



Aplicación de tecnologías GSM/GPRS y acelerometría a la ecología espacial de la avutarda hubara

Inmaculada Abril-Colón^{1,*} , Juan Carlos Alonso¹ , Alberto Ucero¹ , Carlos Palacín¹

(1) Departamento de Ecología Evolutiva, Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC). C/José Gutiérrez Abascal, 28006 Madrid, España.

* Autora de correspondencia: Inmaculada Abril-Colón [inma.abril@mncn.csic.es]

> Recibido el 06 de julio de 2022 - Aceptado el 03 de diciembre de 2022

Como citar: Abril-Colón, I., Alonso, J.C., Ucero, A., Palacín, C. 2023. Aplicación de tecnologías GSM/GPRS y acelerometría a la ecología espacial de la avutarda hubara. *Ecosistemas* 32(2): 2420. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2420>

Aplicación de tecnologías GSM/GPRS y acelerometría a la ecología espacial de la avutarda hubara

Resumen: Los dispositivos de localización que incorporan tecnologías de Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y acelerómetro (ACC), han supuesto un avance muy importante en el estudio de la ecología animal. Utilizando datos de 53 avutardas hubaras (*Chlamydotis undulata fuertaventurae*) marcadas con emisores GSM/GPRS durante el periodo 2017-2022 en las islas de Lanzarote, Fuerteventura y La Graciosa, describimos cómo es posible identificar y clasificar distintas pautas de comportamiento a través del software *AcceleRater* y utilizar esos datos para interpretar su ecología espacial. Mediante este software se determinó que el mejor modelo que clasifica los comportamientos de las hubaras es el conocido como Núcleo de Función de Base Radial/Máquinas de Vectores de Apoyo (RBF SVM), que ofrece un porcentaje de precisión del 92.95 %, permitiendo identificar siete tipos de comportamientos (carrera de exhibición, vocalización, movimiento precópula, vuelo, alimentación, descanso y vigilancia), de los diez comportamientos evaluados. Además, la asociación del patrón del ACC con las localizaciones GPS permite identificar los lugares concretos en los que se producen las exhibiciones, la nidificación, la alimentación y el descanso de los individuos marcados. El presente estudio evidencia cómo los avances tecnológicos pueden ofrecer indudables ventajas para conocer la ecología espacial de una especie a nivel individual, lo que supone un avance notable respecto a resultados poblacionales, más aún en aquellos con posibilidades de observación directa limitadas. Concluimos que los datos que se obtienen con estas tecnologías son de gran valor en investigación, y pueden ser clave para poder mejorar la gestión y conservación de las especies amenazadas.

Palabras clave: acelerómetro; avutarda hubara canaria; comportamiento; GPS; islas Canarias; movimientos

Application of GSM/GPRS technologies and accelerometry to the spatial ecology of the Canarian houbara bustard

Abstract: Data loggers, which incorporate Global Positioning System (GPS) and accelerometer (ACC) technologies, have enabled an important progress in the study of animal ecology. Using data from 53 Canarian houbara bustards (*Chlamydotis undulata fuertaventurae*) tagged with GSM/GPRS transmitters during the period 2017-2022 on the island of Lanzarote, Fuerteventura and La Graciosa, we describe how different behavioural patterns can be identified and classified using *AcceleRater* software and used to interpret their spatial ecology. Using *AcceleRater* we found that the best model to classify houbara bustards' behaviours is the one known as Radial Basis Function Kernel for Support Vector Machine (RBF SVM), which in our case offered an accuracy rate of 92.95 %, allowing the identification of seven types of behaviour (display run, vocalization, pre-copulatory movement, flight, foraging, resting and vigilance) of the ten behaviours assessed. In addition, the association of the ACC pattern with GPS locations allowed the identification of specific display and nesting sites, as well as the places where marked individuals foraged and rested. The present study shows how technological advances can offer clear advantages in understanding the spatial ecology of a species using detailed data from individuals, particularly in those with limited direct observation possibilities. This represents a great advance with respect to spatial ecology based on population results. We conclude that the data obtained are of great value in research, and may be key to improving the management and conservation of threatened species.

Keywords: accelerometer; behaviour; Canary Islands, GPS; houbara bustard; movement

Introducción

El estudio de las actividades de una especie animal en el tiempo y el espacio es fundamental para comprender su ecología, ya que permite describir sus patrones de comportamiento (Torres et al. 2017). En los últimos tiempos, el seguimiento a distancia ha permitido conocer muchos aspectos de la vida de los animales de los que antes se carecía de información (Block 2005; Rutz y Hays 2009; Hussey et al. 2015). En muchas ocasiones la dificultad para detectar a los individuos en libertad o para observarlos de forma

continua, por las condiciones ambientales o por el terreno, impide que los comportamientos puedan ser observados en el campo (Brewster et al. 2018; Brown et al. 2013). El perfeccionamiento y los avances en la telemetría, mediante el uso de dispositivos acoplados a estos individuos, soluciona en parte este problema y facilita un estudio más detallado de sus actividades. El uso de la telemetría ha permitido estudiar aspectos claves de los procesos ecológicos y evolutivos, como la distribución de las especies, la reproducción, la supervivencia o la selección de recursos, que permite explicar la manera en que la calidad o la alteración del hábitat

pueden influir en los movimientos y en el comportamiento de la fauna (Sawyer et al. 2009; Williams et al. 2019). Además, los avances de esta tecnología han permitido también conocer la ubicación y la actividad de los animales, lo que tiene una importancia muy relevante para la gestión y conservación de las distintas especies (Wilson et al. 2015; Allen y Singh 2016; McGowan et al. 2017).

El uso de dispositivos para monitorear los desplazamientos de fauna se ha extendido de forma radical recientemente (Kays et al. 2015), lo que ha generado un incremento sustancial en el conocimiento sobre su ecología. Actualmente se han desarrollado sistemas de telemetría más avanzados que combinan varios tipos de sensores: los que proporcionan localizaciones georreferenciadas que permiten registrar la posición espacial del individuo como GPS (Iglesias-Lebrija et al. 2005; Tomkiewicz et al. 2010; Kays et al. 2015) y los que incorporan acelerómetros (ACC), que permiten registrar los movimientos tridimensionales que realiza el animal marcado (Yoda et al. 1999; Tanaka et al. 2001; Kato et al. 2006; Laich et al. 2008; Gleiss et al. 2011; Nathan et al. 2012; Graf et al. 2015; Williams et al. 2015; Clarke et al. 2021; Garde et al. 2022). El uso de ACC tridimensionales se ha utilizado para el monitoreo de especies terrestres y acuáticas (Bidder et al. 2014) demostrando ser una potente forma de estudiar el comportamiento de animales en libertad, más aún en aquellos que son difíciles de observar (Foerster et al. 1999; Tsuda et al. 2006; Cooke 2008; Shepard et al. 2008; Wilson et al. 2008; Moreau et al. 2009; Williams et al. 2019). Los comportamientos identificados a partir de los datos del ACC se consideran una valiosa herramienta para estudiar la ecología del comportamiento, con múltiples objetivos, desde conocer sus patrones de movimiento (Nathan et al. 2008), la selección del hábitat y el uso de recursos (Johnson 1980; Kie et al. 2010; Andrzejczek et al. 2019), detectar la aparición y la intensidad del comportamiento (Fehlmann et al. 2017; Chakravarty et al. 2020) e incluso para saber si un individuo se encuentra activo o inactivo (Gervasi et al. 2006; Whitney et al. 2007), de manera que se puedan identificar eventos de mortalidad (Kendall y Virani 2012; Fabrizio et al. 2019).

En este estudio realizamos una clasificación supervisada, en la que los comportamientos se infieren mediante el seguimiento de individuos marcados, para posteriormente determinar cada tipo de comportamiento con los datos del ACC. Este método permite clasificar automáticamente los datos de los ACC en clases de comportamiento. En combinación con las localizaciones GPS, el ACC añade información a escala detallada sobre la variación del comportamiento de cada individuo. Nuestro objetivo es mostrar cómo el uso de las nuevas tecnologías puede aportar información sobre la ecología espacial de las especies, utilizando como modelo de estudio la avutarda hubara canaria. Los objetivos específicos fueron 1) realizar una clasificación supervisada de comportamientos y testar el modelo más idóneo, y 2) mostrar la utilidad de esos comportamientos supervisados cuando se combinan con los datos de GPS.

