



La “graellsia”

Actias isabelae (Graells, 1849)

Historia, genética, ecología, distribución y conservación
de un emblema de nuestra fauna



Yeray Monasterio León (Coord.)
Antonio García Carrillo
Juan Carlos Vicente Arranz
Neus Marí Mena
Enrique Murria Beltrán
Juan Ignacio de Arce Crespo
Ruth Escobés Jiménez

Editores

Dirección Técnica del Proyecto (MAPAMA)

Ricardo Gómez Calmaestra

Coordinación General del Proyecto

Yeray Monasterio León

Realización y producción

Asociación Española para la Protección de las Mariposas y su Medio (ZERYNTHIA)

Diseño y maquetación

Ruth Escobés Jiménez

Autoría de los capítulos

Yeray Monasterio León¹ (Coord)

Antonio García Carrillo¹ y Juan Carlos Vicente Arranz¹: "Un poco de historia"

Neus Marí Mena²: "Taxonomía, biogeografía y genética de poblaciones"

Enrique Murria Beltrán^{1,3}: "Biología y ecología"

Juan Ignacio de Arce Crespo⁴: "Distribución geográfica"

Yeray Monasterio León¹ y Ruth Escobés Jiménez¹: "Conservación y divulgación"

1 Asociación Española para la Protección de las Mariposas y su Medio (ZERYNTHIA)

2 AllGenetics & Biology SL, Edificio de Servicios Centrais de Investigación, Campus de Elviña s.n., A Coruña, Galicia, España

3 Ecomuseo de las mariposas y ZERYNTHIA

4 Consejería de Educación, Cultura y Deportes de Castilla La Mancha. Sociedad entomológica y ambiental de Castilla La Mancha (Seacam)

A efectos bibliográficos la obra debe citarse como sigue:

MONASTERIO LEÓN, Y. (COORD.); GARCÍA CARRILLO, A.; VICENTE ARRANZ, J.C.; MARÍ MENA, N.; MURRIA BELTRÁN, E.; ARCE CRESPO, J.I.; ESCOBÉS JIMÉNEZ, R. 2017. La "graellsia", *Actias isabelae* (Graells, 1849) Historia, genética, ecología, distribución y conservación de un emblema de nuestra fauna. Dirección General de Medio Natural y Política Forestal, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid. 58 pp.

Los capítulos deben citarse como sigue:

GARCÍA CARRILLO, A. & VICENTE ARRANZ, J.C. 2017. UN POCO DE HISTORIA. PP: 20-30. EN: MONASTERIO LEÓN, Y (COORD.); GARCÍA CARRILLO, A.; VICENTE ARRANZ, J.C.; MARÍ MENA, N.; MURRIA BELTRÁN, E.; ARCE CRESPO, J.I.; ESCOBÉS JIMÉNEZ, R. 2017. La "graellsia", *Actias isabelae* (Graells, 1849) Historia, genética, ecología, distribución y conservación de un emblema de nuestra fauna. Dirección General de Medio Natural y Política Forestal, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid. 58 pp.

Imágenes de portada: macho y hembra de *A. isabelae*. Yeray Monasterio

Imagen de contraportada: macho de *A. isabelae*. J. C. Vicente Arranz



MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACION Y MEDIO AMBIENTE

Edita:

© Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente
Secretaría General Técnica
Centro de Publicaciones

Distribución y venta:
Paseo de la Infanta Isabel, 1
28014 Madrid
Teléfono: 91 347 55 41
Fax: 91 347 57 22

Impresión y encuadernación:

Taller del Centro de Publicaciones del MAPAMA

NIPO: 013-17-175-7 (papel)

NIPO: 013-17-176-2 (en línea)

Depósito Legal: M-25805-2017

Tienda virtual: www.mapama.gob.es
centropublicaciones@mapama.es

Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado:

<http://publicacionesoficiales.boe.es/>

Datos técnicos: Formato: 29,7x21 cm. Tipografía: Calibri a cuerpo 10,5. Encuadernación: grapado. Papel: Igloo 90 gramos. Cubierta en estucado semimate de 150 gramos. Impresión digital.

En esta publicación se ha utilizado papel 100% reciclado libre de cloro.

Índice

Presentación	3
Prólogo	5
Introducción	7
Capítulo 1. Un poco de historia	9
Capítulo 2. Taxonomía, biogeografía y genética de poblaciones	15
<i>Actias isabelae</i> y las mariposas luna	15
■ Filogeografía	16
Sus poblaciones ancestrales	16
■ Las poblaciones pirenaicas	16
Las poblaciones alpinas	18
■ Las poblaciones meridionales	18
<i>Actias isabelae</i> en el sistema Central	18
■ Subespecies de <i>Actias isabelae</i>	19
Capítulo 3. Ecología y biología	23
Ecología	23
■ Plantas huésped	23
Hábitat	24
■ Biología	26
Estadios inmaduros	26
■ Ecología y etología del imago	29
Parasitoides y agentes patógenos	35
■ Cementerio de isabelinas: a medio camino entre el mito y la realidad	35
Capítulo 4. Distribución geográfica	37
Distribución	38
■ En Europa (distribución global)	38
En la Península	39
■ Distribución potencial	40
Discusión	41
Capítulo 5. Conservación y divulgación	43
Protección legal	43
Amenazas	45
Recomendaciones	46
■ Iniciativas para su estudio, protección, conservación y divulgación	48
Bibliografía	53
Agradecimientos	57

Presentación

Resulta para mí un placer prologar esta obra en la que se detalla, con absoluto rigor, el conocimiento disponible en España sobre esta interesante mariposa nocturna. Pocas especies de invertebrados de nuestra fauna tienen una historia tan fascinante, además de un aspecto tan llamativo e indudable belleza. Y, además, un interés elevado desde el punto de vista de la conservación. Se trata de una especie de interés comunitario, cuyas principales poblaciones se localizan en España. Por eso, tenemos especial responsabilidad en su conservación, que además está muy vinculada a la protección y gestión adecuada de nuestras masas forestales montañas.

