cuyas poblaciones están en peligro de extinción, ya que este tipo de datos podría darnos una pista de los problemas que sufren en su medio y, por lo tanto, las necesidades que requieren para sobrevivir, sin tener que perturbar innecesariamente su ambiente.

Por lo tanto, el objetivo principal de este trabajo es analizar las diferentes actividades del águila perdicera (*Aquila fasciata*) en un voladero a partir de los datos suministrados por un acelerómetro de emisores GPS.

Para ello, en primer lugar, se hará una descripción tanto cualitativa como cuantitativa de los diferentes comportamientos observados en las aves en el interior del recinto, a partir de la observación directa.

**Trabajo Fin de Máster**  
Marta García Moreno

En segundo lugar, mediante estas observaciones de los distintos individuos de águila perdicera y con la información proporcionada sobre ellas por el acelerómetro, se pretende inferir y extraer valores estándar o rangos de variación en los que poder identificar un comportamiento.

Sabemos que podemos obtener información suficiente como para poder comenzar a extraer valores específicos de al menos alguna conducta, pero hay que tener en cuenta una serie de factores. Principalmente por la diferencia de entorno. El estudio se ha realizado en un recinto cerrado, que implica unas restricciones de movimiento importantes además de unas condiciones de estrés muy diferentes a las que un animal se puede enfrentar en libertad. Por ejemplo, no tienen la necesidad de estar buscando presas constantemente ya que se les alimenta a diario para mantenerlos en unos niveles de salud lo mejor posibles. Por otro lado, hay ciertas actividades como migraciones o movimientos de dispersión juvenil (Cadahía et al., 2005) entre otras, que es imposible que realicen en un recinto cerrado y que no pueden ser valoradas.

Debido a las restricciones de movimiento, asumimos que actividades como el vuelo no van a representar fielmente lo que realmente haría el ave en libertad, ni la duración ni la posición ni otros parámetros.

# “Estudio etológico del águila perdicera (*Aquila fasciata*) a través del acelerómetro de emisores GPS”

## Material y métodos

### Área de estudio

El estudio se realizó en las instalaciones del Grupo de Rehabilitación de la Fauna Autóctona y su Hábitat (GREFA), en Majadahonda, Madrid. Durante el estudio las aves se encontraban en un voladero, un recinto cerrado circular de 35 metros de largo, 15 metros de ancho y 6 metros de alto (Figuras 2 y 3). Se utiliza este tipo de voladeros para que las aves tengan la sensación de mayor espacio y profundidad, y no tanto de estar en un lugar cerrado.



Figura 2. Voladero visto desde arriba. Líneas rojas: planta del voladero; líneas amarillas: medidas del voladero (ancho y largo). Fuente: Google Maps



Figura 3. Imágenes del interior del voladero utilizado en el estudio. Vista desde cada uno de los lados con las cámaras utilizadas para las observaciones. Fuente: Cámaras de GREFA

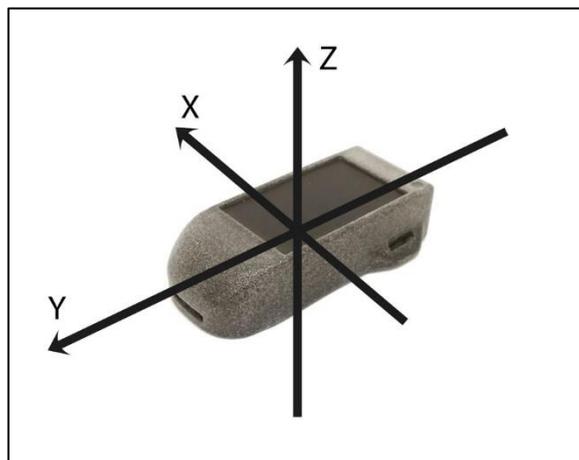
### Material utilizado

En el voladero hay dos cámaras instaladas tipo *Domo* de la marca *Hickvision*, una a cada lado del voladero, para tener visión de todo el espacio interior (Figura 3). Estas son las cámaras que se utilizaron para realizar las observaciones directas, accediendo a ellas desde el ordenador a través del programa *iVMS-4200 Client*.

Para este estudio se utilizaron acelerómetros de la marca *Ornitela*, modelo *OrniTrack-30 solar powered GPS-GSM tracker* (Figura 4), uno de los mejores modelos del mercado. Para su colocación se utilizaron cintas de teflón, y todo el material fue proporcionado por la organización GREFA.

Como se ha mencionado antes, los dispositivos de seguimiento remoto están muy condicionados por su tamaño y peso, los cuales están limitados en gran parte por el tamaño y duración de sus baterías (Bécares et al., 2010). Tal fue el caso de este estudio, cuyo mayor factor limitante fue la duración de las baterías, las cuales se recargan por el sol y en esta ocasión, debido a la época del muestreo (febrero a abril), las condiciones climáticas no facilitaron la recarga de la batería.

Para la obtención de mayor cantidad de datos que pudieran representar cada comportamiento, los acelerómetros se programaron para que emitieran datos cada 15 y 30 segundos, y en última instancia para que emitieran cada segundo, para aprovechar el tiempo al máximo. Asumimos que esta diferencia de tiempo a la que se emiten los datos no supuso una diferencia de los datos con respecto a la realidad, sino que en este caso, una mayor cantidad de datos simplemente contribuyó a un aumento en la precisión a la hora de analizarlos y de diferenciar una actividad de otra.



*Figura 4. Acelerómetro OrniTrack solar powered GPS-GSM tracker, modelo utilizado en este estudio. Fuente: Página web de Ornitela.*

## Metodología

El estudio se realizó con cuatro individuos adultos de águila perdicera (*Aquila fasciata*), dos hembras y dos machos que se encontraban en el voladero circular dentro del recinto de GREFA (Tabla 1). Todos ellos son ejemplares ingresados en el centro en su momento por diferentes causas, pero ya recuperados, que en poco tiempo iban a ser

“Estudio etológico del águila perdicera (*Aquila fasciata*) a través del acelerómetro de emisores GPS”

liberados. En el voladero se encontraba una quinta águila, que no se utilizó para este estudio.

La idea inicial era hacer el estudio con tres especies diferentes de aves, a poder ser de distintos tamaños como por ejemplo buitres, águila y milano, pero no fue posible al no disponer de ellos en el centro. Aun así, se consideró que cuatro individuos de águila perdicera puede ser un número razonable de ejemplares para poder hacer una primera aproximación a esta cuestión.

En el centro se las alimenta diariamente, de diversas maneras para que no pierdan la práctica de caza ni se acostumbren a alimentarse sin esfuerzo.

Tabla 1. Información de los individuos de águila perdicera utilizados en el estudio

<b>Individuo</b>	<b>Anilla color</b>	<b>Pata</b>	<b>Anilla oficial</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Sexo</b>	<b>Emisor</b>
1	verde561	Izquierda	-	2.660	Hembra	192656
2	verde562	Derecha	1031388	2.800	Hembra	192657
3	AmaA17	Derecha	-	1.830	Macho	192647
4	AmaA16	Izquierda	AYXblanca	2.042	Macho	192653

La colocación de los transmisores en las aves se realizó por el método de arnés con punto de ruptura por personal cualificado (Garcelon, 1985). Anteriormente se había realizado una revisión veterinaria del estado del animal. Se realizó en una mañana de febrero, en las mismas instalaciones de GREFA. Se pesaron, se apuntó su anilla (o anillas, en el caso de tener más de una), la pata en la que llevan la anilla de color y su sexo, y se las colocó el acelerómetro (apuntando también el número identificador de este) a modo de mochila, con cintas de teflón por encima y por debajo de las alas, cosidas entre ellas en el pecho del animal (Tabla 1). Una vez realizado el proceso se las volvió a dejar en su voladero.