Material y Métodos

Especie de estudio

La avutarda hubara (*Chlamydotis undulata*) es un ave amenazada a escala global (IUCN 2016; BirdLife International 2021), cuya subespecie canaria (*C. u. fuertaventurae*) está catalogada *En peligro* (Ucero et al. 2021). Dicha subespecie es endémica de las islas Canarias y su distribución se limita a las islas orientales (Lanzarote, Fuerteventura y La Graciosa). La población actual de hubara canaria se estima en 537-577 individuos, con 440-452 en la isla de Lanzarote (Alonso et al. 2020), 12-16 en La Graciosa y entre 85-109 individuos en Fuerteventura (Ucero et al. 2021). Entre las principales amenazas para esta subespecie destacan la mortalidad no natural debida a choques con tendidos eléctricos y telefónicos y los atropellos en carreteras y caminos. También se ve afectada por la fragmentación del hábitat, debida sobre todo a cambios en el uso del suelo, entre otros factores (Ucero et al. 2021).

Aunque nuestro conocimiento sobre la hubara canaria es aún escaso, sobre todo en lo referente a su ecología espacial, sabemos

que presenta un sistema de apareamiento poligínico que parece ajustarse a la definición de *lek explotado*, según el cual los machos se exhiben realizando exhibiciones visuales y acústicas para atraer a las hembras (Gaucher et al. 2008) y mantienen distancias interindividuales de varios cientos de metros con otros machos (Hellmich 2003; Hingrat et al. 2004, 2008; Hingrat y Saint Jalme 2005; Alonso et al. 2020). La exhibición visual consiste en rápidas carreras circulares o lineales con la cabeza inclinada hacia atrás, mostrando las plumas blancas del pecho (denominada *carrera de exhibición*). Al final de cada carrera los machos suelen emitir una serie de vocalizaciones, desde una posición estática, con las plumas blancas y negras del pecho aún elevadas y llamativas (*pre-celo*) (Heinze et al. 1978; Hinz y Heiss 1989; Launay y Paillat 1990; Hellmich 2003; Cornec 2015; Cornec et al. 2014, 2015). Estos comportamientos son exclusivos de machos. Las hembras visitan los leks para copular con los machos y posteriormente incuban los huevos y cuidan los pollos sin que los machos realicen ningún tipo de cuidado parental (Hingrat y Saint Jalme 2005).

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en las islas orientales de Canarias (Lanzarote, Fuerteventura y La Graciosa). El archipiélago canario se caracteriza por presentar un clima subtropical-desértico templado por la corriente fría de Canarias y los vientos "alisios" permanentes del noreste. Las precipitaciones se concentran en diciembre-enero, con una media de 144 mm al año en Lanzarote y La Graciosa y 123 mm al año en Fuerteventura. Los veranos son secos, con menos de 1 mm de precipitaciones en junio-agosto. Las islas son de origen volcánico y la vegetación predominante consiste en arbustos xerófilos, modificados en algunas zonas por el pastoreo de cabras y las actividades agrícolas.

Análisis de los datos

Entre 2017 y 2020, 53 avutardas hubaras canarias (32 machos y 21 hembras) fueron equipadas con dispositivos GSM/GPRS de carga solar provistos de receptor de GPS y ACC, con un peso de 48 g para los machos y de 25 g para las hembras (e-obs GmbH, Gruenwald, Alemania). El peso del dispositivo más el arnés representó en promedio un 2.83 % del peso corporal en los machos (rango 2.54 – 3.15 %) y un 2.15 % en las hembras (rango 1.81 – 2.53 %). Para conocer la ecología espacial de la hubara canaria se programaron localizaciones GPS cada 5 minutos y registros de series de datos de ACC de 15 segundos de duración cada 15 minutos durante dieciséis horas cada día (05:00-21:00 h). El ACC registra la aceleración del transmisor en un espacio tridimensional, proporcionando una representación 3D de los movimientos del ave. La aceleración se midió en 16.7 Hz por eje. Los datos se descargan mediante la red GSM/GPRS a los servidores del fabricante de los emisores y posteriormente se almacenan en la base de datos Movebank (<https://www.movebank.org/>), sin ser necesario recapturar a las aves para obtener la información.

Para poder identificar comportamientos a través del ACC, primero fue necesario comparar las secuencias de datos ACC con observaciones directas de los individuos marcados sincronizadas en el tiempo (Clarke et al. 2021). La observación de campo se realizó de diciembre de 2018 a marzo de 2019 en Lanzarote con diez machos de hubara marcados durante periodos de tiempo variables (720 horas en total) utilizando un telescopio de 20-60x desde una distancia de 1000 m y cronometrando el tiempo de cada comportamiento. La hubara canaria es un ave terrestre sensible ante la aparición de molestias, por lo que realizar observaciones a larga distancia es esencial para no interferir en su comportamiento.

El ACC por sí mismo no permite inferir los comportamientos; por ello, utilizando la relación de nuestras observaciones de campo con los segmentos del ACC, clasificamos las categorías de comportamiento a partir de los perfiles de aceleración. Los datos de ACC recogidos por los emisores se analizaron mediante la aplicación *Accelerater* (Resheff et al. 2014; <http://accapp.move-ecol-mi-nerva.huji.ac.il/>), con el objetivo de ajustar modelos y clasificar los

comportamientos. Se utilizó un conjunto de datos compuesto por 1722 observaciones de campo donde se reconocieron diez clases de comportamiento: carrera de exhibición ($n=287$; 16.67%), vocalización ($n=137$; 7.95%), movimientos precópula (movimientos que realizan antes de copular; $n=7$; 0.41%), caminar ($n=91$; 5.28%), alimentación ($n=522$; 30.31%), acicalarse ($n=120$; 6.97%), descansar ($n=25$; 1.45%), precelo ($n=29$; 1.68%), vigilar ($n=457$; 26.53%) y vuelo ($n=47$; 2.73%). Se evaluaron cinco algoritmos de aprendizaje automático (cinco modelos) (Resheff et al. 2014) para clasificar los datos de aceleración de las hubaras canarias marcadas. Los modelos evaluados fueron: 1) Modelo de vecinos más cercanos, modelo no paramétrico que utiliza la proximidad para hacer clasificaciones o predicciones sobre la agrupación de un punto de datos individual; 2) Modelo Lineal SVM, modelo lineal que crea una línea o un hiperplano que separa los datos en clases; 3) Modelo RBF SVM, similar al modelo lineal SVM pero en el que el hiperplano se calcula después de una proyección implícita de los datos; 4) Modelo árbol de decisión, predice o clasifica observaciones futuras basándose en un conjunto de reglas de decisión; 5) Modelo de bosque aleatorio, cambia árboles predictores de forma que cada árbol depende de los valores de un vector aleatorio que es probado de forma independiente y con la misma distribución para cada uno de estos.

La evaluación de los modelos se realizó mediante validación cruzada, comparando comportamientos con perfiles de ACC y obteniendo tres parámetros diferentes para cada uno de los modelos y comportamientos: sensibilidad (probabilidad de que una muestra con un comportamiento concreto se clasifique correctamente), precisión (probabilidad de que un comportamiento asignado se clasifique correctamente) y exactitud (probabilidad de que una muestra del conjunto de pruebas se asigne correctamente al comportamiento específico o a otro comportamiento). El procedimiento se repitió de forma iterativa hasta que se utilizaron todas las partes para la validación. La máxima precisión se alcanzó en la quinta iteración. La clasificación para la evaluación del modelo siguió los umbrales propuestos por Resheff et al. (2014), como precisión baja (59-75%), media-alta (78-85%), muy alta (92%) y extremadamente alta (95%).

Aunque los datos de ACC se recogen de forma independiente a las localizaciones GPS, con Movebank se ha vinculado el comportamiento de los animales a partir de los datos del acelerómetro con los datos de localización del GPS (Brown et al. 2013), para ubicar en el espacio el lugar donde se realizó cada comportamiento.