Además de incrementar y mejorar la información científica sobre la especie, esta publicación contribuye a compilarla y ayudar a interpretarla. Disponer de nuevos datos para todo el territorio español resultará muy importante para facilitar su adecuada gestión. Secundariamente, los datos que se incluyen en esta obra nos resultan de utilidad para ayudarnos a cumplir con nuestras obligaciones de información sobre las especies de interés comunitario que periódicamente debemos trasladar a las instancias comunitarias.

Así, cada seis años, se debe informar sobre el estado de conservación (incluyendo datos sobre población, tendencias, distribución, amenazas, etc.) de las especies incluidas en los anejos de la directiva de hábitats. Para el anterior periodo de informe (2007-2012) no existió información suficiente para valorar el estado de conservación global de esta especie en España, y esperamos que con esta monografía ello pueda subsanarse para el próximo periodo 2013-2018.

La “graellsia”, como bien titula esta monografía es, ante todo, un emblema de nuestra fauna. Por eso, su presencia en nuestras montañas y la necesidad de una gestión adecuada de sus hábitats -para su conservación- supone un importante reto y, al mismo tiempo, ofrece una excelente oportunidad para fomentar un uso sostenible de las masas forestales que garantice su conservación. Además, desde las administraciones con responsabilidad en conservación de la biodiversidad debemos esforzarnos en transmitir mensajes que sensibilicen y eduquen a la población sobre los problemas ambientales y, sin duda, esta monografía contribuirá a ello, acercando al conjunto de la sociedad uno de los escasos iconos que existen entre nuestra fauna de invertebrados.

En definitiva, felicitar a los autores por una obra tan interesante y amena y animar a que el conocimiento sobre ésta y otras especies de invertebrados siga creciendo, acorde a la importancia de este grupo en España tanto por su relevancia ecológica y económica como por su singularidad, endemividad e interés para la conservación.

JAVIER CACHÓN DE MESA

*Director General de calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural
Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente*

Prólogo

Que le inviten a uno a escribir el prólogo de un libro sobre *Actias isabelae* (Graells, 1849), o *Graellsia isabelae*, como se la venía conociendo hasta hace bien poco, representa un privilegio indiscutible. Tanto, que no sabe uno muy bien cómo empezar; tal es la cantidad de recuerdos, emociones y reflexiones que se le agolpan por los interiores. Lo es, además, en este caso, porque durante las últimas décadas se ha venido trabajando con intensidad sobre diferentes aspectos de este satúrnido, de manera que se disponía ahora mismo de un cuerpo de datos sobre su biología, distribución, estructura genética de las poblaciones y taxonomía suficiente como para alumbrar una obra importante de síntesis puesta al día. Esto es, sin duda, lo que representa esta publicación, escrita con rigor, pero en un idioma suficientemente asequible al lector medio.

Actias isabelae es un lepidóptero fascinante, sin lugar a dudas. Aun siendo nocturno, no solo ha sido calificado como “la mariposa más bella de Europa” en diferentes ocasiones, sino que además presenta un área de distribución tan restringida que durante mucho tiempo se consideró un endemismo emblemático del área ibérica, a pesar de haberse encontrado en algunos enclaves del sureste francés. Por otro lado, la historia de su descubrimiento, relativamente reciente, contiene elementos sorprendentes, casi fantásticos, como se describe a lo largo del libro. ¿Cómo pudo pasar desapercibida tanto tiempo una especie tan llamativa, tan grande y localmente tan abundante? No es fácil de explicar.

No puedo menos que resumir algún hecho que para mí fue crucial. Allá por 1964, siendo yo un niño, la editorial Selecciones del Reader's Digest sacó a la luz un libro espectacular titulado “El fabuloso reino animal”. En 6 partes y un total de 22 capítulos, el libro ofrecía un amplio abanico de 96 textos independientes, magníficamente ilustrados, sobre la diversidad animal, centrándose tanto en especies o grupos taxonómicos concretos como en procesos biológicos. Representó para mí todo un libro “de cabecera”, indispensable por aquel entonces, cuando no era más que un pequeño aprendiz de naturalista, que acababa de reunir su primera (y destartalada) colección de mariposas. La parte 3ª, como compruebo ahora mismo con tanta emoción como cuando era chaval, porque sigo conservando el volumen en mi biblioteca, llevaba por título “Una colección de prodigios”. En el capítulo I se incluía un breve ensayo titulado precisamente “La mariposa más bella de Europa”, escrito por quien era por aquel entonces la máxima autoridad de la lepidopterología ibérica, Ramón Agenjo Cecilia, y basado parcialmente en otros textos de título semejante publicados por el mismo autor en 1943 y 1945 en las revistas Eos, del Instituto Español de Entomología, y Arbor, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Dicho ensayo captó inmediatamente mi atención, y debí leerlo y releerlo decenas de veces. Las fotografías de la mariposa me impactaron

