

En un momento en el que un virus ha detenido el mundo, es la imparable ciencia la que nos está devolviendo el movimiento, la vida. Este libro pretende recopilar una gran parte de la investigación que se realiza en el Museo Nacional de Ciencias Naturales como un homenaje a sus 250 años de historia. Más de 100 personas dedicadas a la investigación han participado en la elaboración de estos capítulos, con los que el lector podrá asomarse a una buena parte del planeta vivo y la gea que lo soporta: el cambio climático, el sonido y color de los animales, la biología en 3D, los meteoritos o los últimos refugios de vida en el desierto de Atacama son solo algunos ejemplos de la investigación tan fascinante que se realiza en este Museo.



MUSEO NACIONAL DE CIENCIAS NATURALES.

NUESTRA INVESTIGACIÓN

AL ALCANCE

DE TU MANO



Cristina Cánovas Fernández (Madrid, 1981), coordinadora de los capítulos de este libro, es licenciada en Ciencias Biológicas por la Universidad Complutense de Madrid, con especialidad en Zoología. Ha ejercido de vicedirectora de exposiciones en el Museo Nacional de Ciencias Naturales, donde lleva coordinándolas 15 años. Ha sido comisaria de la muestra «Un viaje fascinante de 250 años», en la que el ámbito dedicado a la investigación del museo se extrajo del material textual e iconográfico de este libro.



MUSEO NACIONAL

DE CIENCIAS NATURALES.

NUESTRA INVESTIGACIÓN

AL ALCANCE

DE TU MANO



Cristina Cánovas Fernández (Coord.)

*...la ciencia marcha adelante,
arrollándolo todo.*

El árbol de la ciencia, Pío Baroja.

PRÓLOGO

250 años de investigación al alcance de tu mano

El Museo Nacional de Ciencias Naturales es una de las instituciones científicas más antiguas de nuestro país, como demuestra el hecho de que se conmemore, en este año 2021, el 250 aniversario de su creación. La institución fue fundada por su majestad el Rey Carlos III como Real Gabinete de Historia Natural al adquirir la colección de Pedro Franco Dávila, al que nombró primer director. Ya desde entonces, la colección era más que un cúmulo de sorprendentes objetos naturales, como habían sido hasta poco antes los llamados gabinetes de curiosidades. El primer director se esmeró en colocar los objetos de la colección de acuerdo a las más modernas clasificaciones científicas de la época y pronto se comenzaron a realizar estudios sobre nuevas piezas provenientes de todos los lugares del imperio. En estos dos siglos y medio el ahora Museo ha sufrido todo tipo de avatares, pero siempre ha mantenido su afán por contribuir al avance científico y a su divulgación a la sociedad. Hoy en día, el Museo es uno de los institutos pertenecientes al Consejo Superior de Investigaciones Científicas, y los casi 80 científicos que trabajan en sus instalaciones aportan cientos de publicaciones al año en áreas de investigación relacionadas con las ciencias naturales desde la paleontología a la ecología, desde el cambio global a la biogeoquímica y desde la biología evolutiva a la geología. En todos estos campos se desarrollan avances científicos cada año por parte de los investigadores del Museo, y en estas páginas van a encontrar un conjunto de contribuciones que resumen con gran precisión la investigación que hoy en día se desarrolla en nuestro centro.

Durante los últimos ocho años he tenido el honor de dirigir esta institución, lo cual me ha dado una nueva perspectiva sobre la investigación que se desarrolla en el Museo. Los investigadores vivimos a menudo encerrados en nuestros despachos, rodeados exclusivamente de la información que tiene que ver con nuestros intereses científicos concretos. Esto no es de extrañar en un mundo cada día más competitivo donde se publican avances científicos constantemente y está muy penalizado quedarse atrás. Sin embargo, desde la dirección de un centro tan complejo y multidisciplinar, se obtiene una visión de conjunto que muestra claramente los problemas que nos genera esta carrera por el descubrimiento. Cada investigador es un especialista en su área, pero desconoce en general lo que hace su colega en el despacho contiguo. Las interacciones entre científicos trabajando en asuntos aparentemente dispares son raras, a pesar de la cercanía física de los investigadores, y el desprecio por lo que hacen los demás con respecto a la propia investigación resulta frecuente. Aun comprendiendo que no