Resultados

Modelos obtenidos del software *AcceleRater*

El entrenamiento del modelo realizado en *AcceleRater* mostró que los cinco modelos seleccionados presentaban un porcentaje de corrección muy alto (más del 90%). El valor del modelo RBF SVM fue ligeramente superior al de los otros modelos (Tabla 1). La principal variación en la precisión global de los modelos (Tabla 1) y en la sensibilidad, precisión y exactitud de la validación cruzada fue debida a la mayor o menor dificultad con que son reconocibles los patrones de cada uno de los diferentes comportamientos (Tabla A1).

La sensibilidad media fue notablemente alta (más del 90%) para los comportamientos de movimiento precópula, carrera de exhibición, vuelo, vocalización, vigilancia y alimentación, alta (80-89%) para el comportamiento de descanso y baja (menos del 70%) para los comportamientos de precelo, acicalarse y caminar. La precisión para los distintos modelos fue de un 90-93%. En concreto, fue muy alta (más del 90%) en el caso de los comportamientos de movimiento precópula, vocalización, vuelo, carrera de exhibición, vigilancia y descanso, alta (80-89%) en el comportamiento de alimentación y baja (menor 70%) en el comportamiento de caminar, precelo y acicalarse (Tabla A1; Fig. 1). El modelo que mejor clasificó los comportamientos de las hubaras fue el RBF SVM (Tabla 1), con un porcentaje de precisión del $92.95 \pm 0.67\%$. Utilizando este modelo, la mayoría de los comportamientos identificados tuvieron un alto grado de precisión (Fig. 1). En los machos se detectó un alto grado de exactitud en varios tipos de comportamiento: por ejemplo, carrera de exhibición (porcentaje de sensibilidad = 97.28%, precisión = 94.71% y exactitud = 99.41%); o movimiento precópula (sensibilidad = 99.90%, precisión = 99.90% y exactitud = 99.92%). Respecto a los comportamientos necesarios para identificar las posibles migraciones (vuelos), estos también fueron identificados con un alto grado de sensibilidad (95.24%), precisión (97.56%) y exactitud (99.88%). Los comportamientos relacionados con el uso de recursos (alimentación) y con los dormideros (descanso) presentaron un buen porcentaje de sensibilidad (89.46 % y 84.00% respectivamente), precisión (86.16% y 84.00% respectivamente) y exactitud (94.91% y 99.69% respectivamente). Los comportamientos de precelo, acicalarse y caminar fueron identificados con un menor grado de sensibilidad (67.86%, 65.00% y 60.00% respectivamente), precisión (90.48%, 70.27%, 70.00%) y exactitud (99.57%, 97.06% y 98.20%).

Combinación GPS y ACC

Relacionando los comportamientos con sus correspondientes localizaciones GPS, ubicamos en el espacio los lugares exactos donde los individuos marcados realizan cada actividad. Algunos de estos comportamientos se realizan en sitios muy concretos, como por ejemplo las carreras circulares de exhibición de los machos, que nos permiten localizar con gran precisión los lugares elegidos por los machos para exhibirse, o el comportamiento de nidificación, que aunque no está reconocido en la clasificación realizada previamente en el ACC, puede reconocerse por la inactividad de las hembras que incuban, y por presentar un patrón de ACC similar al de descanso, pero prolongado a lo largo de la mayor parte del día y solo interrumpido muy brevemente cada cierto tiempo cuando la hembra se pone en pie para acicalarse o caminar y comer cerca del nido (Fig. 2). Este patrón de ACC sólo se puede explicar si la hembra está echada, incubando, ya que se produce siempre en la misma localización GPS durante más de 20 días, lo que, por otra parte, permite localizar el sitio exacto de nidificación y, además, la fecha exacta de comienzo y fin de la incubación de las hembras. Por un procedimiento similar también podemos conocer los lugares exactos de alimentación y de descanso (dormideros) utilizados por cada individuo en cada momento (Fig. 3).

Tabla 1. Precisión de los modelos evaluados en *AcceleRater* para la avutarda hubara canaria.

Table 1. Model accuracy tested in *AcceleRater* for the *Canarian houbara bustard*.

Modelos	% de corrección	Desviación estándar
Modelo de vecinos más cercanos	91.00	0.90
Modelo Lineal SVM	91.47	1.37
Modelo RBF SVM	92.95	0.67
Modelo árbol de decisión	90.29	1.25
Modelo de bosque aleatorio	92.72	0.31

Desviación estándar calculada mediante un procedimiento de validación cruzada.

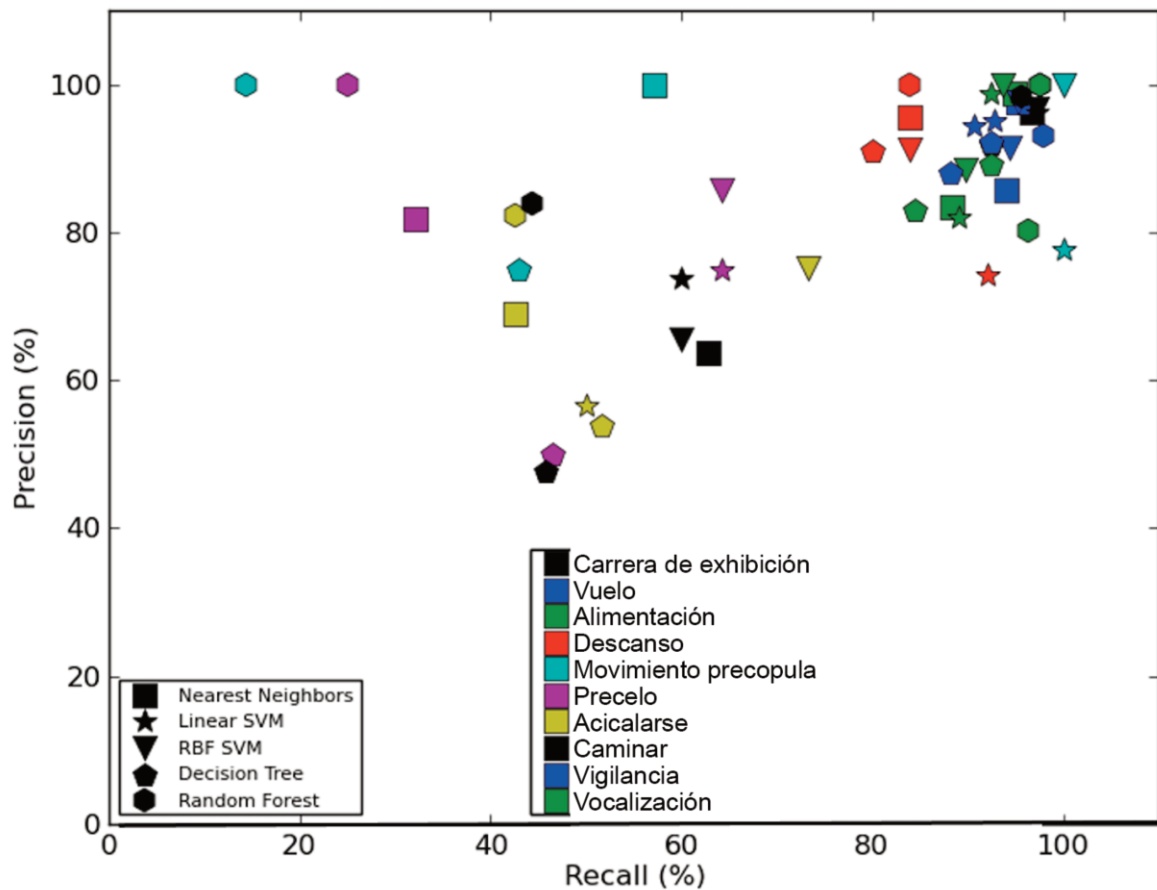


Figura 1. Gráfico de precisión y sensibilidad generado por el software AcceleRater para el conjunto de datos de la hubara canaria.

Figure 1. Precision-recall plot generated by AcceleRater software for the Canarian houbara bustard dataset.