profundamente, sobre todo porque ya había tenido el emocionante placer de ver algunos individuos preparados en la exposición que el Instituto Español de Entomología mantenía en el piso superior del Museo Nacional de Ciencias Naturales. Algunos años después, entre 1970 y 1972, tuve la fortuna de hallar y recolectar numerosos ejemplares en el campo, sobre todo machos, en compañía de mi amigo Toni Geiger, quien ya por entonces tenía un grupo electrógeno y una bombilla de vapor de mercurio. Con él recorrí en bastantes ocasiones los alrededores de San Rafael, en Segovia, de Tragacete, en Cuenca, y de Orihuela del Tremedal, en Teruel, y aprendí a disfrutar y valorar esta joya entomológica, así como a criarla. Por lo que nosotros leíamos y por nuestra corta experiencia personal, sabíamos que la “graellsia”, o “isabelina”, como la llamábamos indistintamente, se localizaba en pinares de pino silvestre y laricio en las montañas del centro de España, generalmente por encima de los 1 000 metros. Cuál no sería mi sorpresa, y puede imaginarse mi emoción y sobresalto, cuando el 10 de mayo de 1972, al haber terminado de recorrer las luces del alumbrado público del pueblo de Trillo, en Guadalajara, en busca de noctuidos, mi grupo de lepidópteros predilecto, regresé a la parte baja del jardín de casa, donde tenía colocada una bombilla de vapor de mercurio de 500W, recién adquirida aquel año, y ¡me encontré un macho en la sábana! No podía creerlo. Como después fui comprobando, según pasaba el tiempo la “graellsia” fue descubriéndose cada vez más en localidades situadas a menor altitud. Quizá favorecida, pensaba yo entonces, por la política de reforestación creciente con pinos silvestres.

Durante los años 80, ya con grupo electrógeno propio, descubrí un sinnúmero de poblaciones en Guadalajara, hacia el Alto Tajo, algunas en el mismo término municipal de Trillo. Durante los 90 entré en contacto con las poblaciones del sureste ibérico, mientras llevaba a cabo trabajo de campo en la sierra de Cazorla (Jaén). Simultáneamente, en 1992, tuve la suerte de poder formar parte del tribunal que evaluó la tesis doctoral de Josep Ylla, la primera íntegramente dedicada a esta especie, “Biología del saturnid *Graellsia isabelae* (Graells, 1849)”, en la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Barcelona, donde de nuevo la fortuna me sonrió al poder compartir estrado con uno de mis personajes más admirados, Ramón Margalef. De nuevo, la emoción a flor de piel. De nuevo, gracias a la “graellsia”. La tesis de Josep se publicó unos años después, convenientemente corregida y ampliada, en lo que podemos considerar la primera monografía sobre la biología de *Actias isabelae* (Ylla i Ullastre, J., 1997. *Història natural del lepidòpter Graellsia isabellae (Graells, 1849)*. Institut d'estudis catalans, Barcelona).

Cuando uno va cumpliendo años, va adquiriendo la tendencia a contar anécdotas; es casi inevitable. Reconociéndolo, no me gustaría hacerme pesado, y no me voy a extender mucho más. Simplemente voy a mencionar el espectáculo sin parangón que representa, para cualquier amante de la naturaleza, la observación de los machos en vuelo. Describo brevemente la escena como la he vivido numerosas veces, para quien desee experimentar unos momentos inolvidables. En alguno de esos atardeceres de la primavera tardía, a finales de mayo o principios de junio, dependiendo de la localidad y del clima del año, instalémonos en un pinar de *Pinus silvestris* o *Pinus nigra* de cualquiera de los sistemas montañosos donde sabemos que existe la especie. Situémonos justo debajo de la copa de algún pino alto, en algún lugar donde claree un poco la vegetación (porque si es demasiado densa puede que no tengamos suficiente visión de la escena). Esperemos en silencio a que la tarde se convierta en noche, sin despegar la vista de las copas. En algún momento dado, entre dos luces, un macho pasará volando nerviosamente, recordando el vuelo de un murciélago. Luego pasará otro. Y otro. Y otro más. Si estamos en el sitio adecuado en el momento oportuno, llegará un instante en que, por entre las copas de los pinos circundantes, se estarán moviendo un buen número de estos supuestos “murciélagos”. Los machos de “graellsia” estarán compitiendo frenéticamente por encontrar, entre las acículas de las ramas medianas y altas, o en las propias ramas, a las hembras, que, quietas, aguardarán su llegada emitiendo feromona. Merece la pena intentarlo.

JOSÉ LUIS YELA

*Profesor Titular de Zoología y Conservación Biológica
Grupo de Investigación DITEG. Universidad de Castilla-La Mancha, Toledo*