nos podemos permitir quedarnos al margen de este mundo de índices de impacto y número de citas en el que se ha convertido la valoración de la ciencia, desde un principio huimos en esta Dirección de la comparación de investigaciones provenientes de áreas distintas, ya que cada investigación debe valorarse en comparación con las de su propia temática y por expertos en ella. Además, promovimos la interacción entre los investigadores, animando a que mostraran su trabajo a los compañeros del centro en jornadas científicas y de colecciones y a que trasladaran sus resultados, tanto a sus colegas como al público, en las exposiciones. También se apoyó, dentro de lo posible, la adquisición de equipamiento científico moderno que permitiera mantener la investigación de primera línea en el centro. Creo que estas iniciativas han sido fructíferas, aunque todavía queda camino por recorrer. Hoy en día todos somos conscientes del interés en mantener y mejorar las múltiples disciplinas que se cultivan en el Museo sin dejar que ninguna desaparezca. Estoy seguro de que, tras la atenta lectura de los textos que encontrarán a continuación, todos coincidirán conmigo en la extraordinaria importancia de la investigación que realizan nuestros científicos y su enorme relevancia para el avance del conocimiento en múltiples campos de la ciencia. Espero que en el futuro, quizá dentro de otros 100 o 200 años, los investigadores encuentren en estas páginas los cimientos de la ciencia de su época. Ese será nuestro mayor logro.

Santiago Merino Rodríguez
 Director del Museo Nacional de Ciencias Naturales
 (MNCN-CSIC).

INTRODUCCIÓN

A finales del siglo XVIII se fue asentando la idea de los museos como instituciones dedicadas al estudio y el avance de las ciencias, las artes, las letras y la historia. Una corriente generalizada en todas las grandes capitales europeas.

El Real Gabinete no fue una excepción, y su destino entonces y como museo ahora, ha sido compaginar la investigación y la difusión del conocimiento, esta última a veces de forma reglada. Una manera de incentivar y satisfacer la curiosidad e inquietud intelectual sobre la Naturaleza en su sentido más amplio, incluyendo en su estudio a la especie humana.

Hoy, en un momento en el que un virus ha paralizado el mundo, la imparabla ciencia nos ha devuelto el movimiento, la vida.

Este libro se presenta en el 250 aniversario del Museo Nacional de Ciencias Naturales y nace como un homenaje a la ciencia que se realiza en este Museo, un espacio que mantiene el latido de ese afán por avanzar en el conocimiento del mundo vivo y la gea que lo soporta.

Nombres propios, ya familiares para todos en estos tiempos, como son la paleontología, la ecología, la bioquímica, la evolución o la biodiversidad y el vasto campo de la geología, o los estudios sobre cambio global, biogeografía y otros, son el escenario donde se desarrollan investigaciones ininterrumpidas desde hace más de 40 años. Hemos intentado reflejar en este libro una parte de ellas, organizándolas en 5 bloques para facilitar su comprensión: «La biodiversidad, nuestra riqueza natural»; «Estrategias para sobrevivir»; «La importancia de lo pequeño»; «Nuestro planeta y el cambio global»; «Un planeta de 4000 millones de años».

Más de 100 autores han participado en la elaboración de estos capítulos y, lejos de las normas de publicación en revistas científicas, les hemos pedido que saquen su ciencia del despacho, del laboratorio, de la universidad y del campo, de la manera que quisieran, pero con una condición: implicar al lector. Para ello nos han acercado, no solo los resultados de sus estudios, sino también a las personas que los han protagonizado.

A todas ellas, muchas gracias.