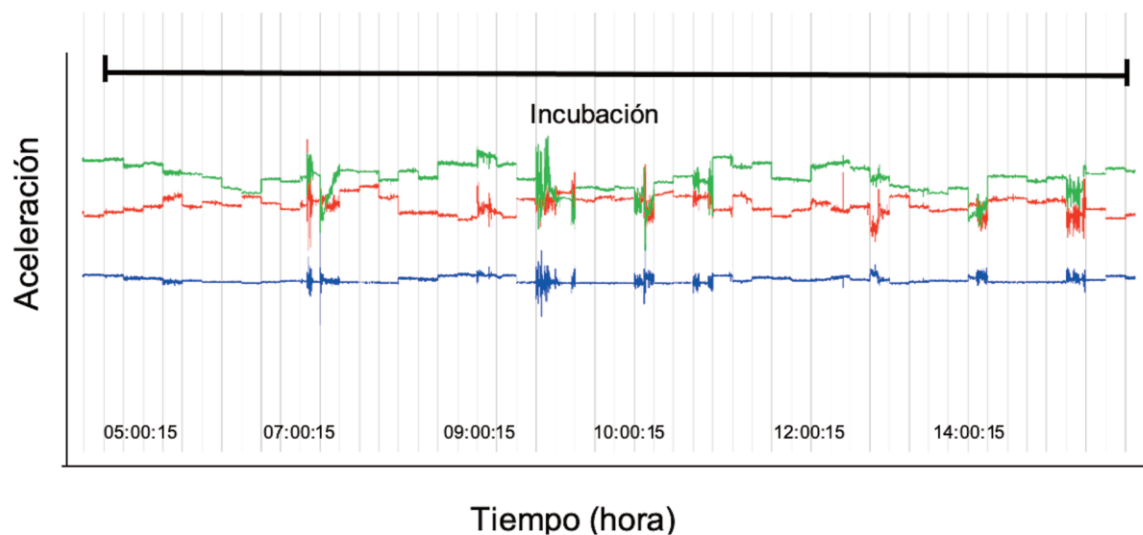


Figura 2. Patrón del ACC durante la incubación en una hembra marcada de hubara, en el que se puede observar un periodo de 4 días de inactividad característica del periodo de incubación.

Figure 2. ACC- pattern of a tracked female houbara bustard during incubation, showing a 4-day period of inactivity.

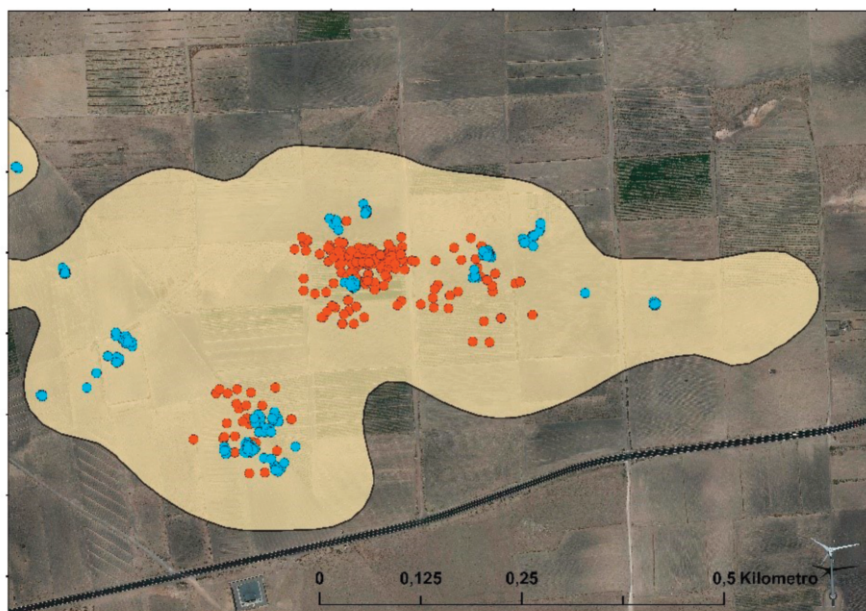


Figura 3. Área de campeo (kernel 95%) de una hembra de hubara marcada durante el periodo post-reproductivo. Los sitios de alimentación se muestran en naranja y los de descanso en azul.

Figure 3. Home-range (95% kernel) of a tracked female houbara during the post-breeding period. Foraging locations are shown in orange and resting locations in blue.

Discusión

En este trabajo ponemos de manifiesto la importancia de identificar los diferentes comportamientos de los individuos de la especie estudiada y la utilidad de dichos datos para investigar su ecología espacial. Describimos cómo la disponibilidad de tecnologías avanzadas como el posicionamiento GPS y ACC han permitido estos avances, y aportamos como ejemplo datos concretos de clasificación de los comportamientos de la avutarda hubara canaria a través del software *AcceleRater*. Aunque algunos comportamientos se pueden reconocer fácilmente de forma visual observando las gráficas del ACC (por ejemplo, aquellos muy característicos como las carreras de exhibición; [Fig. 4](#)), en este trabajo nos centramos en los métodos de clasificación automática mediante algoritmos (*AcceleRater*) como herramientas útiles de estudio del comportamiento animal. Por último, destacamos que la combinación de localizaciones GPS y datos de ACC permite un estudio detallado de los movimientos de los animales y de las actividades que desarrollan en cada lugar concreto de su área de campeo.

Los estudios con especies silvestres son complicados debido a las distintas limitaciones, sobre todo en especies crípticas o huidizas, donde las observaciones directas resultan complicadas. El uso de la aplicación web de libre acceso *AcceleRater* nos permite detectar de forma muy eficiente casi todos los comportamientos descritos de la hubara y por tanto es un buen método para poder clasificar los comportamientos con un alto grado de precisión. Hemos utilizado con éxito los datos de aceleración para identificar siete comportamientos de los diez evaluados que son realizados por los adultos de avutarda hubara canaria (carrera de exhibición, movimiento precópula, vocalización, vuelos, alimentación, descanso y vigilancia). La clasificación de estos comportamientos presentó un alto porcentaje de precisión, lo que nos permitió conocer las actividades que realizaban los individuos marcados en cada momento y lugar. Los comportamientos relacionados con la locomoción suelen estar bien identificados ([Yoda et al. 1999](#); [Shepard et al. 2008](#); [Moreau et al. 2009](#); [Fehlmann et al. 2017](#)) y nuestro modelo tuvo éxito en la asignación de varios de estos comportamientos. Se identificaron con un alto grado de precisión los eventos de alimentación, (uso de los recursos), las carreras de exhibición, vocalizaciones y movimientos precópula (relacionados con el esfuerzo y éxito reproductivo) y los vuelos (relacionados con los patrones de migración).

Los comportamientos de precelo, acicalarse y caminar no fueron identificados correctamente mediante los datos de ACC, probablemente debido a que consisten en movimientos sutiles o poco diferenciados de los otros comportamientos, que se reflejan en patrones poco específicos en el ACC. Estos comportamientos presentaron una precisión menor del 80% (precisión media-baja; [Resheff et al. 2014](#)), por lo que consideramos que no son muy adecuados para hacer estudios a escalas de mucho detalle y no deberían ser tenidos en cuenta para futuros análisis de comportamiento. El comportamiento de acicalarse (de corta duración) es difícil de clasificar, debido a que no permite al modelo detectar bien la secuencia de ACC. Además, aquellos comportamientos que implican leves cambios de movimiento, como el precelo, se identificaron con menos precisión, probablemente debido a que la postura de este comportamiento se adopta también en el marco de otros comportamientos. Esta dificultad de asignación de algunos comportamientos ha ocurrido en otras especies; en el caso de los babuinos chacma (*Papio ursinus*), fue difícil diferenciar entre el reposo y el “de pie” ([Fehlmann et al. 2017](#)); en los guepardos (*Acinonyx jubatus*) no se pudo clasificar con precisión los comportamientos de acicalarse y beber ([Giese et al. 2021](#)); y lo mismo ocurrió con ratas topo respecto a los comportamientos de comer o “de pie” ([Resheff et al. 2022](#)). La diferenciación de comportamientos sutiles resulta difícil, y un aumento de muestra no sería suficiente para poder clasificarlos de forma precisa. Sin embargo, en algunos casos la supervisión no clasificada y el uso de paquetes estadísticos como moveACC ha permitido identificarlos ([Morant et al. 2022](#)), por lo que estudios futuros podrían evaluar el desempeño de este método para intentar diferenciar los comportamientos sutiles de los individuos.