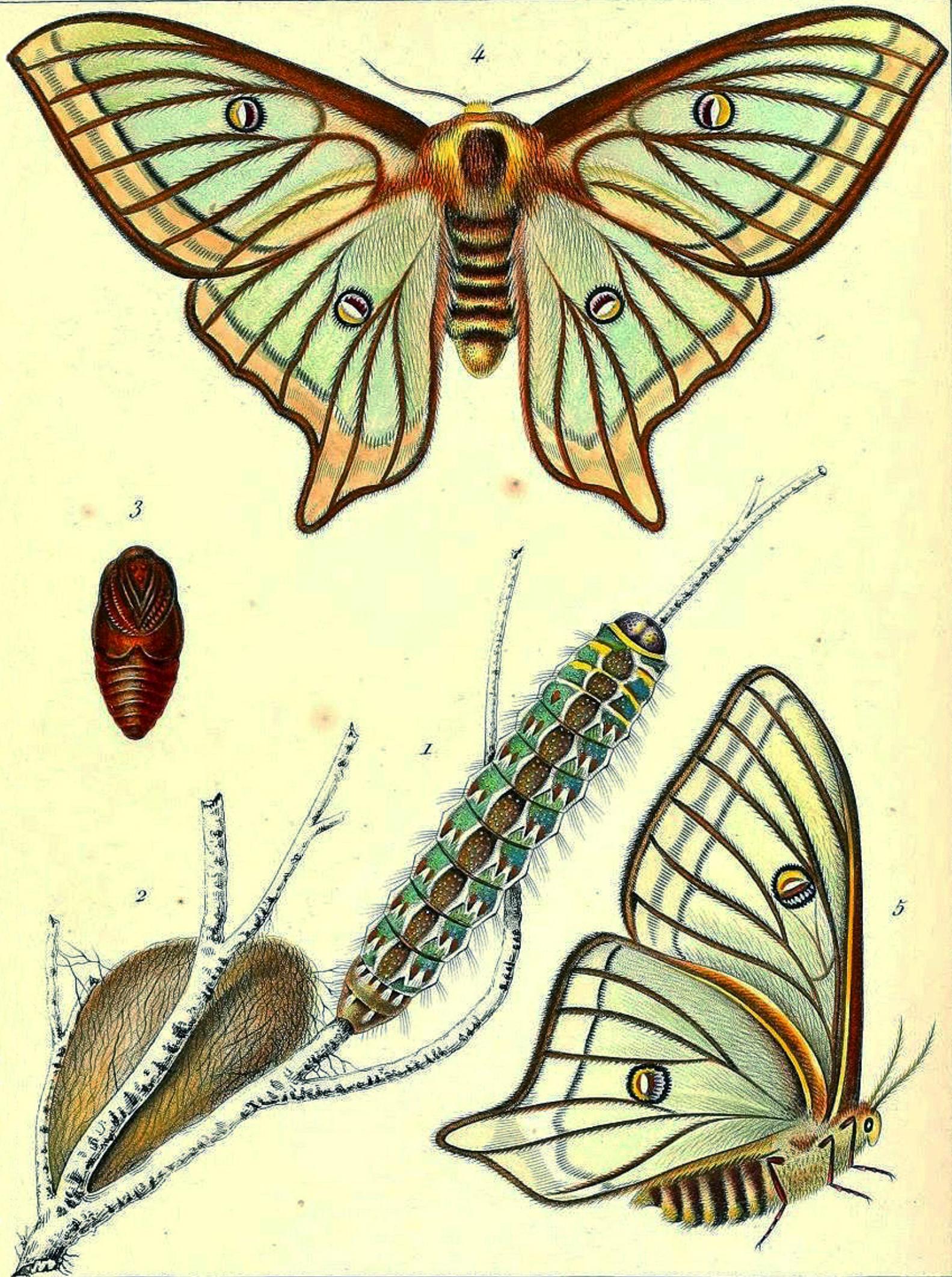
Introducción

Para los autores de este trabajo es un sueño cumplido el haber podido elaborar una monografía sobre la especie que ostenta el título (manido, pero no por ello menos cierto) del “lepidóptero más bello de Europa”: la “graellsia”, “isabelina” o “isabela”. Ha sido posible reunir un equipo multidisciplinar que, además de elaborar capítulos separados en función de su experiencia personal, ha realizado un esfuerzo síntesis y traducción de conceptos técnicos a un lenguaje comprensible, aportando una visión global de la especie.

Aprovechando su elección como “Mariposa del Año 2016”, el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente brindó a la Asociación ZERYNTHIA la posibilidad de emprender este proyecto, cosa que agradecemos enormemente. La belleza y singularidad de la “graellsia” son un buen vehículo para ofrecer al público trabajos como este, dedicado a un único invertebrado, casi inexistentes en España en comparación con los dedicados a vertebrados ibéricos. Esta publicación es una síntesis actualizada de toda la información existente sobre este lepidóptero, muy amplia, pero que a menudo queda relegada a un ámbito técnico. Bien por estar publicada en inglés y en un lenguaje académico, o por transmitirse habitualmente en revistas extranjeras, muchos aspectos de la especie son desconocidos por el gran público y por los técnicos responsables de su conservación. Pretendemos trasladar aquí toda esa información de una manera rigurosa pero fácilmente comprensible, acompañándola con imágenes que, además de recoger aspectos de su historia natural y ecología, ponen de manifiesto todo el potencial estético y educacional de esta mariposa nocturna.

Una de las novedades que más llama la atención es su tratamiento taxonómico actual. Considerada primero como *Saturnia isabelae* y más tarde como *Graellsia isabelae*, nombre científico por el que se le ha conocido de forma generalizada hasta el momento, actualmente se recoge como *Actias isabelae* en diversas publicaciones y en Fauna Europaea, el listado taxonómico de referencia para ZERYNTHIA y para muchos investigadores europeos. También su epíteto ha sido objeto de controversia, aunque es una cuestión finalmente resuelta, como se comenta repasando la historia de su descripción y las cuestiones nomenclatoriales que la acompañaron.

En definitiva, casi todo lo relacionado con esta emblemática especie ha sido objeto de pasiones y desencuentros desde el principio, incluso para su propio descriptor: sus primeros nombres específicos, su género, su epíteto actual, su planta nutricia, su distribución, la validez de las subespecies o el posible origen artificial de las poblaciones francesas, e incluso quién fue su primer descubridor. Intrigas y leyendas que también se tratarán de aclarar en las páginas siguientes, aunque, probablemente, continuarán en el futuro al afectar a una mariposa que ha despertado desde siempre tanto interés y admiración en entomólogos y naturalistas de todo el mundo.



Un poco de historia

La primera pista de esta bella mariposa la tenemos gracias al suizo D. Juan Mieg (1780-1859), quien llegó a España en 1814 acompañando a Fernando VII en su regreso del exilio. Fue profesor de Física y Química de la Casa Real, entre otras muchísimas cosas, y fue el primero que escribió un manual de entomología en España, un verdadero ilustrado de la época. Nunca llegó a encontrar ejemplares enteros o vivos de nuestra protagonista, pero sí restos de alas en la Granja de San Ildefonso (Segovia). Imaginó que se trataba de la *Saturnia luna* (*Actias luna*), o una especie similar y fue él quien indujo a que Graells buscase a este insecto, además de participar como ilustrador en el artículo en el que se describió el macho (Graells, 1855).