A partir de este momento comenzaron las observaciones a través de las cámaras. La primera semana se realizaron muestreos de prueba para la familiarización con la aplicación y con la toma de datos, evitando dentro de lo posible el sesgo por el propio aprendizaje del investigador. Este tiempo de prueba también permitió que los animales se acostumbraran a llevar puesto el dispositivo, y así evitar la posibilidad de registrar datos de movimientos no normales debido a llevar un objeto extraño ajustado en el cuerpo. Finalmente, la toma de datos por medio de las observaciones se realizó desde finales del mes de febrero y durante los meses de marzo y abril del 2020, coincidiendo

**Trabajo Fin de Máster**  
Marta García Moreno

en gran medida con el confinamiento debido a la pandemia mundial por el nuevo coronavirus (SARS-Cov-2). Las condiciones ambientales tampoco fueron óptimas, ya que el muestreo coincidió en gran medida con días de lluvias y frío en los que los animales tuvieron mucha menor actividad. A pesar de estas difíciles circunstancias, se pudieron recoger datos relativamente suficientes para continuar con el trabajo.

Las observaciones se llevaron a cabo en un rango horario de 9:00 a 19:30, coincidiendo aproximadamente con las horas de luz de la estación. Se asumió que había rangos horarios que no se iban a estudiar y sobre los que no se iban a recoger datos, ya que estos son periodos en los que esta especie de ave se encuentra menos activa y que, por ello, tiene un menor interés. Se realizaron observaciones hasta que los acelerómetros se quedaron totalmente sin batería. A pesar de que se utilizó el mismo modelo de acelerómetros en todos los individuos y que los cuatro se instalaron con su batería al máximo de carga, estas tuvieron una duración distinta en cada uno de ellos debido a su mayor o menor exposición al sol.

Los datos se apuntaron de la siguiente manera: en un cuaderno de campo, se fueron apuntando las diferentes actividades o comportamientos que las aves fueron realizando, anotando el individuo que lo realizaba, junto con la hora, minutos y segundos. Se apuntaba el momento de inicio y de fin de la actividad en caso de que esta durase más de un segundo. Siempre que fue posible se intentó hacer un seguimiento de los cuatro individuos a la vez. En el caso de que no se pudiera, se intentó observar en periodos de 10-20 minutos seguidos a las aves por parejas, cuando se encontraban posadas cerca unas de otras. Se realizó el seguimiento en directo, salvo cuando había mucha actividad al mismo tiempo, que se recurrió a las grabaciones de las cámaras (retrocediendo el tiempo necesario para apuntar el inicio y fin de cada actividad).

Después, una vez obtenida la base de datos de los acelerómetros, se extrajeron los diferentes datos correspondientes a cada observación, es decir, se unió toda la información de las actividades observadas junto con los datos de los acelerómetros que estuvieran asociados (en el mismo segundo) a ellas. Con esta información se creó una nueva base de datos en *Excel*, aunando observaciones con los datos del acelerómetro. De este modo, la base de datos con la que se realizaron los análisis quedó con las siguientes columnas principalmente: Individuo, fecha, hora, eje X, eje Y, eje Z, comportamiento.

## Análisis

Con los datos obtenidos a partir de las observaciones de las cámaras, se llevó a cabo un análisis descriptivo mediante la construcción de gráficas con el objetivo de estudiar un poco más a fondo el comportamiento de estas aves dentro de un recinto cerrado.

Para categorizar los diferentes comportamientos de las aves en función de los valores de los tres ejes que ofrece el acelerómetro se utilizó el programa *InfoStat* (Di Rienzo et al., 2010). Se realizaron análisis discriminantes para este estudio. Un análisis discriminante “permite cuantificar el poder de discriminación en la relación de pertenencia de un sujeto u objeto a un grupo u otro” (Torrado Fonseca y Berlanga, 2012). Esto significa que, dados unos grupos (variable dependiente, categórica), con cuanta precisión pueden las variables explicativas (independientes) definirlos, de forma que cuando se obtengan nuevos valores de estas variables se puedan clasificar en uno u otro grupo. En el caso de este estudio, se tomó como variable dependiente el tipo de comportamiento (vuela, come, camina, etc., definidos más adelante) y como variables explicativas o independientes los valores de los tres distintos ejes X, Y y Z.

Una vez obtenido el/los objeto/s (comportamiento) que mejor se discrimina de los demás se procede a averiguar cuál de las variables independientes lo clasifican mejor, es decir, cuál de los ejes (X, Y o Z) es más determinante a la hora de clasificar una observación en ese grupo (comportamiento).

Hay que tener en cuenta que los comportamientos están definidos en función de las observaciones, son un concepto subjetivo por parte del observador para poder realizar este estudio, además de que el animal no se limita a realizar solo estas actividades, sino que muchas veces puede hacer varias a la vez o incluso otras.

Las actividades o comportamientos que se registraron en la base de datos están definidas a continuación, junto con imágenes de algunos de los comportamientos:

- Posado. Situación en la que está inmóvil con una o dos patas apoyadas sobre el suelo o cualquier otra superficie, se incluyen las actividades de vigilancia (un

**Trabajo Fin de Máster**  
Marta García Moreno

animal salvaje está en alerta constante ante los peligros que puedan rondar) y cambios de postura dentro de esta categoría. (Figura 5).



*Figura 5. Águila perdicera (anilla A16) posada. Fuente: Cámaras de GREFA*

- Camina. Desplazamientos horizontales en los que no levanta las dos patas del suelo a la vez.
- Vuela. Cualquier actividad en la que se encuentre en el aire, sin ninguna pata apoyada sobre la superficie y dé al menos un aleteo. Los saltos, aunque no requieran más de un aleteo, también están considerados dentro del vuelo, así como los planeos.
- Acicala. Comportamiento en el que el animal, sobre una o dos patas, se acicala con el pico, ya sea las plumas o patas. Al ser aves anilladas, alguna vez se pican la anilla, ya sea porque están jugando o porque se la quieren quitar, ese comportamiento se incluye dentro de acicalamiento.
- Come. Cualquier momento en el que tenga comida entre las garras, ya sea una presa viva o muerta, y se encuentre picándola, desgarrándola o desplumándola. Normalmente lo hacen en el suelo, rara vez en los postes en los que pasan la mayor parte del tiempo (Figura 6).



*Figura 6. Águila perdicera (anilla A16) comiendo. Fuente: Cámaras de GREFA*

“Estudio etológico del águila perdicera (*Aquila fasciata*) a través del acelerómetro de emisores GPS”

- Mueve alas. Posadas sobre alguna superficie, baten las alas enérgicamente, seguramente por la falta de espacio para volar con libertad.
- Limpia pico. Siempre después de comer, suben a uno de los posaderos y se limpian el pico frotándolo contra el posadero.
- Toma el sol. Se mantiene inmóvil durante cierto tiempo, con las alas abiertas perpendiculares al sol. Gracias a la observación de este comportamiento hemos podido averiguar por qué dos de los acelerómetros tuvieron una vida más larga (Figura 7).



Figura 7. Águila perdicera (anilla verde562) tomando el sol. Fuente: Cámaras de GREFA

- Defeca.
- Socializa. Todos los momentos en los que interactúa con las otras águilas de la jaula.

## Resultados

En total se obtuvieron 107 horas de observaciones, en concreto 11, 41, 19 y 36 de cada una de las águilas (1, 2, 3 y 4, respectivamente; Tabla 1). La diferencia de horas registrada de cada ave se debe esencialmente a la duración de las baterías de los acelerómetros.

De ellas se pudieron extraer 1.891 datos de comportamientos distintos (cada uno con la información de los tres ejes proporcionada por el acelerómetro). En algunos momentos se detectaron fallos en los acelerómetros, dando el mismo valor para los tres ejes. Estos datos no se tuvieron en cuenta para los análisis, pero esto provocó que se obtuviera menos cantidad de datos de la esperada. En el caso del individuo 4, a pesar de ser el segundo con más horas registradas, se pudieron extraer menos datos de los esperados por los fallos que se dieron.

### Observaciones.

Durante las observaciones se apuntaron comportamientos interesantes o destacables:

- Tras los primeros días haciendo las pruebas de observaciones se detectó que las águilas casi siempre se encontraban en el mismo posadero. Incluso sin necesidad de hacer *zoom* con la cámara para identificarlas por sus anillas, era fácil distinguir las por el lugar en el que se encontraban. Normalmente a un lado se posaban las águilas 2 y 4 (hembra y macho) y en los posaderos del lado contrario del voladero se posaban las otras dos.
- En los días soleados, se descubrió que algunas de las águilas abrían sus alas de espaldas al sol, aprovechando sus rayos para calentarse.
- A veces, las cámaras asustaban a las águilas que se encontraban más cercanas a ellas, generalmente provocando que levantasen el vuelo al escuchar el ruido que las cámaras producen al ser movidas.