ÍNDICE

Un museo útil	10
---------------	----

01. LA BIODIVERSIDAD, NUESTRA RIQUEZA NATURAL

La diversidad biológica: lo más valioso y desconocido de este planeta	18
¿Cómo se ha originado la diversidad animal que nos rodea?	24
Filogeografía: la distribución de los genes en el espacio y en el tiempo	30
Gradientes geográficos de biodiversidad	36
Especiación en islas: peces tropicales en lagunas de origen volcánico	42
Evolución de aves en islas oceánicas	48
El estudio científico de especies amenazadas, clave para su conservación	54
El hongo asesino de anfibios: visión global	60
El hongo asesino de anfibios en España	66
Himenópteros, un orden hiperdiverso de insectos	72
Los endemismos de nuestros ríos	78
Seguimiento de la biodiversidad en las áreas marinas protegidas	84
Diversidad genética en invertebrados marinos amenazados	90
La diversidad de los caracoles cono	96
El proyecto Fauna Ibérica	102
La conservación de la biodiversidad en los medios humanizados	108
Genética y reproducción de especies amenazadas	114

02. ESTRATEGIAS PARA SOBREVIVIR

Sobrevivir al invierno	122
En un país donde las aves desaparecen	128
La importancia del parasitismo	132
Los rasgos de historia de vida y el estrés oxidativo	138
Automedicación en fauna: evidencias y perspectivas	144
Nicho trófico: relaciones depredador-presa en la región mediterránea	150
Selección sexual: determinantes e importancia	156
El color de los animales	162
Tapices de sonido: cantos de aves y ruido de fondo	168
Sonidos y vibraciones. Percepción y comunicación en ranas y sapos	174
Venenos, toxinas y especies marinas	180
Las especies invasoras acuáticas en la península ibérica	186

03. LA IMPORTANCIA DE LO PEQUEÑO

El MNCN en la historia de la microbiodiversidad	194
Humanos, animales y microorganismos asociados	200
Últimos refugios de vida en el ambiente poliextremo del desierto de Atacama y análogos de Marte	206
Diversidad microbiana oculta en los lugares más remotos e inhóspitos del planeta	212
Rocas construidas por bacterias: los estromatolitos silíceos	218
Biodeterioro de piedra monumental	224
Fauna acuática subterránea. La vida en la oscuridad	230
Del río a la alacena (del museo)	236
Invertebrados y calidad del agua	242
Forma, distribución y costumbres del auténtico gusano plano	248
Entomología sanitaria	254

04. NUESTRO PLANETA Y EL CAMBIO GLOBAL

La vida humana depende de la salud de los ecosistemas	262
¿Qué son los bosques y qué nos aportan?	268
El clima que nos espera. Bosques y cambio global	274
La contaminación del suelo	280
El suelo y la importancia del humus	286
Ecosistemas subterráneos: laboratorios naturales	292
La biogeoquímica acuática (o el apasionante estudio de la dependencia de la biosfera en un mundo invisible dominado por reacciones químicas)	298
Los ríos perdidos de la Patagonia	304
¿Cómo afecta el cambio climático a la biodiversidad?	310
Las mariposas como indicadores del cambio global	316
Escarabajos, excrementos y cambio global	322
Las aves europeas frente al cambio global	328

05. UN PLANETA DE 4000 MILLONES DE AÑOS

Cambio climático y diversificación de los caballos	336
Los roedores del pasado y su importancia actual	342
Los neandertales en el Museo Nacional de Ciencias Naturales	348
La biología tridimensional	354
Los moluscos en arqueología	360
Expedición paleontológica en Namibia (NPE)	366
Anatomía funcional en paleontología	372
Las extinciones en el pasado, previsión para el futuro	378
El papel de los meteoritos en la historia de la Tierra y su relevancia actual	384
El registro geológico de tsunamis: ejemplos en la península ibérica	390
Terremotos. ¿Son tan peligrosos?	396
Resonancia magnética nuclear en mineralogía	402
Materiales radioactivos en la historia de la Tierra	408

La Ciencia, una diosa destructora	416
-----------------------------------	-----

EL COLOR DE LOS ANIMALES



ISMAEL GALVÁN

Departamento de Ecología Evolutiva,
MNCN-CSIC

Pocos elementos en la naturaleza son tan diversos y llamativos como el color de los animales. Además de evocar cualidades estéticas, el color aporta información sobre la biología animal. Y es que la coloración juega un papel importante en diferentes aspectos de la vida de los animales, a menudo afectando a su supervivencia.

En la mayoría de los casos, el color obedece a una función protectora proporcionada por los pigmentos de la parte exterior del cuerpo. Casi todos los organismos que viven en la superficie terrestre, y también los organismos acuáticos que se exponen a la luz filtrada por el agua, hacen frente a la radiación ultravioleta procedente del sol, capaz de ejercer un daño letal en sus células. Los pigmentos oscuros que protegen del ultravioleta se denominan *melaninas*, y su presencia en bacterias indica que constituyen la solución universal y primitiva al daño solar desde el origen de la vida.