El descubridor formal y descriptor de *A. isabellae* fue D. Mariano de la Paz Policarpo Graells Agüera (1809-1898). Nació en el pueblo riojano de Tricio, curiosamente el mismo año que Charles Darwin. Fue hijo de Ignacio Graells de Balaguer y de Antonia Agüera Navarro, originarios de Lleida y de Medina de Rioseco, Valladolid, respectivamente. Fue doctor en medicina, al igual que su padre, y ejerció como tal en Barcelona donde residió varios años.

De manera muy temprana manifestó su interés por el estudio de los insectos y de la mano del barón de Feisthamel (1791-1851) se convirtió en miembro de la *Société Entomologique de France*. En 1837 llegó a Madrid donde fue nombrado catedrático interino de Zoología en el Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN), del que posteriormente sería Director en el año 1851, así como del Real Jardín Botánico. Dejó esta institución en el año 1867, pero continuó con su actividad docente e investigadora prácticamente hasta el final de sus días. Es considerado como el fundador de la entomología moderna en España, desarrollando su labor investigadora en prácticamente todos los ámbitos de la biología. En el primó una concepción utilista de la ciencia, promoviendo este interés y aplicándolo a la zoología, disciplina hasta entonces básicamente descriptiva. Fue el autor del primer catálogo faunístico publicado en España, dedicado a los moluscos continentales (Graells, 1846).

Graells residió en Madrid en la Calle de la Bola 2, próximo al Palacio Real y vivió hasta los 89 años de edad. Con 80 años todavía subía a pie desde su casa de El Escorial, hasta el puerto de Malagón. Prueba de su enorme vigor es que, según se dice, nunca en los 61 años que fue profesor, ni un solo día utilizó coche para asistir a su cátedra. Siempre repetía con vehemencia, que había aprendido más de los hombres que se les llamaban indoctos que de los iluminados de la ciencia. También se dedicó a la política llegando a ser nombrado Senador. Graells siempre consideró a Mieg como su sabio amigo y prueba de la amistad que le profesaba, es la dedicatoria del neuróptero *Ascalaphus miegii*, (actualmente sinonimia de *A. baeticus*).

IZQUIERDA

Figura 1. Lámina publicada en *Annales de la Société entomologique de France* (Graells, 1850), con la que se mostró ilustrada la especie por primera vez, un año después de su descripción formal en *Revue et Magasin de zoologie pure et appliquée* (Graells, 1849).



Figura 2. Placa conmemorativa del lugar donde se encontraba la casa de Don Mariano de la Paz Graells en San Lorenzo del Escorial.

Unos interesantes documentos encontrados en la biblioteca del Real Monasterio del Escorial, nos ayudan a comprender como se desarrollaron los acontecimientos del descubrimiento de esta mariposa. En este lugar también figuran los borradores de la descripción de la especie en latín, tanto del adulto como de la oruga y la crisálida, que coincide exactamente con la primera publicación impresa que se hizo de la misma (Mediavilla-Martín, 2010). Lo primero que Graells encontró, fue una oruga a principios del mes de agosto de 1848 y, nada más verla, supo enseguida que se podía tratar de un saturnídeo. Esta oruga llegó a pupar y pudo saber que correspondía a un macho, pero no eclosionó. Esta primera oruga la encontró cerca de la Portela de Cuelgamuros, actualmente Portela del Cura, la divisoria entre las provincias de Madrid y Ávila, una de las zonas para acceder a la zona de Pinares Llanos. Según documentan estos escritos, el 2º día de Pascua del año 1849, fue a buscar por la misma zona donde el año anterior había hallado la oruga y encontró un ejemplar adulto hembra, según su descripción posada sobre un árbol abatido de pino silvestre. Cuando la observó detenidamente y según sus propias palabras: "nunca podría ser la *Saturnia luna* de Mieg, por su forma y distribución de colores". En un principio le puso el nombre de *Saturnia diana* y según sus palabras: "el más hermoso descubrimiento que he hecho del orden de los lepidópteros". Posteriormente en este mismo año volvió al mismo lugar para coger más ejemplares y consiguió coleccionar 23 orugas. Realizó varias observaciones, como que cuando son molestadas segregan un líquido verdoso o parduzco por la boca de naturaleza

Tuvo que cambiar su residencia de Madrid, por la precaria salud de su primera esposa Juana Alcalde, que falleció en 1856, fijándola en San Lorenzo del Escorial, donde residió varios años. En concreto en la antigua calle de la Parra, actualmente Francisco Muñoz, 6. En esta vivienda crio los primeros ejemplares de "graellsia" en cautividad. Según cuenta uno de sus primeros biógrafos, Ramón Agenjo, de una entrevista que hizo a una hija de su segundo matrimonio, María Luisa Graells, esta le narró que allí recibió de su padre unos cuantos azotes porque abrió la jaula donde estaba criando este insecto, provocando la huida de varios ejemplares (Ceballos & Agenjo, 1943). De esta casa ya no quedan restos y sobre el solar donde estaba, se construyeron nuevas viviendas, aunque existe una placa de cerámica en el mismo lugar colocada por el ayuntamiento en el año 1991 que recuerda su antigua ubicación (Ceballos & Agenjo, 1943; Agenjo 1943a).

resinosa, que cuando comen las acículas del pino empiezan por la punta y acaban en la base, y que dejan oír una especie de chasquido como las orugas de la *Saturnia pavonia*. Estos apuntes concuerdan perfectamente con las láminas originales dibujadas por J. DuChen para la descripción de la especie.