A su vez se creó una base de datos para estudiar únicamente el comportamiento, aprovechando tanto las observaciones de las que se pudieron extraer datos del acelerómetro como las que no. Las gráficas que se crearon a partir de estos datos se hicieron a partir de porcentajes para una mayor claridad en la representación.

En primer lugar, se contó el número de veces que se realizó cada acción por hora, haciendo una media de todas las horas en cada uno de los individuos y después una media total de los cuatro individuos (Figura 8) representándose los resultados como porcentajes del total de actividades realizadas y registradas cada hora. En este caso,

“Estudio etológico del águila perdicera (*Aquila fasciata*) a través del acelerómetro de emisores GPS”

las medias individuales (no recogidas en la figura) son todas muy similares, por ejemplo, las águilas realizaron la actividad de vuelo un 29, 33, 30 y 36% del total de actividades por hora (águilas 1, 2, 3 y 4 respectivamente).

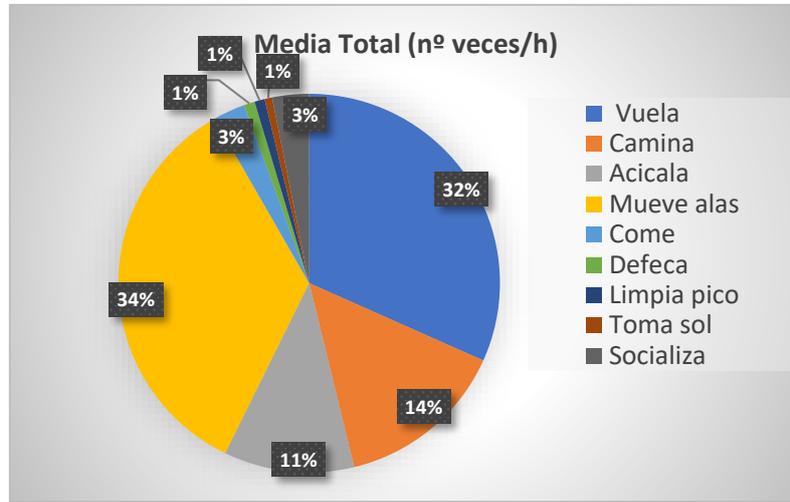


Figura 8. Gráfica del número de veces que realizan de media una actividad por hora

En segundo lugar, se apuntó el tiempo (segundos) utilizado en total para cada comportamiento a la hora, es decir, el número de segundos en total que dedican a cada comportamiento por hora. Nuevamente haciendo una media para cada uno de los individuos y una media total (Figura 9). Para sacar los porcentajes con los que se crearon las gráficas solo se tuvo en cuenta el tiempo total utilizado en todos los comportamientos registrados, no los sesenta minutos de la hora, meramente por la estética y mejor visualización de las gráficas. En este caso, los resultados individuales sí que tuvieron algo más de variación entre los distintos individuos. Pero esta diferencia se achaca principalmente a que no se tiene la misma cantidad de horas de observaciones por cada individuo, y a que aleatoriamente se observaron horas en las que cada individuo realiza más una actividad que otra. Puede ser que unos individuos tengan más actividad por la mañana y otros más por la tarde, y esto hace que sea fácil que estos porcentajes varíen, sobre todo si son en función del tiempo total registrado como actividad. Si se hiciera respecto al total de segundos de una hora, la diferencia es mucho menos apreciable. Aun así, en la Figura 9, se puede observar una representación del porcentaje de tiempo que le dedican de media a cada actividad, siendo a la que más tiempo dedican la actividad de “comer” (51%).

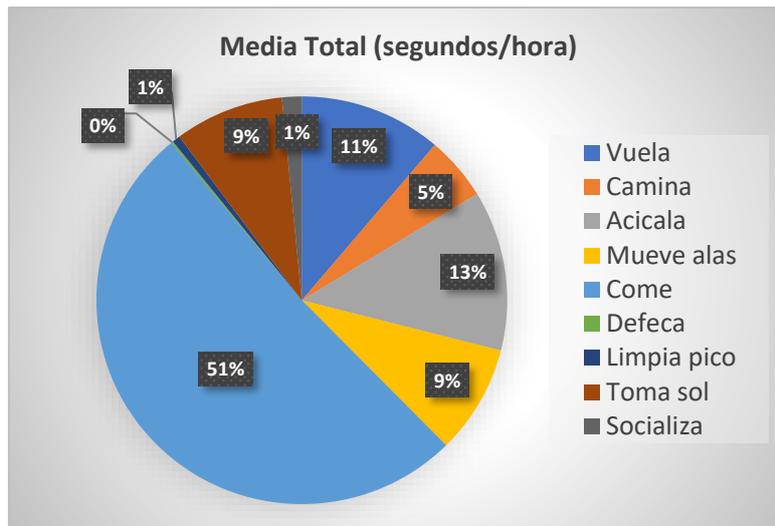


Figura 9. Gráfica con el porcentaje de tiempo (segundos) dedicado en total a cada actividad por hora.

Por último, se representó en una gráfica el tiempo dedicado de media cada vez que realizaban una actividad para cada comportamiento (Figura 10). Por ejemplo, si se tiene registrado que un individuo vuela 109 veces y en total ha volado durante 726 segundos, de media dedica 6,66 segundos a cada vuelo.

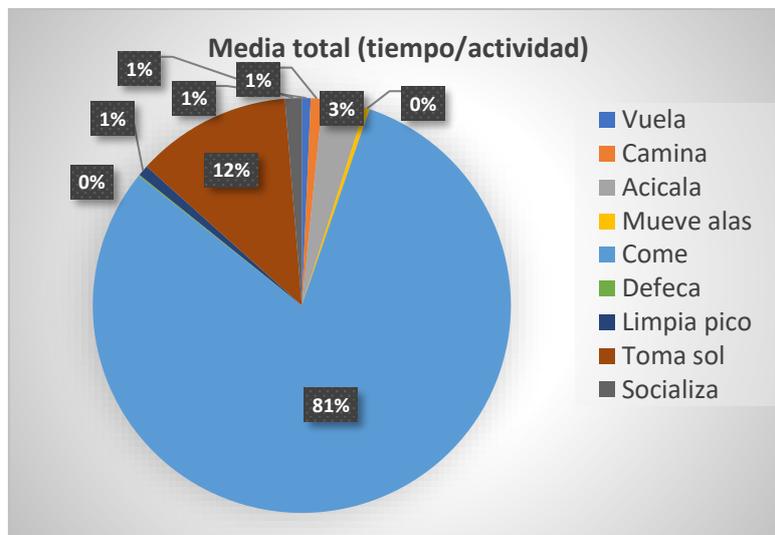


Figura 10. Porcentaje de tiempo medio dedicado cada vez que se realiza una actividad

En los tres casos además de comparar a cada individuo por separado, se hizo una comparación entre sexos. No se encontró ningún comportamiento de los estudiados preferente en relación con la variable sexo. De hecho, comportamientos que pueden llegar a diferenciar a ambos sexos como el cortejo, apareamiento, puesta o incubación, no ocurrieron durante el muestreo. Por ello la variable sexo no es relevante para este estudio (sí que se realizó el análisis discriminante diferenciando sexos, pero el resultado tampoco destacó diferencias).