La mayor parte de colores oscuros que observamos en los animales se debe a la presencia de melaninas, al igual que en otros organismos (el color negro de los champiñones lo causa una melanina similar a la que broncea nuestra piel). Las diferentes formas químicas de estos pigmentos dan lugar a colores negros, marrones y grises, pero también a rojizos y amarillentos poco brillantes (Fig. 1). Los humanos no somos una

excepción, y las melaninas forman la base de la maravillosa diversidad cromática de piel, cabello y ojos. La pigmentación de los humanos modernos revela el nivel de radiación solar del que han tenido que protegerse durante su historia evolutiva reciente. Tanto es así, que los movimientos a lugares con niveles de radiación superiores pueden resultar en un incremento en el riesgo de melanoma, como en Australia. Nos queda mucho por averiguar, porque la distribución de tipos de color de piel en humanos no la explican completamente los niveles de radiación solar en la superficie de la tierra, y ahora sabemos que el tipo rojizo de melanina, denominado *feomelanina*, no protege del ultravioleta pero sin embargo contribuye a mantener el equilibrio fisiológico interno (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2019).

Además, las melaninas no solo protegen de la radiación ultravioleta, sino también del daño mecánico. Por eso, las mandíbulas y el exoesqueleto de muchos invertebrados, o los extremos del ala y el pico de las aves, son a menudo de color negro. Esta diversidad de funciones de las melaninas contribuye a generar muchos de los patrones de coloración. A la función protectora se une una función óptica, ya que el color de estos pigmentos permite que las manchas corporales puedan utilizarse para comunicarse con otros, incluidos los de otras especies, como ejemplifican los patrones del pelaje de los felinos que los hacen imperceptibles para sus presas.

Sin embargo, la protección que las melaninas oscuras proporcionan trae consigo una mayor facilidad para absorber calor. Así, una pigmentación oscura

■ Tucán pecho amarillo *Ramphastos ambiguus* mostrando coloración basada en pigmentos melaninas y carotenoides.
Foto: Ismael Galván.

«Y ES QUE LA COLORACIÓN
JUEGA UN PAPEL IMPORTANTE
EN DIFERENTES ASPECTOS DE LA
VIDA DE LOS ANIMALES, A MENUDO
AFECTANDO A SU SUPERVIVENCIA»

puede resultar beneficiosa para animales como anfibios y reptiles que habitan zonas frías, porque les ayuda a calentarse, pero puede producir estrés térmico en animales endotermos (aves y mamíferos) que habitan zonas cálidas. Hemos encontrado que las aves con pigmentación más oscura se ven limitadas para ocupar las zonas con temperaturas más altas en España (Galván *et al.*, 2018). Algunos animales escapan a esta limitación al presentar rasgos morfológicos que les facilitan disipar calor y ocupar así áreas calurosas. Es el caso del ibis eremita, cuya piel desnuda de la cabeza disipa gran parte del calor ganado por su plumaje negro. O el de los tucanes, cuyo pico es uno de los mayores radiadores de la naturaleza (Figs. portada y 2) (Galván *et al.*, 2017).

Pero las melaninas, aunque abundantes, no son los únicos pigmentos con que los animales construyen sus colores. También pueden tomar pigmentos de las plantas para expandir su gama cromática. Es el caso de los carotenoides, pigmentos que participan en la fotosíntesis y que una infinidad de invertebrados y casi todos los vertebrados incorporan a sus estructuras corporales. Esto proporciona a los animales colores brillantes provenientes de su dieta, como el rosa de los flamencos, el amarillo de los canarios o multitud de vivos colores observados en muchas orugas, por citar algunos ejemplos (Fig. 3). Los mamíferos podemos llegar a tomar grandes cantidades de carotenoides comiendo frutas y hortalizas, pero no estamos dotados de los mecanismos fisiológicos necesarios para depositarlos en la piel o el pelo. Por ahora, unos murciélagos tropicales son los únicos mamíferos conocidos capaces de colorear su piel de amarillo por medio de carotenoides procedentes de los frutos que comen (Galván *et al.*, 2016). Los carotenoides tienen propiedades antioxidantes y sus colores informan así sobre el estado de salud, lo que puede ser la razón por la que, en muchas especies y de forma similar a los colores melánicos, las hembras los utilizan para evaluar la calidad de sus potenciales parejas.