El software *AcceleRater* ha sido utilizado para clasificar otros comportamientos en diversas especies, desde mamíferos, como en el guepardo (reposo, marcha y carrera con una precisión entre el 80-100% y alimentación con un 54-82% de precisión; [Giese et al. 2021](#)), en liebres europeas (*Lepus europaeus*) (alimentación con un 93% de sensibilidad, 83% de precisión y 92% de exactitud; [Weterings et al. 2018](#)) y en ratas topo de Damara (*Fukomys damarensis*) (26 comportamientos; [Resheff et al. 2022](#)). Hasta en aves, como en la cigüeña blanca (*Ciconia ciconia*) (7 comportamientos con un 92% de exactitud; [Rotics et al. 2016](#)), el pelicano ceñudo (*Pelecanus crispus*) (planeo y aleteo; [Efrat et al. 2019](#)), el pingüino

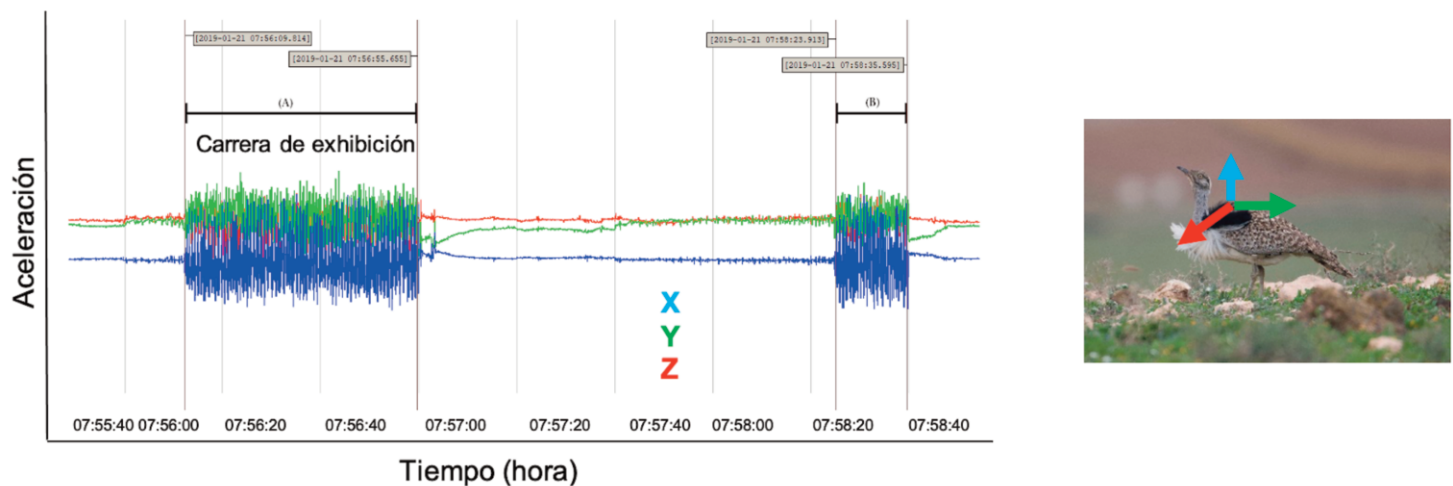


Figura 4. Patrón del ACC durante una carrera de exhibición de un macho marcado de hubara, mostrando las direcciones de los tres ejes del ACC.

Figure 4. ACC-pattern of a tracked male houbara bustard during a circular display run, showing the directions of the three ACC axes.

de Magallanes (*Spheniscus magellanicus*) (volar, caminar y nadar con una alta exactitud; Del Caño et al. 2021), en buitres del Himalaya (*Gyps himalayensis*) (alimentación y posarse; Sherub et al. 2017), en el buitre leonado (*Gyps fulvus*) (alimentación; Arkumarev et al. 2020) y en el ánsar careto de Groenlandia (*Anser albifrons flavirostris*) (alimentación, volar y descansar; Weegman et al. 2017). Este software ha sido utilizado también en especies de la familia Otidae, como en el sisón común (*Tetrax tetrax*), para clasificar el comportamiento de exhibición (Gudka et al. 2019), sin embargo, no ha sido utilizado para otras avutardas como la avutarda hubara asiática (*Chlamydotis macquennii*) ni para la avutarda euroasiática (*Otis tarda*).

Los datos de ACC unidos a los datos de localizaciones GPS pueden conducir a nuevos conocimientos sobre la ecología del comportamiento de las especies y han servido para estudiar varias características de la avutarda hubara canaria. Se ha descubierto la existencia de actividad sexual nocturna, donde la luz lunar parece ayudar a los machos que se exhiben a detectar a los depredadores, así como a comunicarse visualmente con las hembras que se acercan o con otros machos vecinos (Alonso et al. 2021). Además, los machos no utilizan solo un lugar de exhibición, como se creía (Hellmich 2003; Hingrat et al. 2004, 2008), sino que algunos pueden llegar a utilizar hasta 3 sitios de exhibición en un radio cercano en función de la superficie visible desde el lugar principal (Alonso et al. 2022).

En cuanto a la ecología espacial, el seguimiento a largo plazo de individuos marcados de hubara canaria ha permitido desentrañar los patrones de migración, hasta ahora desconocidos, revelando la existencia de migración parcial nocturna (Abril-Colón et al. 2022a), así como la selección de hábitat y el uso de recursos alimentarios (Abril-Colón et al. 2022b). La información obtenida también ha sido aplicada a la elaboración de un mapa de riesgo para la planificación y evaluación de nuevos proyectos de infraestructuras de energías renovables (Palacín et al. 2021). El estudio de la frecuencia de las carreras de exhibición o la cantidad de movimientos precópula nos puede permitir estimar la aptitud reproductiva o eficacia biológica (*fitness*) de cada macho (Chargé et al. 2010), al igual que conocer el número de hembras que logran finalizar la nidificación permite obtener el índice de éxito de incubación de las hembras marcadas. En ambos casos, la combinación de localizaciones GPS e identificación de comportamientos mediante el ACC permite conocer las localizaciones de lugares de exhibición (Alonso et al. 2022; Uceró et al. 2023) y nidificación. Además, la identificación de los periodos de inactividad puede proporcionar datos sobre el gasto energético

y el tiempo de recuperación (Ringgenberg et al. 2010; McFarland et al. 2013) y permitimos identificar hábitats que pueden utilizarse como refugios, o incluso, dormitorios, así como lugares y periodos de nidificación.

Teniendo en cuenta la situación amenazada en la que se encuentra la hubara canaria, y la complejidad de su comportamiento reproductivo, conocer los patrones de comportamiento es imprescindible para poder entender su ecología y proponer acciones de conservación adecuadas. Identificar las áreas de reproducción, alimentación y los patrones de movimientos a través de la información aportada por los emisores GSM/GPRS es esencial para poder realizar una gestión adecuada de esta subespecie.

Conclusiones

Nuestros resultados muestran que un modelo RBF SVM puede clasificar, con un alto nivel de precisión, los datos de acelerometría triaxial para cuantificar los comportamientos biológicamente relevantes de la avutarda hubara, como alimentarse, descansar, volar, realizar carreras de exhibición o incubar, entre otros. Mediante este método es posible determinar la duración y frecuencia de dichos comportamientos, así como su distribución diaria y estacional, lo que ofrece indudables ventajas en la consecución de datos en situaciones en las que las posibilidades de observación directa son limitadas (Boyer-Ontl y Pruetz 2014; Nowak et al. 2014). Además, la combinación de dichos datos con las localizaciones en las que se producen los diferentes comportamientos permite determinar lugares de alimentación, descanso, dormitorio, exhibición de celo, o nidificación.