Para comprender la importancia que este lepidóptero tuvo en Graells, mencionamos sus propias palabras, en unos documentos originales encontrados en la biblioteca del Monasterio del Escorial (Figura 3): "este precioso lepidóptero ha sido el objeto de mis deseos y mis investigaciones durante diez años". Como curiosidad transcribimos literalmente parte de estos documentos: "D. Juan Mieg, célebre profesor de Física de S.M. y naturalista distinguido en este país, varias veces me aseguró en sus conversaciones la existencia de la *S. luna*. Esta noticia sorprendente estimuló de tal modo mi curiosidad que me propuse tomarme todas las reseñas y hacer los mayores esfuerzos para encontrar al hermoso lepidóptero americano que el profesor Mieg me dijo que alguna vez algún amigo suyo había encontrado (...) hasta que en el verano de 1848 encontré una oruga que por su característica genérica me hizo sospechar desde luego si pertenecía a la mariposa que buscaba, pues sin quedarme dudas pertenecía a una *Saturnia*, tampoco lo tenía de si no lo era de alguna de las cuatro especies conocidas en Europa (...). En la primavera de este año volví al mismo sitio con la esperanza de quizás encontrar la oruga referida, quizás al insecto perfecto y por fin después de tres días de continuas y minuciosas exploraciones en los bosques



tuve el placer de encontrar no el lepidóptero que buscaba, pero sí el que indudablemente había dado lugar a que el profesor Mieg creyese que la *Saturnia luna* vivió en este país. En efecto mi *Saturnia diana* tiene cierto aire de la especie americana, pero se distingue sin embargo de un modo muy neto por los caracteres que he consignado en la descripción. Como todos los saturnidos de nuestro país, el insecto perfecto nace en la primavera y su oruga vive sobre los pinos en tal estado, al cabo de dos meses en crisálida para pasar encerrada en su capullo los diez meses siguientes del año" (Mediavilla-Martín, 2010).

Circula una bonita leyenda sobre el descubrimiento de este bello lepidóptero, que cuenta que fue el propio perro de Graells llamado "Curicus" y que solía acompañarle en sus excusiones, quien le indicó a este donde se encontraba realmente posada la mariposa. El nombre de este perro aparece en una entrevista que hizo D. Ramón Agenjo a una de las hijas de su descubridor (Ceballos & Agenjo, 1943). La única alusión escrita al perro aparece en el *Bulletín de la Societe Entomologique de France*: "Quoi qu'il en soit, c'est dans des bois de pins de la Cordillière de Guadarrama, près de Madrid, que, mis éveil par mon chien tenu en arrêt à la vue d'un papillon fixé au tronc d'un pin géant sur le sol, je pris pour la première fois la *Saturnia isabellae*" (Graells, 1877).

En las publicaciones posteriores impresas, nunca se comunica el lugar exacto de este gran descubrimiento. En su primera descripción figura como "en los montes de su real majestad", e incluso en las primeras descripciones tampoco se menciona su planta nutricia y se oculta en las láminas (por ejemplo, no figuran las acículas del pino). En los documentos encontrados en la biblioteca del Real Monasterio del Escorial, revisados con motivo de esta monografía, hay dos pequeños dibujos originales que creemos pudieran ser del mismo Graells, porque están junto a sus manuscritos, donde sí figuran las acículas de manera perfectamente clara (Figura 4). En la descripción impresa del macho de esta especie aparece solo el nombre "sierra de Guadarrama", y una vez fallecido Graells, fue Laureano Pérez Arcas (1824-1894), uno de sus más estrechos discípulos, quien comunicó la localidad tipo de "Pinares Llanos" en Ávila. Algunos entomólogos contemporáneos de Graells como K.T.E. von Siebold, J.P. Rambur, C. Oberthür y H. Testout, le criticaron duramente por no mencionar el lugar exacto ni la planta nutricia de esta nueva especie, con objeto de mantener el monopolio de la mariposa, según aseveraban sus detractores de

la época. Pero la información que aparece en las anotaciones personales del autor contradicen estas críticas. Los verdaderos inductores de esta omisión fueron sus amigos L.M.H. Fairmaire y el traductor al francés de su descubrimiento, por instigación de su otro amigo Feisthamel (entomólogo y militar francés). Este último pidió a Graells que guardara en secreto la información que la mayoría de los entomólogos europeos deseaban conocer. Aparte de estos documentos escritos del Escorial, se pueden observar también acículas del pino silvestre en las láminas originales que Duschen dibujara por encargo de Graells. Por otro lado, aparece tachado el nombre "*Diana*", como en un principio se llamó a la especie, y pone muy claro "*isabellae*" y no "*isabellae*" como la transcribieron erróneamente Fairmaire y Feisthamel (Ceballos & Agenjo, 1943).

La "isabelina" se convirtió en una pieza codiciada por entomólogos de toda Europa y muchos coleccionistas de la época realizaron viajes a España para tratar de localizar y capturar a esta nueva especie. Por ejemplo, Otto Staudinger, realizó varios viajes a zonas costeras de Andalucía en su busca (1857-58 y 1880) y a San Ildefonso, en Segovia (1862 y 1884). En este último lugar halló un gran número de orugas que recolectó, pensando que serían de la especie que buscaba. Sin embargo, resultaron ser de *Chondrostega vandalicia* (Millière, 1865), una especie desconocida que fue descrita a partir de las orugas que guardó. Posteriormente algunos, como él, contrataron los servicios de la guardería de la zona para que le proporcionaran ejemplares. Los adultos se pagaban a 1 peseta y a 6 reales las crisálidas. Una revista entomológica anunciaba en 1903 la venta de huevos de esta mariposa a 10 pesetas la docena (P.A.M. 1903). También en 1918 el periódico "España Forestal" recogía que se llegaron a pagar entre 20 a 30 pesetas por cada crisálida.