Otros pigmentos son exclusivos del grupo de animales que los han «inventado». Por ejemplo, el color del plumaje de los loros, cacatúas y afines, asombrosamente diverso y conspicuo, se debe a unos pigmentos llamados *psittacofulvinas* que solo estas aves pueden sintetizar. Lo mismo ocurre con las plumas amarillas de algunos pingüinos y con las plumas extrañamente vistosas de los turacos, resultantes de innovaciones evolutivas de estos grupos. Otros pigmentos, las porfirinas, no son tan exclusivos pero son fotodegradables, por lo que dan lugar a una coloración rojiza tan efímera que pasa casi desapercibida (Galván *et al.*, 2016). Las porfirinas están presentes en el plumaje de algunas aves, donde se detectan principalmente por la fluorescencia que generan al iluminarlas con luz ultravioleta (Fig. 4). Esto ha posibilitado su reciente descubrimiento también en el pelaje de algunos mamíferos. Durante graves trastornos denominados *porfirias*, los humanos también acumulamos porfirinas en la piel y en órganos internos, donde resultan tóxicas. Como los animales que acumulan porfirinas lo hacen sin sufrir daño, su estudio podría indicar nuevas estrategias contra estas enfermedades raras (Neves & Galván, 2020). La función de todos estos pigmentos tan especiales es sin embargo todavía desconocida. Como sucede con algunos pigmentos inorgánicos que algunas aves se aplican a modo de cosmético. Es el caso del óxido de hierro que grandes aves poco coloridas como el quebrantahuesos y el alimoche impregnan sobre su plumaje al tomar baños de barro, con una función aún por desentrañar (Margalida *et al.*, 2019).

La diversidad de mecanismos con que los animales generan su gama de colores se incrementa aún más con lo que suele denominarse *coloración estructural*. Se trata de estructuras corporales con un ordenamiento a escala nanométrica que las permite interactuar de forma específica con la luz, produciendo infinidad de colores. Los colores metálicos de muchas aves, como los colibríes o el pavo real, o los colores iridiscentes de las alas de las mariposas, son producidos por estos mecanismos estructurales.

1_1



1_2



Figuras 1_1 y 1_2. Las melaninas, como las que colorean el plumaje de estos cuervos grandes *Corvus corax* en el Roque de los Muchachos en La Palma y el pelaje de este zorro rojo *Vulpes vulpes* en la sierra de San Pedro en Extremadura, son los pigmentos más abundantes en los animales. Además de funciones de comunicación visual derivadas de los colores que generan, las melaninas ejercen una función protectora frente a la radiación ultravioleta solar y el daño mecánico. Las melaninas rojizas (feomelaninas) contribuyen además a la homeostasis fisiológica. Foto: Ismael Galván.

Figura 2. Algunas estructuras morfológicas, como el pico de este arasari piquinaranja *Pteroglossus frantzii* endémico de Costa Rica y Panamá, facilitan la disipación de calor y que animales endotermos con pigmentación oscura puedan habitar zonas cálidas. Foto: Ismael Galván.

Figura 3. Los parches de color amarillo y negro del plumaje de este macho de saltarín cuelliblanco *Manacus candei*, capturado en Costa Rica, son producidos por pigmentos de diferente origen: carotenoides adquiridos con el alimento y melaninas sintetizadas por las mismas aves. El color blanco es producido por estructuras específicas de las plumas. Foto: Ismael Galván.



2



3

Queda mucho por saber sobre los mecanismos de coloración animal y sus funciones. Uno de los mecanismos más enigmáticos es el de la fluorescencia. Recientemente, se ha descrito fluorescencia verde en la piel de algunas ranas, camaleones y geckos, donde el color producido recuerda al de las luces de neón (Fig. 5) (Prötzel *et al.*, 2021). Aunque estos colores solo se observan al iluminar los animales con luz ultravioleta artificial, el componente ultravioleta de la luz solar podría causar el mismo efecto de manera natural. Queda por averiguar si estos animales son capaces de percibir esa fluorescencia natural y utilizarla con alguna función en su ciclo vital. ■

PARA SABER MÁS

Galván, I., Camarero, P. R., Mateo, R., & Negro, J. J. (2016). Porphyrins produce uniquely ephemeral animal colouration: a possible signal of virginity. *Scientific Reports*, 6, 39210.