El estudio destaca la amplia información que los avances tecnológicos en materia de telemetría pueden ofrecer a la investigación de la ecología espacial. La asociación del movimiento tridimensional con las localizaciones GPS abre nuevas posibilidades en las investigaciones sobre la utilización del hábitat y el área de distribución de las especies. También permite conocer su respuesta directa a cambios en el entorno, como la construcción de carreteras y edificaciones o la instalación de infraestructuras de energías renovables, entre otros. La degradación del hábitat o los cambios en el uso del terreno pueden afectar a la selección del hábitat y modificar los patrones de migración (Mandel et al. 2011). Es esencial aprovechar estos avances para profundizar en la investigación de la ecología espacial, más aún en el caso de especies amenazadas, en las que estas técnicas pueden ayudar a determinar medidas de gestión que pueden ser fundamentales para su conservación.

Contribución de los autores

Inmaculada Abril-Colón: Análisis formal, Captura de individuos, Conceptualización, Investigación, Software, Redacción- borrador original, Visualización. Juan Carlos Alonso: Administración del proyecto, Adquisición de fondos, Captura de individuos, Conceptualización, Investigación, Recursos, Redacción -revisión y edición, Supervisión, Validación. Alberto Ucero: Captura de individuos, Conceptualización, Redacción -revisión y edición, Validación. Carlos Palacín: Captura de individuos, Conceptualización, Redacción -revisión y edición, Supervisión, Validación.

Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación recibida a través del proyecto “Áreas de campeo y movimientos de la hubara canaria (*Chlamydotis undulata fuertaventurae*)”, objeto de un contrato entre Red Eléctrica de España, S.A.U. y la Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Agradecemos al personal del Emirates Center for Wildlife Propagation (EVWP), y especialmente a Cédric Ferlat, por los datos de comportamientos de hubaras cautivas, a A. Rodríguez y T. Valera por su colaboración durante el trabajo de campo, a E. Arrondo por su ayuda con el software *AcceleRater*. A dos revisores anónimos y al editor asociado sus comentarios que han contribuido a mejorar nuestro manuscrito, a M. A. Cabrera por gestionar los permisos de captura y por su apoyo durante el proyecto, a F. Crespo, M. Armas, A. Ibarguren y M. Gil por su ayuda durante la preparación del proyecto, y a las autoridades y agentes de medio ambiente del Gobierno de Canarias y de los Cabildos de Lanzarote y Fuerteventura por su colaboración.

Referencias

- Abril-Colón, I., Alonso, J.C., Palacín, C., Álvarez-Martínez, J.M., Ucero, A. 2022a. Short-distance nocturnal migration in an island endemic bustard. *Ibis* 164, 1145-1159.
- Abril-Colón, I., Alonso, J. C., Palacín, C., Ucero, A., Álvarez-Martínez, J.M. 2022b. Factors modulating home range and resource use: a case study with Canarian houbara bustards. *Movement Ecology* 10(1), 49.
- Allen, A.M., Singh, N.J. 2016. Linking movement ecology with wildlife management and conservation. *Frontiers in Ecology and Evolution* 3:166.
- Alonso, J.C., Palacín, C., Abril-Colón, I. 2020. The Lanzarote Population of the African Houbara *Chlamydotis undulata fuertaventurae*: Census, Sex Ratio, Productivity, and a Proposed New Survey Method. *Ardeola* 67(1):69.
- Alonso, J.C., Abril-Colón, I., Palacín, C. 2021. Moonlight triggers nocturnal display in a diurnal bird. *Animal Behaviour* 171, 87-98.
- Alonso, J.C., Abril-Colón, I., Palacín, C., Ucero, A., Álvarez-Martínez, J.M. 2022. Maximizing sexual signal transmission: use of multiple display sites by male houbara bustards. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 76(9), 1-11.
- Andrzejczak, S., Gleiss, A.C., Lear, K.O., Pattiaratchi, C.B., Chapple, T.K., Meekan, M.G. 2019. Biologging tags reveal links between fine-scale horizontal and vertical movement behaviors in tiger sharks (*Galeocerdo cuvier*). *Frontiers in Marine Science* 229.
- Arkumarev, V., Dobrev, D., Stamenov, A., Terziev, N., Delchev, A., Stoychev, S. 2020. Using GPS and accelerometry data to study the diet of a top avian scavenger. *Bird Study* 67(3), 300-310.
- Bidder, O.R., Campbell, H.A., Gómez-Laich, A., Urgé, P., Walker, J., Cai, Y., Gao, L., Quintana, F., Wilson, R. 2014. Love thy neighbour: automatic animal behavioural classification of acceleration data using the k-nearest neighbour algorithm. *PloS one* 9(2), e88609.
- BirdLife International 2021. BirdLife International. *Chlamydotis undulata*. The IUCN Red List of Threatened Species 2021. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Block, B.A. 2005. Physiological ecology in the 21st century: advancements in biologging science. *Integrative and Comparative Biology* 45:305-20.
- Boyer-Ontl, K.M., Pruetz J.D. 2014. Giving the forest eyes: the benefits of using camera traps to study unhabituated chimpanzees (*Pan troglodytes verus*) in Southeastern Senegal. *International Journal of Primatology* 35:881-94.
- Brewster, L.R., Dale, J.J., Guttridge, T.L., Gruber, S.H., Hansell, A.C., Elliott, M., Cowx, I.G., et al. 2018. Development and application of a machine learning algorithm for classification of elasmobranch behaviour from accelerometry data. *Marine biology*, 165(4), 1-19.
- Brown, D.D., Kays, R., Wikelski, M., Wilson, R., Klimley, A.P. 2013. Observing the unwatchable through acceleration logging of animal behavior. *Animal Biotelemetry* 1(1), 1-16.
- Chargé, R., Saint Jalme, M., Lacroix, F., Cadet, A., Sorci, G. 2010. Male health status, signalled by courtship display, reveals ejaculate quality and hatching success in a lekking species. *Journal of Animal Ecology* 79(4), 843-850.
- Chakravarty, P., Cozzi, G., Dejnabadi, H., L'éziart, P., Manser, M., Ozgul, A., Aminian, K. 2020. Seek and learn: automated identification of microevents in animal behaviour using envelopes of acceleration data and machine learning. *Methods in Ecology and Evolution* 11(12), 1-13.
- Clarke, T.M., Whitmarsh, S.K., Hounslow, J.L., Gleiss, A.C., Payne, N.L., Huvneers, C. 2021. Using tri-axial accelerometer loggers to identify spawning behaviours of large pelagic fish. *Movement ecology* 9(1), 1-14.
- Cooke, S. J. 2008. Biotelemetry and biologging in endangered species research and animal conservation: relevance to regional, national, and IUCN Red List threat assessments. *Endangered Species Research* 4:165-85.
- Cornec, C. 2015. *Communication chez un oiseau à système socio- sexuel de type lek: étude des signaux acoustiques et visuels pendant la parade des mâles d'outarde houbara Chlamydotis undulata undulata*. PhD thesis, Université Paris-Sud. Paris, Francia.
- Cornec, C., Hingrat, Y., Rybak, F. 2014. Individual signature in a lekking species: Visual and acoustic courtship parameters may help discriminating conspecifics in the houbara bustard. *Ethology* 120:726-737.
- Cornec, C., Hingrat, Y., Robert, A., Rybak, F. 2015. The meaning of boom calls in a lekking bird: identity or quality information? *Animal Behaviour*, 109:249-264.
- Del Caño, M., Quintana, F., Yoda, K., Dell'Omo, G., Blanco, G.S., Gómez-Laich, A. 2021. Fine-scale body and head movements allow to determine prey capture events in the Magellanic Penguin (*Spheniscus magellanicus*). *Marine Biology* 168(6), 1-15.
- Efrat, R., Harel, R., Alexandrou, O., Catsadorakis, G., Nathan, R. 2019. Seasonal differences in energy expenditure, flight characteristics and spatial utilization of Dalmatian Pelicans *Pelecanus crispus* in Greece. *Ibis* 161(2), 415-427.
- Fabrizio, S., Tanferna, A., Blas, J., Blanco, G., Hiraldo, F. 2019. Reliable methods for identifying animal deaths in GPS-and satellite-tracking data: Review, testing, and calibration. *Journal of Applied Ecology* 56(3), 562-572.
- Fehlmann, G., O'Riain, M.J., Hopkins, P.W., O'Sullivan, J., Holton, M.D., Shepard, E.L., King, A.J. 2017. Identification of behaviours from accelerometer data in a wild social primate. *Animal Biotelemetry* 5(1), 1-11.
- Foerster, F., Smeja, M., Fahrenberg, J. 1999. Detection of posture and motion by accelerometry: a validation study in ambulatory monitoring. *Computers in human behavior* 15 :571-583.
- Garde, B., Wilson, R.P., Fell, A., Cole, N., Tatayah, V., Holton, M.D., et al. 2022. Ecological inference using data from accelerometers needs careful protocols. *Methods in Ecology and Evolution* 13(4), 813-825.
- Gaucher, P., Paillat, P., Chappuis, C., Jalme, M.S., Lotfikah, F., Wink, M. 2008. Taxonomy of the Houbara Bustard *Chlamydotis undulata sub-species* considered on the basis of sexual display and genetic divergence. *Ibis* 138(2):273-282.
- Gervasi, V., Brunberg, S., Swenson, J.E. 2006 An individual-based method to measure animal activity levels: a test on brown bears. *Wildlife Society Bulletin* 34:1314-9.
- Giese, L., Melzheimer, J., Bockmühl, D., Wasiolka, B., Rast, W., Berger, A., Wachter, B. 2021. Using machine learning for remote behaviour classification—Verifying acceleration data to infer feeding events in free-ranging cheetahs. *Sensors* 21(16), 5426.
- Gleiss, A.C., Wilson, R.P., Shepard, E.L. 2011. Making overall dynamic body acceleration work: on the theory of acceleration as a proxy for energy expenditure. *Methods in Ecology and Evolution* 2(1), 23-33.