“Estudio etológico del águila perdicera (*Aquila fasciata*) a través del acelerómetro de emisores GPS”

## Análisis

Se realizó la prueba de normalidad de los datos (Shapiro-Wilk) para todas las variables independientes (eje x, eje y, eje z del acelerómetro). En los tres casos resultó estadísticamente significativo ( $P < 0,0001$ ) que los datos no se ajustaban a una distribución normal. Se procedió entonces, a realizar transformaciones de los datos, primero tomando logaritmos, después raíces cuadradas y por último la inversa ( $x^{-1}$ ), obteniendo en las tres transformaciones el mismo resultado que en el primer test ( $P < 0,0001$ ). Sin embargo, observando la gráfica de distribución de frecuencias de los datos sin transformar (Figura 11), no aparecen valores extremos con demasiada frecuencia, es decir, no se aprecian demasiados valores alejados de la media. Esto es por lo que, junto a la recomendación del departamento de bioestadística de la facultad, se decidió realizar test discriminantes paramétricos con este conjunto de datos. Puesto que se está aplicando una prueba estadística paramétrica a datos que no se ajustan a una distribución normal, la interpretación de los resultados hay que tomarlos con cierta cautela, por el posible sesgo que se pueda originar.

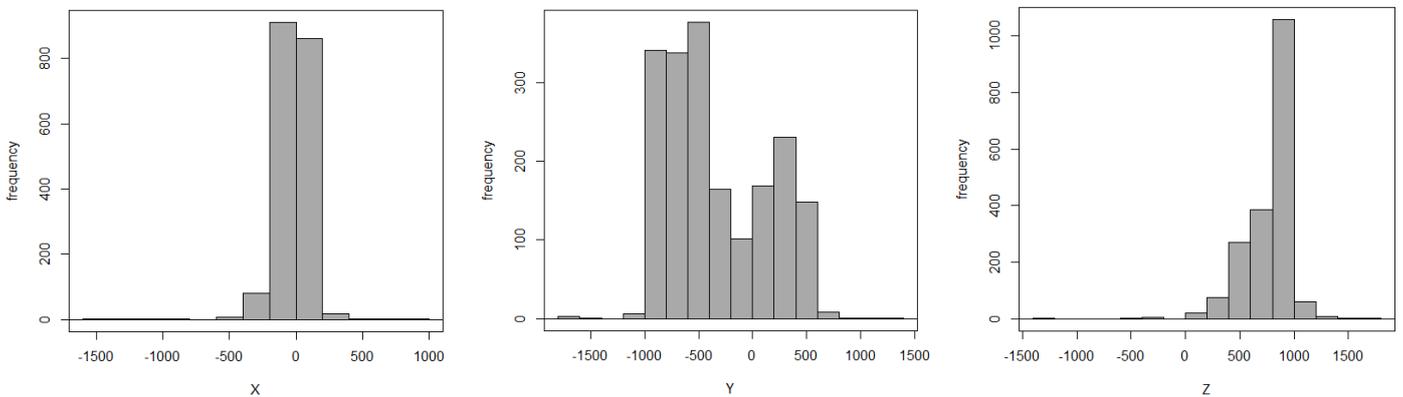


Figura 11. Gráficas de distribución de frecuencias de los valores de los ejes X, Y y Z (de izquierda a derecha) de los acelerómetros.

Por lo tanto, se procedió a continuación al análisis discriminante de los datos. Para ello, como ya se ha comentado antes, se tomó como variable dependiente categórica los distintos comportamientos observados, y como variables independientes los tres ejes del acelerómetro. En primer lugar, se realizó un análisis incluyendo todos los comportamientos observados y diferenciados a través de las cámaras (acicala, camina, come, defeca, limpia pico, mueve alas, posado, socializa, toma el sol, vuela), es decir, diez grupos diferentes. En la tabla de clasificación cruzada (Tabla 2) se observa que los comportamientos que mejor se discriminan (los que poseen un menor porcentaje de error) son “come” (18,12%); “toma el sol” (28,41%); “acicala” (32,98%); y

**Trabajo Fin de Máster**  
Marta García Moreno

“limpia pico” (38,46%) todos ellos marcados en azul; obteniendo el resto un porcentaje de error mayor del 50%.

*Tabla 2. Tabla de clasificación cruzada del análisis discriminante realizado con los diez grupos iniciales (comportamientos) para los valores de los tres ejes del acelerómetro*

Grupo	Acicala	Camina	Come	Defeca	Limpia pico	Mueve alas	Posado	Socializa	Toma el sol	Vuela	Total	Error(%)
<u>Acicala</u>	256	6	6	1	10	4	25	2	36	36	382	<u>32,98</u>
Camina	6	18	3	3	4	9	5	5	0	11	64	71,88
<u>Come</u>	1	19	601	9	74	19	0	11	0	0	734	<u>18,12</u>
Defeca	0	0	0	4	1	1	0	2	0	1	9	55,56
<u>Limpia pico</u>	0	0	0	1	8	3	0	1	0	0	13	<u>38,46</u>
Mueve alas	9	57	10	36	41	57	6	63	8	47	334	82,93
Posado	14	6	0	0	0	0	1	3	10	0	34	97,06
Socializa	0	0	1	8	8	6	0	3	1	10	37	91,89
<u>Toma el sol</u>	9	0	0	0	0	1	7	2	63	6	88	<u>28,41</u>
Vuela	20	8	3	9	13	13	23	17	23	67	196	65,82
<b>Total</b>	<b>315</b>	<b>114</b>	<b>624</b>	<b>71</b>	<b>159</b>	<b>113</b>	<b>67</b>	<b>109</b>	<b>141</b>	<b>178</b>	<b>1891</b>	<b>42,99</b>

Además, se realizaron análisis discriminantes para cada par de ejes por separado (X-Y, X-Z, Y-Z) representados en la Tabla 3. En ellos se observa que en las columnas que aparece el eje Y hay menor tasa de error, con lo cual, se podría decir que es el eje que por lo general mejor discrimina los comportamientos.

*Tabla 3. Tabla de clasificación cruzada del análisis discriminante realizado con los diez grupos iniciales (comportamientos) para los valores de los tres ejes del acelerómetro por pares*

Grupo	Ejes X e Y		Ejes X y Z		Ejes Y y Z	
	Total	Error(%)	Total	Error(%)	Total	Error(%)
Acicala	382	38,22	382	33,51	382	32,72
Camina	64	65,63	64	70,31	64	90,63
<u>Come</u>	734	<u>17,57</u>	734	40,19	734	<u>19,07</u>
Defeca	9	55,56	9	55,56	9	100,00
Limpia pico	13	46,15	13	30,77	13	30,77
Mueve alas	334	85,03	334	87,43	334	71,86
Posado	34	<u>88,24</u>	34	97,06	34	<u>64,71</u>
Socializa	37	91,89	37	89,19	37	94,59
Toma el sol	88	39,77	88	25,00	88	45,45
Vuela	196	67,86	196	75,00	196	75,00
<b>Total</b>	<b>1891</b>	<b>44,63</b>	<b>1891</b>	<b>53,09</b>	<b>1891</b>	<b>43,36</b>

Posteriormente se realizó este mismo análisis con cada una de las águilas por separado, para aumentar la repetibilidad del experimento lo máximo posible. En este caso, uno de los individuos (águila 4, emisor 192653) presentaba unos datos extraordinariamente dispersos y nada ajustados a la distribución normal, por lo que no se consideró adecuado realizar el análisis discriminante. Por ello solo se llevaron a cabo tres análisis individuales, uno con cada una de las demás águilas, y se compararon con los resultados generales (Tabla 4) incluyendo una columna con los resultados de las tres águilas en conjunto (sin incluir el individuo 4). Como se observa en la Tabla 4, la actividad de comer obtiene en todos los casos la menor tasa de error,

“Estudio etológico del águila perdicera (*Aquila fasciata*) a través del acelerómetro de emisores GPS”

exceptuando “mueve alas” en águila 1, que se discrimina perfectamente, pero seguramente se debe a la poca cantidad de datos que hay (2). Ocurre lo mismo con “posado”. Por lo general los valores de las tasas de error son bastante parecidos en todos los casos, y comparando el análisis inicial con el realizado con todas las águilas menos la 4, se puede apreciar que los valores son bastante parecidos, y que eliminar este individuo de los análisis no afecta realmente a los resultados. Además, desde la extracción de datos, este fue el acelerómetro que mayores problemas y errores dio, por lo que los datos que se pudieron extraer se podría decir que son menos fiables que los de los otros dispositivos. Además, se realizó un análisis discriminante diferenciando los datos en función del sexo comparando hembras (individuo 1 y 2) con machos (individuo 3) pero no se apreciaron diferencias significativas entre ellos. De hecho, los resultados del análisis para las hembras son prácticamente los mismos que los del análisis para el águila 2 sola (con una variación de decimales en el porcentaje de error) debido al número de datos significativamente mayor que los del águila 1. Por ello, los análisis diferenciando sexos no se representaron en la tabla, y la variable sexo, como se ha comentado anteriormente, no se tuvo en cuenta, a partir de aquí, en el estudio.