Galván, I., Garrido-Fernández, J., Ríos, J., Pérez-Gálvez, A., Rodríguez-Herrera, B., & Negro, J. J. (2016). Tropical bat as mammalian model for skin carotenoid metabolism. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 113, 10932-10937.

Galván, I., Rodríguez-Martínez, S., & Carrascal, L. M. (2018). Dark pigmentation limits thermal niche position in birds. *Functional Ecology*, 32, 1531-1540.

Galván, I., Palacios, D., & Negro, J. J. (2017). The bare head of the Northern bald ibis (*Geronticus eremita*) fulfills a thermoregulatory function. *Frontiers in Zoology*, 14, 15.

Margalida, A., Braun, M. S., Negro, J. J., Schulze-Hagen, K., & Wink, M. (2019). Cosmetic colouring by Bearded Vultures *Gypaetus barbatus*: still no evidence for an antibacterial function. *PeerJ*, 7, e6783.

Neves, A. C. O., & Galván, I. (2020). Models for human porphyrias: Have animals in the wild been overlooked? *BioEssays*, 42, 2000155.

Prötzel, D., Heß, M., Schwager, M., Glaw, F., & Scherz, M. D. (2021). Neon-green fluorescence in the desert gecko *Pachydactylus rangei* caused by iridophores. *Scientific Reports*, 11, 297.

Rodríguez-Martínez, S., Márquez, R., Inácio, Â., & Galván, I. (2019). Changes in melanocyte RNA and DNA methylation favour pheomelanin synthesis and may avoid systemic oxidative stress after dietary cysteine supplementation in birds. *Molecular Ecology*, 28, 1030-1042.



Figura 4. Algunas aves, como este macho de avutarda común *Otis tarda* realizando una exhibición sexual en La Serena, Extremadura, acumulan unos pigmentos denominados porfirinas solo visibles en la base de las plumas (imagen interior) durante un breve período de tiempo antes de ser degradados por la luz solar. Esta naturaleza efímera del color causado por porfirinas podría proporcionar útil información a las hembras de avutarda respecto al tiempo que los machos han estado exhibiéndose. Las avutardas y otros animales que acumulan porfirinas podrían además constituir modelos de estudio para desarrollar estrategias contra las porfirias, enfermedades humanas en las que se produce toxicidad por estos pigmentos.

Foto: Ismael Galván.

Figura 5. Algunos anfibios y reptiles, como este gecko *Pachydactylus rangei*, generan una intensa fluorescencia de vivos colores al ser iluminados con luz ultravioleta. El mecanismo y función de esta fluorescencia permanecen por ahora desconocidos.

Foto: Prötzel *et al.* (2021), bajo licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

REFLEXIONES

—¿Qué nos aporta la ciencia?

La ciencia nos aporta la realidad. Una realidad desprovista de creencias y supersticiones. Y lo hace en un proceso en el que obtenemos el placer de explorar campos incógnitos del saber, pensando en lo que nadie ha pensado. Tanto recibir como hacer ciencia tienen mucho que ver, por tanto, con la felicidad.

—¿Qué es lo más emocionante de tu carrera como investigador?

Antes de comenzar mi carrera de investigación, me interesaban tanto los mecanismos físicos y químicos de la naturaleza como los mecanismos

biológicos que tienen lugar a nivel de organismo. Comencé mi carrera de investigación trabajando para entender la evolución de ciertos rasgos animales, pero durante el desarrollo mi carrera comprendí que aquellos mecanismos físicos y químicos que me habían interesado no podían ser en realidad diferentes de los mecanismos biológicos. Que los mecanismos que regulan la biología resultan de las propiedades físicas y químicas de los materiales que los forman, que no surgen propiedades «mágicas» en los organismos al llegar a ese nivel de complejidad. El comprender que la biología no existe, sino que todo son consecuencias de mecanismos físicos y químicos, ha sido lo más importante de mi carrera como investigador.