Por temor de que se le adelantara algún otro entomólogo, Graells describió por primera vez la especie en 1849 con una pequeña nota en una modesta publicación: "*Description d'un Lépidoptère nouveau de la tribu des Saturnides appartenant à la faune entomologique espagnole*" (Graells, 1849). En esta escueta descripción no figura ninguna imagen de la especie. Esto lo haría el año siguiente, en la plancha VIII de un trabajo con el mismo título que el anterior (Graells, 1850) (Figura 1). Posteriormente lo publicaría en español: "*Descripción de algunos insectos nuevos, pertenecientes a la fauna central de España*" (Graells, 1851), donde aparece representada la mariposa en su lámina VIII, idéntica a la de la publicación francesa, pero con

diferente disposición y el dibujo de la oruga de perfil. El siguiente año haría una breve publicación de 3 páginas de texto, mas una lámina entresacada de la publicación del año anterior, añadiendo aquí la dedicatoria a la reina, con el título "*Descripción de un lepidóptero nuevo perteneciente a la fauna central de España dedicado a S.M. la Reina Dña. Isabel II*" (Graells, 1852). El macho lo describió en el año 1853, pero apareció publicado en 1855, informando de ello en la parte de Zoología, dentro del "*Catálogo Metódico de las mariposas observadas hasta el día en la provincia de Madrid, por el vocal de la Sección zoológica D. Mariano de la Paz Graells*", con una pequeña reseña, en las *Memorias de la Comisión del Mapa Geológico de España* (Graells, 1855). En las mismas memorias publicadas en el año 1858, pero pertenecientes a trabajos de 1855, con el título "*Insectos nuevos de España descubiertos y descritos por el doctor D.M.P. Graells*" (Graells, 1858), volvió a dar por segunda vez la descripción del macho, esta vez con más detalle y donde aparece en la lámina VI el dibujo realizado por Juan Mieg, ilustrando por primera vez un macho de *A. isabelae* (en el momento *Saturnia isabelae*). Curiosamente, de los 83 taxones descritos por él, este fue el único lepidóptero. Solo 49 han mantenido su valor taxonómico hasta la actualidad, la mayor parte coleópteros.

Uno de los errores que todavía arrastramos y que podemos ver en algunas publicaciones es el incorrecto "*isabellae*", en lugar del pretendido "*isabelae*". Por un error de transcripción en su primera publicación, apareció escrito como *isabellae* (con dos eles) en lugar de *isabelae* (con

una ele), tal y como pretendía D. Mariano de la Paz Graells, en homenaje a la reina Isabel II de España. Fairmaire fue quien lo tradujo al francés, modificando la ortografía castellana de "*isabela*" en la francesa "*isabella*". Previamente Graells se planteó los nombres de "*diana*" (Figura 5) y "*hecate*" (Figura 10) (Cervantes et al., 2009). El manuscrito original que mandó Graells a Fairmaire para la confección del artículo está desaparecido, pero se conserva el dibujo original donde el autor tacha y cambia de su puño y letra "*diana*" por "*isabelae*", (Figura 5) (Ceballos & Agenjo, 1943;