- Graf, P.M., Wilson, R.P., Qasem, L., Hackländer, K., Rosell, F. 2015. The use of acceleration to code for animal behaviours; a case study in free-ranging Eurasian beavers *Castor fiber*. *PloS one* 10(8), e0136751.
- Gudka, M., Santos, C.D., Dolman, P.M., Abad-Gómez, J.M., Silva, J.P. 2019. Feeling the heat: Elevated temperature affects male display activity of a lekking grassland bird. *PLoS one* 14(9), e0221999.
- Heinze, J., Krott, N., Mittendorf, H. 1978. Zur Vogelwelt Marokkos. *Vogelwelt* 99:132–137
- Hellmich, J. 2003. The display run of the Houbara Bustard *Chlamydotis undulata fuertaventurae*. *Ornithologische Beobachter* 100(2):127–142
- Hingrat, Y., Saint Jalme, M. 2005. Mating system of the houbara bustard *Chlamydotis undulata undulata* in eastern Morocco. *Ardeola* 52:91–102.
- Hingrat, Y., Saint Jalme, M., Ysnel, F., Lacroix, F., Seabury, J., Rautureau, P. 2004. Relationships between home-range size, sex and season with reference to the mating system of the Houbara Bustard *Chlamydotis undulata undulata*: Mating system of the Houbara Bustard. *Ibis* 146(2):314–322.
- Hingrat, Y., Saint Jalme, M., Chalah, T., Orhant, N., Lacroix, F. 2008. Environmental and social constraints on breeding site selection. Does the exploded-lek and hotspot model apply to the houbara bustard *Chlamydotis undulata undulata*? *Journal of Avian Biology* 39:393–404.
- Hinz, C., Heiss, E.M. 1989. The activity patterns of houbara bustards; aspects of a field survey in the Canary Islands. *Bustard Studies* 4:68–79
- Hussey, N.E., Kessel, S.T., Aarestrup, K., Cooke S.J., Cowley, P.D., Fisk, A.T., Harcourt, R.G., et al. 2015. Aquatic animal telemetry: a panoramic window into the underwater world. *Science* 348:1255642.
- Iglesias-Lebrija, J.J., Peragón, I., Galán, M., Álvarez, E. 2015. Seguimiento telemétrico (GPS) de tres generaciones de milanos reales (*Milvus milvus*) en el noroeste de la Comunidad de Madrid. El papel de nuevas técnicas de recuperación aplicadas a fauna salvaje. *Chronica naturae* (5), 35–44.
- IUCN 2016. Red List of Threatened Species 2016. <https://www.iucnredlist.org/>
- Johnson, D.H. 1980. The comparison of usage and availability measurements for evaluating resource preference. *Ecology* 61, 65–71.
- Kato, A., Ropert-Coudert, Y., Gremillet, D., Cannell, B. 2006. Locomotion and foraging strategy in foot-propelled and wing-propelled shallow-diving seabirds. *Marine Ecology-Progress Series* 308:293–301
- Kays, R., Crofoot, M.C., Jetz, W., Wikelski, M. 2015. Terrestrial animal tracking as an eye on life and planet. *Science* 348(6240), 2478.
- Kendall, C.J., Virani, M.Z. 2012. Assessing mortality of African vultures using wing tags and GSM-GPS transmitters. *Journal of Raptor Research* 46(1), 135–140.
- Kie, J.G., Matthiopoulos, J., Fieberg, J., Powell, R.A., Cagnacci, F., Mitchell, M.S., et al. 2010. The home-range concept: Are traditional estimators still relevant with modern telemetry technology? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365, 2221–2231.
- Laich, A.G., Wilson, R.P., Quintana, F., Shepard, E.L. 2008. Identification of imperial cormorant *Phalacrocorax atriceps* behaviour using accelerometers. *Endangered species research* 10, 29–37.
- Launay, F., Paillat, P. 1990. A behavioural repertoire of the adult Houbara bustard (*Chlamydotis undulata macqueenii*). *Revue d'Ecologie* 45:65–88.
- Mandel, J.T., Bohrer, G., Winkler, D.W., Barber, D.R., Houston, C.S., Bildstein, K.L. 2011. Migration path annotation: cross-continental study of migration-flight response to environmental conditions. *Ecological Applications* 21, 2258–2268.
- McGowan, J., Beger, M., Lewison, R.L., Harcourt, R., Campbell, H., Priest, M., et al. 2017. Integrating research using animal-borne telemetry with the needs of conservation management. *Journal of Applied Ecology* 54, 423–429.
- McFarland, R., Hetem, R.S., Fuller, A., Mitchell, D., Henzi, S.P. Barrett L. 2013. Assessing the reliability of biollogger techniques to measure activity in a free-ranging primate. *Animal Behaviour* 85:861–866
- Morant, J., Scacco, M., Safi, K., Gómez, J.M.A., Álvarez, T., Sánchez, Á., Phipps, W-L., et al. 2022. Environmental and social correlates, and energetic consequences of fitness maximisation on different migratory behaviours in a long-lived scavenger. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 76, 111.
- Moreau, M., Siebert, S., Buerkert, A., Schlecht, E. 2009. Use of a tri-axial accelerometer for automated recording and classification of goats' grazing behaviour. *Applied Animal Behaviour Science* 119:158–170
- Nathan, R., Getz, W.M., Revilla, E., Holyoak, M., Kadmon, R., Saltz, D., Smouse, P.E. 2008. A movement ecology paradigm for unifying organismal movement research. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105(49), 19052–19059.
- Nathan, R., Spiegel, O., Fortmann-Roe, S., Harel, R., Wikelski, M., Getz, W.M. 2012. Using tri-axial acceleration data to identify behavioral modes of free-ranging animals: general concepts and tools illustrated for griffon vultures. *Journal of Experimental Biology* 215(6), 986–996.
- Nowak, K., le Roux, A., Richards, S.A., Scheijen, C.P.J., Hill, R.A. 2014. Human observers impact habituated samango monkeys' perceived landscape of fear. *Behavioral Ecology* 25:1199–1204.
- Palacín, C., Abril-Colón, I., Utero, A., Alonso, J.C. 2021. Mapa de riesgo para la avutarda hubara (*Chlamydotis undulata fuertaventurae*) en relación a la instalación de parques eólicos y fotovoltaicos en Fuerteventura, Lanzarote y La Graciosa. Consejería de Transición Ecológica, Lucha contra el Cambio Climático y Planificación Territorial. Dirección General de Lucha contra el Cambio Climático y Medio Ambiente. Madrid, España.
- Resheff, Y.S., Rotics, S., Harel, R., Spiegel, O., Nathan, R. 2014. Accelerater: a web application for supervised learning of behavioral modes from acceleration measurements. *Movement ecology* 2(1), 1–7.
- Resheff, Y.S., Bensch, H.M., Zöttl, M., Rotics, S. 2022. Correcting a bias in the computation of behavioural time budgets that are based on supervised learning. *Methods in Ecology and Evolution* 13, 1488–1496
- Ringgenberg, N., Bergeron, R., Devillers, N. 2010. Validation of accelerometers to automatically record sow postures and stepping behaviour. *Applied Animal Behaviour Science* 128:37–44
- Rotics, S., Kaatz, M., Resheff, Y.S., Turjeman, S.F., Zurell, D., Sapir, N., et al. 2016. The challenges of the first migration: movement and behaviour of juvenile vs. adult white storks with insights regarding juvenile mortality. *Journal of Animal Ecology* 85(4), 938–947.
- Rutz, C., Hays, G.C. 2009. New frontiers in biologging science. *Biology Letters* 5: 289–92.
- Sawyer, H., Kauffman, M.J., Kielson, R.M., Horne, J.S. 2009. Identifying and prioritizing ungulate migration routes for landscape-level conservation. *Ecological Applications* 19, 2016–2025.
- Shepard, E.L., Wilson, R.P., Quintana, F., Laich, A.G., Liebsch, N., Albareda, D.A., et al. 2008. Identification of animal movement patterns using tri-axial accelerometry. *Endangered species research* 10, 47–60.
- Sherub, S., Fiedler, W., Duriez, O., Wikelski, M. 2017. Bio-logging, new technologies to study conservation physiology on the move: a case study on annual survival of Himalayan vultures. *Journal of Comparative Physiology A*, 203(6), 531–542.
- Tanaka, H., Takagi, Y., Naito, Y. 2001. Swimming speeds and buoyancy compensation of migrating adult chum salmon *Oncorhynchus keta* revealed by speed/depth/acceleration data logger. *Journal of Experimental Biology* 204, 3895–3904
- Tomkiewicz, S.M., Fuller, M.R., Kie, J.G., Bates, K.K. 2010. Global positioning system and associated technologies in animal behaviour and ecological research. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365(1550), 2163–2176. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0090>
- Torres, L.G., Orben, R.A., Tolkova, I., Thompson, D.R. 2017. Classification of animal movement behavior through residence in space and time. *PloS one* 12(1), e0168513.
- Tsuda, Y., Kawabe, R., Tanaka, H., Mitsunaga, Y., Hiraishi, T., Yamamoto, K., Nashimoto, K. 2006. Monitoring the spawning behaviour of chum salmon with an acceleration data logger. *Ecology of Freshwater Fish* 15:264–74.
- Utero, A., Abril-Colón, I., Palacín, C., Alonso, J.C. 2021. Avutarda hubara canaria *Chlamydotis undulata fuertaventurae*. En: López-Jiménez, N. (Ed.). 2021. *Libro Rojo de las Aves de España*, pp.343–351. SEO/BirdLife. Fundación Biodiversidad y Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Madrid, España.
- Utero, A., Alonso, J.C., Palacín, C., Abril-Colón, I., Álvarez-Martínez, J.M. 2023. Display site selection in a ground dwelling bird: the importance of viewshed. *Behavioral Ecology* 34(2), 223–235.