*Tabla 4. Últimas dos columnas de tabla de clasificación cruzada de cinco análisis discriminantes (con los diez grupos iniciales). De izquierda a derecha: el de la tabla 2, el del águila 1, el del águila 2, el del águila 3 y el de estas tres águilas en conjunto.*

Grupo	4 águilas		águila 1(192656)		águila 2(192657)		águila 3(192647)		águilas sin la 4	
	Total	Error (%)	Total	Error (%)	Total	Error (%)	Total	Error (%)	Total	Error (%)
Acicala	382	32,98	13	84,62	349	31,52	20	35,00	382	32,98
Camina	64	71,88	2	50,00	39	58,97	9	77,78	50	58,00
Come	734	18,12	64	4,69	595	18,15	66	19,70	725	18,34
Defeca	9	55,56	-	-	9	55,56	-	-	9	55,56
Limpia pico	13	38,46	-	-	13	38,46	-	-	13	38,46
Mueve alas	334	82,93	2	0,00	259	88,80	11	54,55	272	93,38
Posado	34	97,06	3	33,33	23	52,17	7	57,14	33	96,97
Socializa	37	91,89	-	-	37	91,89	-	-	37	91,89
Toma el sol	88	28,41	-	-	88	36,36	-	-	88	25,00
Vuela	196	65,82	3	66,67	141	46,10	6	50,00	150	50,00
Total	1891	42,99	87	20,69	1553	40,18	119	33,61	1759	40,65

Aun así, en general son tasas de error demasiado elevadas, debido principalmente a que hay demasiados grupos para discriminar los datos. Por esto se procedió a la disminución del número de grupos de clasificación. Se valoraron distintas formas de proceder.

En primer lugar, hay comportamientos que podrían fusionarse en uno solo puesto que van unidos, como es el caso de comer y limpiarse el pico, ya que lo segundo lo hacen siempre inmediatamente después de alimentarse, es por esto por lo que se decidió unir ambos comportamientos en uno solo, eliminando así uno de los posibles grupos.

**Trabajo Fin de Máster**  
Marta García Moreno

En segundo lugar, de cara al seguimiento de individuos puestos en libertad, hay ciertos comportamientos que ofrecen información más relevante sobre el animal que otros. Se decidió que las actividades más interesantes eran: alimentación, descanso, desplazamiento e interacción con otros individuos. En lo referente a “alimentación” se realizó lo comentado en el párrafo anterior. Con respecto a “desplazamiento”, se unificaron caminar y volar como un solo comportamiento. En cuanto a “descanso”, debido a las horas de muestreo, no hay datos de los momentos en que dormían, pero se pueden agrupar comportamientos que se realizan cuando el animal está tranquilo y suponemos que no se siente amenazado (“acicala”, “posado” y “tomar el sol”). Esto, aunque no es descanso estrictamente hablando, representa momentos de bajo estrés para el animal. Por último, “interacción con otros individuos” ya está representado como “socializa”. El resto de los comportamientos se aunaron en “otro”. Así, se consigue reducir los grupos a la mitad, de momento sin perder datos.

*Tabla 5. Tabla de clasificación cruzada con cinco grupos.*

Grupo	Alimentación	Descanso	Desplazamiento	Otro	Socializa	Total	Error (%)
Alimentación	605	2	5	46	80	738	<u>18,02</u>
Descanso	6	415	61	7	14	503	<u>17,50</u>
Desplazamiento	6	16	112	32	34	200	44,00
Otro	10	13	86	52	120	281	81,49
Socializa	1	1	15	1	19	37	48,65
Total	628	447	279	138	267	1759	31,61

Los resultados se reflejan en la Tabla 5. En el caso de “alimentación”, la tasa de error sigue siendo la misma que “come” en los análisis anteriores, juntarlo con “limpia pico” incluso la disminuye ligeramente. El resto de los grupos también son mucho mejor discriminados en este análisis, siendo “descanso” el que menor tasa de error tiene. El grupo “otro” está muy mal discriminado, pero no es preocupante ya que en él se encuentran actividades muy distintas unas de otras. Es un grupo creado básicamente para tener en cuenta más rangos de los ejes que podrían surgir en la gráfica durante el seguimiento de un ave en libertad.

Tras estos resultados se procedió a disminuir aún más el número de grupos, para ver si de esta forma se puede mejorar el porcentaje de error y aumentar así el poder de discriminación de los grupos mejor diferenciados como son alimentación y descanso. En primer lugar, se aunó “socializa” al grupo “otros”, por ser el grupo diferenciado que más porcentaje de error posee, además de el que menor número de datos tiene. Tras el análisis los resultados son (error %): “alimentación” 17,75%; “descanso” 17,50%; “desplazamiento” 41,00%; “otro” 44,65%.

“Estudio etológico del águila perdicera (*Aquila fasciata*) a través del acelerómetro de emisores GPS”

Por último, se decidió unificar los grupos de desplazamiento y otro, por ser los que peor se discriminan. Los resultados fueron: “alimentación” 17,21%; “descanso” 16,30%; “otro” 11,39%.

Se crearon gráficas de distribución de datos de los grupos resultantes como mejor discriminados (“alimentación” y “descanso”), así como tablas resumen para cada uno de ellos y para el conjunto de datos. Todo ello se comentará en el apartado de *Discusión*.

- Descanso (Tabla 6, Figura 12).

*Tabla 6. Medias resumen de los datos de los ejes del acelerómetro para el comportamiento “Descanso”*

Variable	n	Media	D.E.	Var (n-1)	Var (n)	CV	Mín	Máx
X	503	<b>34,60</b>	131,81	17374,30	17339,76	380,91	-1505,00	703,00
Y	503	<b>-786,79</b>	180,54	32593,67	32528,87	22,95	-1760,00	423,00
Z	503	<b>544,93</b>	191,22	36566,55	36493,86	35,09	-1299,00	1309,00

- Alimentación (Tabla 7, Figura 13).

*Tabla 7. Medias resumen de los datos de los ejes del acelerómetro para el comportamiento “Alimentación”*

Variable	n	Media	D.E.	Var (n-1)	Var (n)	CV	Mín	Máx
X	738	<b>-50,55</b>	81,53	6646,60	6637,60	161,29	-385,00	295,00
Y	738	<b>143,20</b>	297,06	88244,62	88125,05	207,45	-555,00	886,00
Z	738	<b>931,74</b>	64,49	4158,59	4152,95	6,92	256,00	1213,00

- Medias del conjunto de datos (Tabla 8, Figura 11)

*Tabla 8. Medias resumen de los datos de los ejes del acelerómetro para todos los datos de las águilas*

Variable	n	Media	D.E.	Var (n-1)	Var (n)	CV	Mín	Máx
X	1759	<b>-12,76</b>	133,89	17925,47	17915,28	1049,21	-1505,00	879,00
Y	1759	<b>-313,93</b>	472,35	223117,58	222990,74	150,46	-1760,00	1223,00
Z	1759	<b>789,40</b>	217,65	47373,56	47346,62	27,57	-1299,00	1772,00