Autores

Aida Verdes
Alfonso V. Carrascosa
Ana I. Camacho
Ana Rey
Anabel Perdices, Belén Martínez Olmedo y Annie Machordom
Andrés Bravo-Oviedo, Elena D. Concepción, Fernando Valladares y Raquel Benavides
Annie Machordom, Violeta López-Márquez e Iván Acevedo
Antonio G. Valdecasas
Antonio Rosas González
Asunción de los Ríos
Borja Milá
Caridad Zazo, Javier Lario, Teresa Bardají y Jose Luis Goy
Carlos Alonso Álvarez
Carmen Ascaso
Carolina Martín Albaladejo
Carolina Noreña
David R. Vieites
Diego Gil
Eduardo Roldán
Fernando Garrido
Fernando Valladares
Gerardo Benito y Varyl R. Thorndycraft
Gonzalo Almendros, Fco. Javier González-Vila, José A. González-Pérez y José María de la Rosa
Ignacio De la Riva
Ignacio Doadrio y Gema Solís
Íñigo Martínez-Solano
Ismael Galván
Jacek Wierzchos
Jaime Bosch
Jan van der Made
Javier García Guinea
Joaquín Hortal
Jorge M. Lobo
Jorge Morales
José Javier Cuervo y Anders Pape Møller

José Luis Nieves Aldrey
José Pablo Veiga
José Templado
Juan Antonio Fargallo
Juan Carlos Alonso
Juan José Sanz Cid
Luis Boto, Manuel Pineda y Rafael Pineda
Luis M. Bautista y Paula Bolívar
Luis María Carrascal
Luis Sánchez-Muñoz
María Ángeles Bustillo
Manuel J. Salesa, Gema Siliceo y Mauricio Antón
María Ángeles Ramos y Manuel Sánchez Ruiz
María José Jiménez y Mariano García Fernández
María Teresa Alberdi y José Luis Prado
María Teresa Aparicio Alonso y Esteban Álvarez-Fernández
María Valladolid
Mario Díaz
Mario García París
Markus Bastir
Marta Barluenga
Miguel B. Araújo
Óscar Soriano
Pablo Peláez-Campomanes
Patrick S. Fitze
Rafael Márquez
Rafael Zardoya y Manuel Jiménez Tenorio
Raúl Benito
Robert J. Wilson, Mario Mingarro, Guim Ursul, Juan Pablo Cancela y Mercedes París
Salvador Sánchez-Carrillo y Miguel Álvarez Cobelas
Santiago Merino Rodríguez
Sergio Sánchez-Moral, Soledad Cuezva Robleño, Ángel Fernández-Cortés, Tamara Martín-Pozas y Naomi Seijas Morales

Reservados todos los derechos por la legislación en materia de Propiedad Intelectual. Ni la totalidad ni parte de este libro, incluido el diseño de la cubierta, puede reproducirse, almacenarse o transmitirse en manera alguna por medio ya sea electrónico, químico, óptico, informático, de grabación o de fotocopia, sin permiso previo por escrito de la editorial.

Las noticias, los asertos y las opiniones contenidos en esta obra son de la exclusiva responsabilidad del autor o autores. La editorial, por su parte, solo se hace responsable del interés científico de sus publicaciones.

Catálogo general de publicaciones oficiales:
<http://publicacionesoficiales.boe.es/>



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN



Coordinación: Cristina Cánovas Fernández.

© De la edición: Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN-CSIC), 2021.

© De los textos, las ilustraciones y fotografías: sus autores.

Agradecimientos: Luis Martínez Ros, Xiomara Cantera y Antonio G. Valdecasas.

ISBN: 978-84-00-10928-8
e-ISBN: 978-84-00-10929-5
NIPO: 833-21-211-3
e-NIPO: 833-21-214-X
Depósito Legal: M-34488-2021

Diseño y Maquetación: Tau diseño. www.taudesign.com
Impresión: Punto Verde
Impreso en España. *Printed in Spain*

En esta edición se ha utilizado papel ecológico sometido a un proceso de blanqueado ECF, cuya fibra procede de bosques gestionados de forma sostenible.