- Weegman, M.D., Bearhop, S., Hilton, G.M., Walsh, A.J., Griffin, L., Resheff, Y.S., Nathan, R., Fox, A.D. 2017. Using accelerometry to compare costs of extended migration in an arctic herbivore. *Current zoology* 63(6), 667-674.
- Weterings, M.J., Moonen, S., Prins, H.H., van Wieren, S.E., van Langevelde, F. 2018. Food quality and quantity are more important in explaining foraging of an intermediate-sized mammalian herbivore than predation risk or competition. *Ecology and Evolution* 8(16), 8419-8432.
- Whitney, N.M., Papastamatiou, Y.P., Holland, K.N., Lowe, C.G. 2007. Use of an acceleration data logger to measure diel activity patterns in captive whitetip reef sharks, *Triaenodon obesus*. *Aquatic Living Resources* 20:299–305.
- Williams, H.J., Shepard, E.L.C., Duriez, O., Lambertucci, S.A. 2015. Can accelerometry be used to distinguish between flight types in soaring birds?. *Animal Biotelemetry* 3(1), 1-11.
- Williams, J.H., Taylor, L.A., Benhamou, S., Bijleveld, A.I., Clay, T.A., de Gris-sac, S., et al. 2019. Optimising the use of bio-loggers for movement ecology research. *Journal of Animal Ecology* 89, 186–206.
- Wilson, R.P., Shepard, E.L.C., Liebsch, N. 2008. Prying into the intimate details of animal lives: use of a daily diary on animals. *Endangered Species Research* 4, 123–137.
- Wilson, A.D., Wikelski, M., Wilson, R.P., Cooke, S.J. 2015. Utility of biological sensor tags in animal conservation. *Conservation Biology* 29(4), 1065-1075.
- Yoda, K., Sato, K., Niizuma, Y., Kurita, M., Bost, C.-A., Le Maho, Y., Naito, Y. 1999. Precise monitoring of porpoising behaviour of Adélie penguins determined using acceleration data loggers. *Journal of Experimental Biology* 202, 3121–3126.

Anexo/Appendix

Tabla A1. Sensibilidad, precisión y exactitud para cada uno de los modelos y comportamientos.

Table A1. Recall, precision and accuracy for each of the models and behaviours.

Modelos realizados con el software AcceleRater		Comportamientos										Media ponderada
		Carrera de exhibición	Vuelo	Alimentación	Descanso	Movimiento precópula	Pre celo	Acicalarse	Caminar	Vigilar	Vocalización	
Sensibilidad	Modelo de vecinos más cercanos	96.74	97.62	89.85	84.00	99.71	28.57	33.33	60.00	93.11	95.00	91.00
	Modelo Lineal SVM	97.28	95.24	89.08	84.00	100.00	60.71	52.50	50.00	90.89	92.50	91.47
	Modelo RBF SVM	97.28	95.24	89.46	84.00	99.90	67.86	65.00	60.00	93.56	93.75	92.95
	Modelo árbol de decisión	91.85	90.48	88.51	84.00	100.00	42.86	45.00	42.86	91.56	93.75	90.29
	Modelo de bosque aleatorio	95.65	97.62	96.36	84.00	99.90	14.29	35.83	40.00	98.00	98.75	92.72
	Media	95.76	95.24	90.65	84.00	99.90	42.86	46.33	50.57	93.42	94.75	91.69
Precisión	Modelo de vecinos más cercanos	95.70	97.62	82.43	95.45	100.00	80.00	57.14	72.41	85.34	100.00	90.45
	Modelo Lineal SVM	94.21	93.02	82.01	77.78	100.00	60.71	58.88	70.00	94.46	97.37	91.33
	Modelo RBF SVM	94.71	97.56	86.16	84.00	99.90	90.48	70.27	70.00	92.32	98.68	92.84
	Modelo árbol de decisión	91.85	97.44	81.20	95.45	100.00	60.00	50.47	50.85	93.42	93.75	90.02
	Modelo de bosque aleatorio	97.78	97.62	79.71	100.00	99.33	100.00	78.18	90.32	93.43	100.00	92.94
	Media	94.85	96.65	82.30	90.54	99.85	78.24	62.99	70.72	91.79	97.96	91.52
Exactitud	Modelo de vecinos más cercanos	99.45	99.92	94.01	99.80	99.88	99.14	95.69	98.28	95.97	99.84	97.71
	Modelo Lineal SVM	99.37	99.80	93.78	99.61	100.00	99.14	96.05	98.04	97.46	99.69	97.97
	Modelo RBF SVM	99.41	99.88	94.91	99.69	99.92	99.57	97.06	98.20	97.50	99.77	98.24
	Modelo árbol de decisión	98.83	99.80	93.46	99.80	100.00	99.06	95.34	97.30	97.38	99.61	97.80
	Modelo de bosque aleatorio	99.53	99.92	94.25	99.84	99.69	99.06	96.52	98.24	98.43	99.96	98.16
	Media	99.32	99.87	94.08	99.75	99.90	99.19	96.13	98.01	97.35	99.77	97.98