**Trabajo Fin de Máster**  
Marta García Moreno

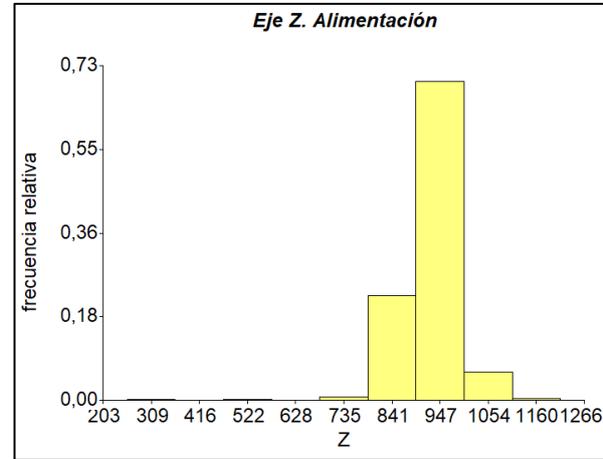
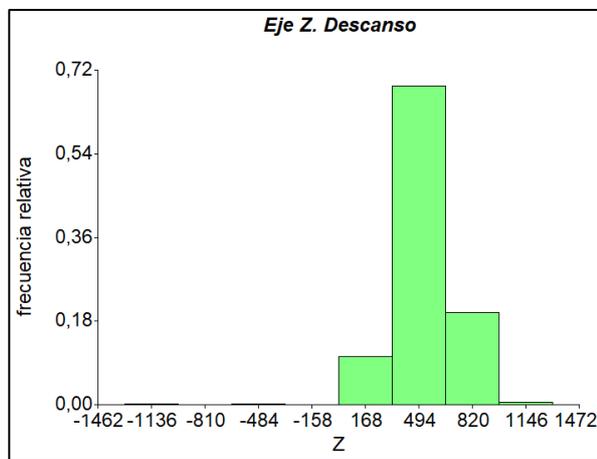
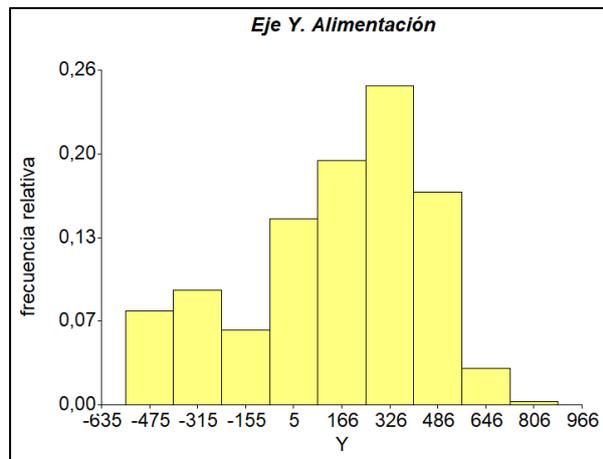
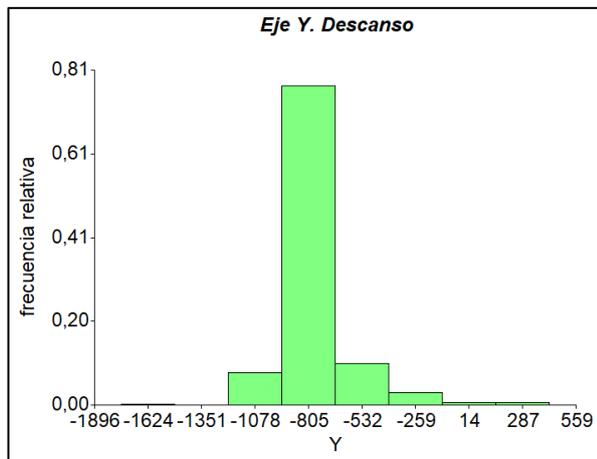
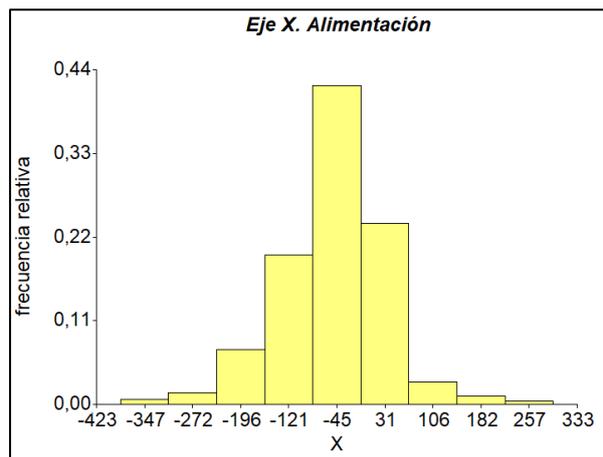
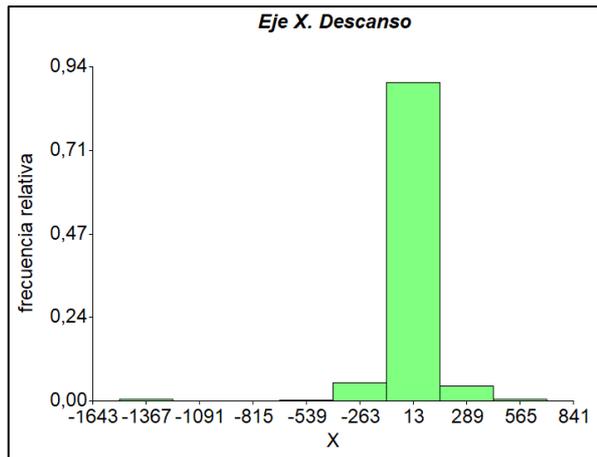


Figura 12. Gráficas de distribución de frecuencias de los valores de los ejes X, Y y Z (de arriba a abajo) del acelerómetro para el comportamiento "Descanso"

Figura 13. Gráficas de distribución de frecuencias de los valores de los ejes X, Y y Z (de arriba a abajo) del acelerómetro para el comportamiento "Alimentación"

## Discusión

Hay que tener en cuenta, antes de sacar conclusiones, las posibles fuentes de error que pueden provocar un sesgo en los resultados, algunas de ellas ya comentadas anteriormente.

En primer lugar, solo se ha realizado el estudio con una especie, por lo que los resultados no son extrapolables a otras aves en las que seguramente varíen. A pesar de haber tenido la suerte de contar con cuatro individuos para este estudio, lo ideal habría sido tener más para poder aumentar la repetibilidad de los resultados y comprobar que es posible que un individuo adulto sano, en las mismas condiciones pueda dar resultados similares. Por otro lado, prácticamente todos los acelerómetros dieron fallos algún día, siendo el del individuo 4 el que más fallos dio y que se tuvo que eliminar de los análisis. A todo esto, hay que añadirle el sesgo por parte del muestreador, que es quien ha definido los diferentes comportamientos analizados. Aunque siempre se pretende ser lo más concreto y fiable posible, es imposible realizar las observaciones sin cierta subjetividad, puesto que un animal no se ciñe a realizar las actividades predefinidas, puede realizar varias a la vez o incluso otras que no están valoradas dentro de este estudio, esto es inevitable y hay que asumirlo. No hay que olvidar tampoco, que se ha trabajado con datos que no siguen una distribución normal a los que se les ha aplicado un test paramétrico, y por ello estos resultados hay que evaluarlos con ciertas reservas.

Sobre las observaciones el hecho de que generalmente cada ave se encuentre en el mismo lugar, podría deberse a que pertenecen a una especie con una estructura jerárquica (López-López et al., 2006), así como el hecho de que desplieguen sus alas al sol puede explicarse debido a que se trata de una especie termófila (Ontiveros, 2014). Incluso, se podría añadir que las dos águilas que se observaron tomando el sol (2 y 4), son las dos que se encontraban siempre en los posaderos que mayores horas de luz tenían, además de las dos águilas más grandes de su sexo (la hembra y el macho más pesados). Es posible que basasen su elección de “territorio” dentro del voladero en función de la luz solar, y que al ser más grandes y, por lo tanto, seguramente más dominantes, se quedaron con el mejor sitio (Figura 14). Esto parece concordar con estudios realizados sobre la elección del territorio en función de la temperatura (Román et al., 2005; Parellada et al., 1984) y el orden jerárquico (López-López et al., 2006).



*Figura 14. Una de las águilas más grandes (anilla verde562) a la izquierda (a la derecha águila que no se utilizó en el estudio) en el posadero con mejores condiciones de luz. Fuente: Cámaras de GREFA*

Además, estas dos mismas águilas, son las que pudieron ser observadas durante más tiempo, debido a que sus acelerómetros duraron más. Al estar tomando el sol, no solo calentaban sus alas, sino que con la luz solar cargaban las baterías de los dispositivos que llevaban en sus espaldas (Figura 7). Como los otros dos individuos (1 y 3) estaban más tiempo a la sombra, sus dispositivos no tuvieron las mismas oportunidades de cargarse y sus baterías se agotaron antes.

Sobre las gráficas creadas a partir de las observaciones (Figuras 8, 9 y 10) es interesante destacar que las actividades de volar y mover alas las realizaban muchas veces a lo largo del día (Figura 8), sin embargo, son actividades cortas a las que no dedicaban más que unos segundos cada vez (Figura 10). Esto podría deberse a que, en el caso de volar, la restricción de movimiento implícita en encontrarse en un sitio cerrado hace que no estén más tiempo en el aire. En el caso de mover alas, puede ser un movimiento repetitivo pero corto, debido a que, al no poder estar más tiempo en el aire, necesitan batir las alas para estirarlas.

Ocurre al contrario con el comportamiento de comer, se alimentan una o dos veces al día (Figura 8), cuando les apetece, y no siempre coincidió con las horas en las que se realizaron las observaciones. Sin embargo, pueden estar alrededor de 10 minutos seguidos alimentándose, incluso más en algunos casos (Figura 10).

El hecho de que desde el principio “tomar el sol” sea uno de los comportamientos mejor discriminados en los análisis, se debe sobre todo a que es una actividad estática, es decir, el animal se coloca en cierta posición y se queda inmóvil durante el tiempo que dura el comportamiento, al no moverse prácticamente nada, el rango de variación de los ejes del acelerómetro es muy pequeño, por lo que es más fácil de distinguir. Además, el hecho de agruparlo bajo el nombre de “descanso” hace que se pueda discriminar incluso mejor; y esto podría ser debido a que en todas las

“Estudio etológico del águila perdicera (*Aquila fasciata*) a través del acelerómetro de emisores GPS”

actividades de este grupo mantienen una pose estática bastante similar. La pista nos la da el primer análisis y la tabla de clasificación cruzada (Tabla 2), donde se puede ver que en estos tres comportamientos (“acicala”, “posado” y “tomar el sol”), la mayor tasa de error que tienen es debida a que los datos se adjudican a alguno de los otros dos.

También es posible que la razón por la que la alimentación sea un grupo tan bien discriminado sea que para comer tienen que bajar la cabeza e inclinar todo el cuerpo para poder llegar con el pico a la altura de sus garras (Figura 15), así como limpiarse el pico lo realizaban generalmente frotándolo sobre el palo en el que estaban posadas, también a la altura de sus patas. Tener la cabeza por debajo de la cadera es una postura que no suelen mantener en ninguna otra actividad, salvo posiblemente si están picándose la anilla u ocasionalmente cuando vuelan hacia abajo. El resto de los comportamientos, son menos destacables en cuanto a posturas únicas. Quizás, si se realiza un estudio similar con ejemplares en libertad, sea más fácil discriminar el vuelo por razones similares a estas, debido a que, por lo general, mantendrán el cuerpo en horizontal durante vuelos más largos. En todo caso, es muy favorable para las conclusiones de este estudio que una de las actividades mejor caracterizadas por el acelerómetro sea la de alimentarse, puesto que es una de las más relevantes de controlar en un ave que ha sido liberada del centro de recuperación.



Figura 15. Águilas perdiceras comiendo, con la cabeza más baja que la cadera. Fuente: Cámaras de GREFA

Con respecto al vuelo, se cumple la hipótesis de estudio inicial, ya que, al tener una restricción de espacio, el vuelo está reducido y los datos que se obtienen son muy dispersos.

Observando las gráficas de dispersión de los tres ejes en los grupos mejor definidos (Figuras 12 y 13) y las Tablas 6 y 7, podemos extraer los siguientes datos:

- Los valores medios de los ejes que discriminan el comportamiento de **Alimentación** en las mismas condiciones de este estudio con una seguridad del 82,25% son:  
Eje X: -50,55  
Eje Y: 143,20  
Eje Z: 931,74
- Los valores medios de los ejes que discriminan el comportamiento de **Descanso** en las mismas condiciones de este estudio con una seguridad del 82,50% son:  
Eje X: 34,60  
Eje Y: -786,79  
Eje Z: 544,93

Se puede observar una diferencia entre los valores medios de cada comportamiento de 85,15 en el eje X; 929,99 en el eje Y; 386,81 en el eje Z. Y una diferencia con respecto a la media general de los comportamientos (Tabla 8) de 37,79 en el eje X; 457,13 en el eje Y; 142,34 en el eje Z para el comportamiento de Alimentación; y 47,36 en el eje X; 472,86 en el eje Y; 244,47 en el eje Z para el comportamiento de Descanso.

Esto confirma los resultados iniciales comentados sobre la Tabla 3, puesto que los valores del eje Y son los que permiten una mejor discriminación de algunas de sus actividades, y en concreto de las que hemos conseguido describir numéricamente. Seguidamente al eje Y, el segundo que mejor discrimina los comportamientos es el Z, y, por último, el X siendo el menos discriminador.

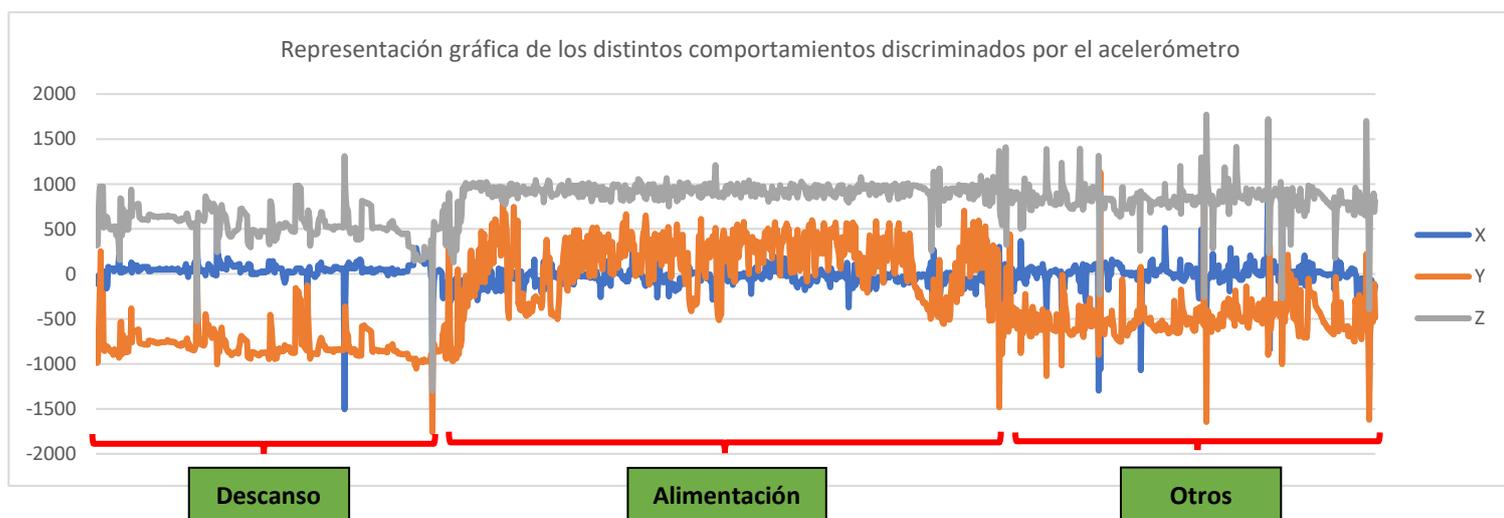


Figura 16. Representación gráfica de los distintos perfiles de los ejes para los diferentes comportamientos. El primer bloque de datos referido al comportamiento Descanso, el segundo al comportamiento Alimentación y el tercero referido a Otros (resto de datos).

## “Estudio etológico del águila perdicera (*Aquila fasciata*) a través del acelerómetro de emisores GPS”

Para apoyar estos resultados, se creó una gráfica similar a la que proporcionan los acelerómetros, con el fin de poder visualizar mejor como varían los perfiles de los ejes en cada comportamiento (Figura 16). En ella se puede observar como el eje Y confirma ser el más discriminante de todos, seguido del Z y, por último, el eje X, siendo el que menos varía de todos.

Esta gráfica representa de forma bastante visual cómo cambian los ejes según el animal realiza los distintos comportamientos, lo cual es un gran avance en términos de conservación y seguimiento del águila perdicera. A partir de ella se va a poder explicar con bastante precisión si un águila perdicera en circunstancias similares está realizando una actividad u otra comparando su gráfica con esta.

## Conclusiones

En este trabajo se han conseguido inferir, a partir de los datos proporcionados por el acelerómetro, dos comportamientos: “Alimentación” y “Descanso”, con una tasa de error en torno al 17%.

Fue de gran ayuda disponer de unas cámaras de tanta calidad y precisión, ya que las grabaciones hicieron posible la exactitud suficiente para poder unir las observaciones con los datos de los acelerómetros en el caso de actividades de corta duración.

No solo se ha conseguido inferir en los datos de los acelerómetros y extraer valores estándar sobre algunos de los comportamientos más interesantes a la hora de monitorear esta especie, sino que además se han descrito y analizado actividades que estos animales realizan en un recinto cerrado, con unas condiciones concretas, lo cual siempre es una aportación al conocimiento etológico de cualquier especie.

En definitiva, se podría decir que se ha conseguido el objetivo inicial de inferir en los datos del acelerómetro para extraer valores característicos de algunos de los comportamientos más relevantes a la hora de realizar un seguimiento de un ave en libertad. Incluso, se podrían llegar a extraer también valores estándar para los comportamientos de descanso y socialización discriminados en la Tabla 5, aunque habría que valorar si se puede asumir una tasa de error tan elevada junto con el sesgo del estudio ya mencionado.

A pesar de los positivos resultados extraídos de este estudio, hay que tener en cuenta que estos datos solo podrían extrapolarse para individuos de la misma especie que se encuentren en circunstancias iguales a las de este estudio. Para poder generalizar

más sería necesario realizar un estudio similar con animales que se encuentren en libertad y comprobar si se dan unos valores parecidos.

En todo caso, teniendo en cuenta las condiciones en las que se ha realizado este estudio y salvo errores puntuales, los acelerómetros utilizados han demostrado su funcionalidad, y han proporcionado información muy relevante, sobre todo para movimientos de cabeceo (Eje Y) y en menor medida para movimientos de balanceo y acimut (Ejes X y Z respectivamente).

## Agradecimientos

Agradezco especialmente a mis tutores José Manuel Serrano y Juan José Iglesias por toda la ayuda, orientación y supervisión prestada para la realización de este TFM. Agradecimiento también a la asociación de GREFA en especial a: Ernesto Álvarez, Juan Pablo Díaz, Manuel Galán, Ignacio Otero, Jorge Aguado, Pablo Izquierdo, Rebeca García y Juan Martínez. Por último pero no menos importante, a mi familia y amigos por todo el apoyo.

## Bibliografía

Bécares, J., Rodríguez, B., Arcos, J. M., & Ruiz, A. (2010). Técnicas de marcaje de aves marinas para el seguimiento remoto. *Revista de anillamiento*, 25, 29-40.

BirdLife International. 2015. *Aquila fasciata*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T22696076A60132541. Downloaded on 14 September 2020.

BirdLife International. 2015. *Gypaetus barbatus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T22695174A60116752. Downloaded on 28 September 2020.

BirdLife International. 2019. *Aquila fasciata* (amended version of 2016 assessment). The IUCN Red List of Threatened Species 2019: e.T22696076A155464015. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-3.RLTS.T22696076A155464015.en>. Downloaded on 14 September 2020.

Bosch, R., Real, J., Tinto, A., Zozaya, E. L., & Castell, C. (2010). Home-ranges and patterns of spatial use in territorial Bonelli's Eagles *Aquila fasciata*. *Ibis*, 152(1), 105-117.

Cadahía, L., Urios, V., & Negro, J. J. (2005). Survival and movements of satellite-tracked Bonelli's Eagles *Hieraetus fasciatus* during their first winter.

Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2010). InfoStat version 2010 computer program. *Córdoba, Argentina*.

Flack, A., Nagy, M., Fiedler, W., Couzin, I. D., & Wikelski, M. (2018). From local collective behavior to global migratory patterns in white storks. *Science*, 360(6391), 911-914.

Garcelon, D. K. (1985). Mounting backpack telemetry packages on bald eagles. Institute for Wildlife Studies, Arcata.

García-Jiménez, R., Martínez-González, J. M., Oliva-Vidal, P., Piqué, J., Sesé, J. A., & Margalida, A. (2020). Nocturnal flights by Bearded Vultures *Gypaetus barbatus* detected for the first-time using GPS and accelerometer data. *Bird Study*, 67(1), 135-141.

Heithaus, M. R., Frid, A., Wirsing, A. J., & Worm, B. (2008). Predicting ecological consequences of marine top predator declines. *Trends in ecology & evolution*, 23(4), 202-210.

<https://es.omega.com/prodinfo/acelerometro.html>

López-López, P. (2016). Individual-based tracking systems in ornithology: welcome to the era of big data. *Ardeola*, 63(1), 103-136.

López-López, P., García-Ripollés, C., Aguilar, J. M., Garcia-López, F., & Verdejo, J. (2006). Modelling breeding habitat preferences of Bonelli's eagle (*Hieraaetus fasciatus*) in relation to topography, disturbance, climate and land use at different spatial scales. *Journal of Ornithology*, 147(1), 97-106.

Madroño, A., González, G. G., & Atienza, J. C. (Eds.). (2004). *Libro rojo de las aves de España*. Organismo Autónomo Parques Nacionales.

Miwa, M., Oishi, K., Nakagawa, Y., Maeno, H., Anzai, H., Kumagai, H., ... & Hirooka, H. (2015). Application of overall dynamic body acceleration as a proxy for estimating the energy expenditure of grazing farm animals: relationship with heart rate. *PloS one*, 10(6), e0128042.

Müller, R., and L. Schrader. 2003. A new method to measure behavioural activity levels in dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 83:247–258.

Ontiveros, D. (2014). Águila perdicera – *Aquila fasciata*. En: Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. Salvador, A., Morales, M. B. (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid. <http://www.vertebradosibericos.org/>

Parellada, X., De Juan, A., Alamany, O. (1984). Ecologia de l'álga cuabarrada (*Hieraaetus fasciatus*): factors limitants, adaptacions morfològiques i ecològiques i relacions interespecífiques amb l'álga daurada (*Aquila chrysaetos*). *Rapinyaires Mediterranis*, 2: 121- 141.

Pereira, G. M., Heins, B. J., & Endres, M. I. (2018). Validation of an ear-tag accelerometer sensor to determine rumination, eating, and activity behaviors of grazing dairy cattle. *Journal of dairy science*, 101(3), 2492-2495.

“Estudio etológico del águila perdicera (*Aquila fasciata*) a través del acelerómetro de emisores GPS”

Real Decreto 139/2011, de 4 de febrero, para el desarrollo del Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y del Catálogo Español de Especies Amenazadas.

Reyes-González, J. M., Morera-Pujol, V., Abizanda, D., Torné, S., Compte, A., & González-Solís, J. (2013-2017). El seguimiento remoto de las aves marinas como herramienta para la gestión adaptativa en la Red de Parques Nacionales de España.

Román, A., Real, R. Márcia, A., Vargas, M. (2005). Modelling the distribution of Bonelli's eagle in Spain: implications for conservation planning. *Biodiv. Distrib.*, 111: 477-486.

Sergio, F., Newton, I. A. N., Marchesi, L., & Pedrini, P. (2006). Ecologically justified charisma: preservation of top predators delivers biodiversity conservation. *Journal of Applied Ecology*, 43(6), 1049-1055.

Torrado Fonseca, M., & Berlanga, V. (2012). Análisis Discriminante mediante SPSS. *REIRE. Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, 2012, vol. 6, num. 2, p. 150-166.