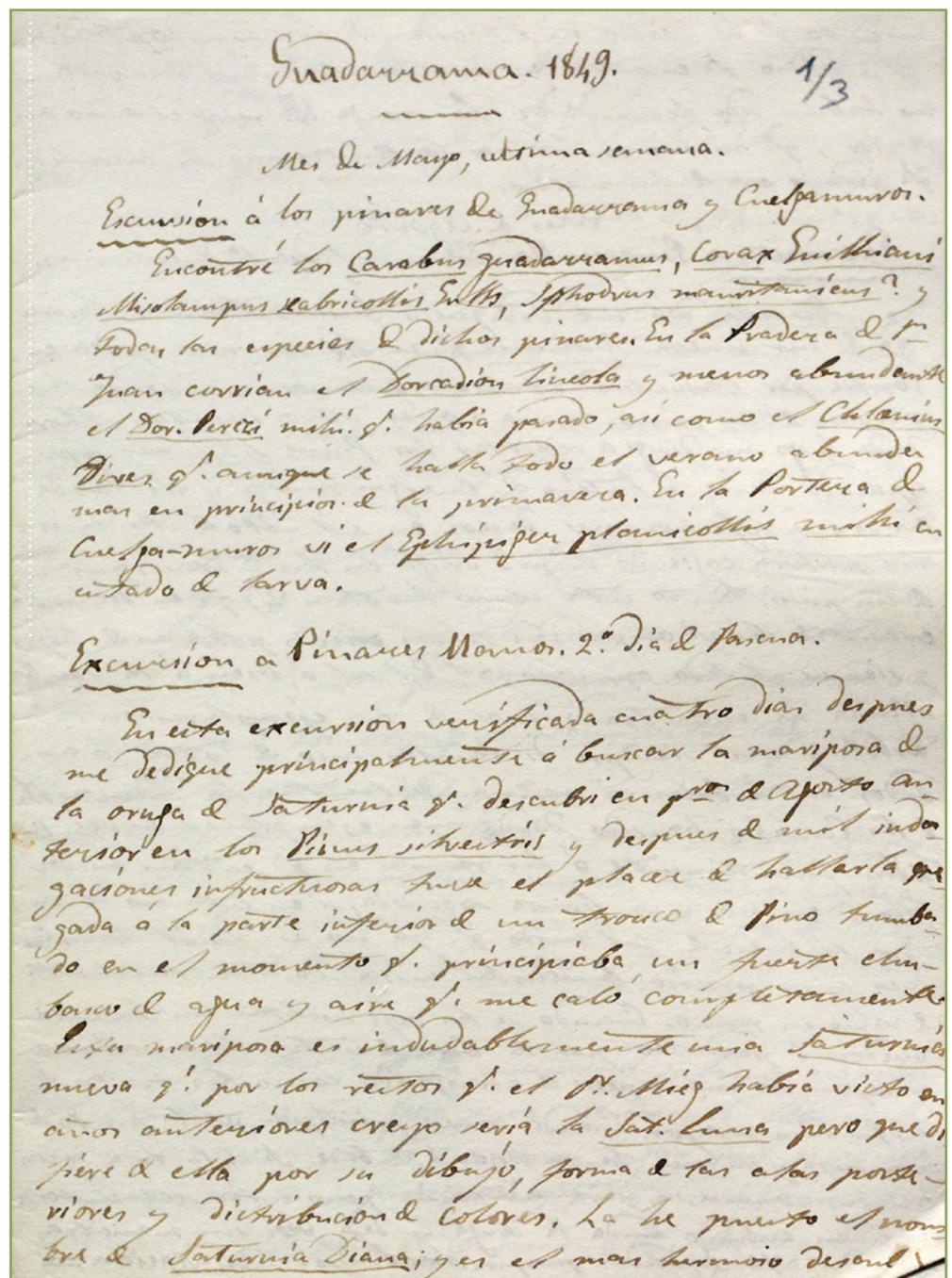


Figura 3. Manuscrito de D. Mariano de la Paz Graells donde se relata el hallazgo del primer ejemplar adulto de *Actias isabelae*. Fuente: Real Biblioteca del Monasterio del Escorial.

Fernández-Vidal, 1992). Feisthamel fue quien le sugirió que se lo dedicase a la reina, cosa que finalmente hizo con la siguiente dedicatoria: “*al agosto nombre de S.M. la Reina Isabel II, dedico esta magnífica Saturnia, único representante en Europa de la sección a que pertenece la Diana, Luna, Selene, Isis y otras divinidades menos positivas que la nuestra*”. La monarca, según se cuenta, lució un ejemplar engarzado de esta especie entre esmeraldas, en una recepción real (Graells, 1852).

Según el artículo 19 de Código Internacional de Nomenclatura Zoológica: “*Debe conservarse la ortografía original si no es evidente que tal nombre contiene una falta de transcripción, ortografía o impresión*”. El material tipo depositado en el MNCN está desaparecido, pero en las etiquetas de los ejemplares que mandó el autor a dos famosos entomólogos de la época A.H. Graslin y J.B.A.D. de Boisduval, se puede leer “*isabellae*” (Ceballos & Agenjo, 1943). Pese a que varios autores (Nässig, 1991; Renner *et al.*, 2006) indican que debe mantenerse el *isabellae* con el que se describió originalmente, (Vives-Moreno 2014) en un trabajo más reciente ratifica lo expuesto anteriormente (Ceballos & Agenjo, 1943; Fernández-Vidal, 1992) y hace incapie nuevamente en el Código Internacional de Nomenclatura Zoológica. Este contempla en sus artículos 32.2, 22.2.2 y 50.4 que “el propio autor puede hacer de revisor para reemplazar la grafía original incorrec-

ta”. Graells utilizó en todos sus trabajos en castellano posteriores a la descripción, la denominación *isabellae* (Graells, 1852, 1855 y 1858). Por ello, esta es la grafía usada también en este trabajo.

En casi toda Europa, pero principalmente Francia, que en aquella época estaba a la vanguardia de la entomología, nunca creyeron este descubrimiento e incluso insinuaron que era un fraude. Graells respondió con decisión y firmeza a estas críticas tras describir al macho de la especie: “*Esta magnífica mariposa, sobre cuya patria han dudado algunos entomólogos extranjeros, sólo por la circunstancia de pertenecer a un grupo cuyos miembros conocidos hasta el día son exóticos, ¡es española!, y otro de los insectos característicos de nuestra fauna, que, como la Chelonia Latreillei et Dejeani, Megacephala euphratica y tantas otras especies notables de la Península son envidiadas por los entomólogos del norte, reducidos a observar las formas triviales de su frío país*” (Graells, 1858).

Tras pasar 72 años desde que se produjera su descubrimiento en España, en 1922 Selgas la localizó también en los Alpes franceses. La describió Oberthür como una nueva especie, diferente de la ibérica, utilizando el “modesto” nombre de *Graellsia galliaegloria* (la gloria de Francia). Casualmente la misma persona que tildó a Graells de pomposo y vanidoso.

Como curiosidad, en la descripción de esta subespecie francesa se menciona hasta el nombre de la señora en cuyo porche apareció la mariposa atraída por la luz doméstica, la Sra. Tranchat en la Bessée-sur-Durance. Todo esto hizo pensar que el descubrimiento de la “isabela” en Francia era falso, pues parecía demasiada casualidad que la describiera Oberthür, ya muy anciano, que, además de entomólogo, era también un gran coleccionista de insectos. En su época era la segunda colección privada más importante del mundo, algo que hizo sospechar a muchos que se trataba de una población introducida (Oberthür, 1923a,b). No ha sido hasta fecha muy reciente cuando se ha sabido que el linaje francés es también autóctono (Marí-Mena, 2013).

Figura 4. Dibujos de la oruga de *Actias isabellae* custodiados en la Real Biblioteca del Monasterio del Escorial junto con el borrador de la descripción de la especie. Por ello es muy probable que fueran realizadas por D. Mariano de la Paz Graells.



Fig. 3^a

Fig. 4^a

Fig. 5^a

Fig. 6^a



Oruga, capullo y crisalida de la
Tatvenia abietis Grælls.

Duchen f.^t

Taxonomía, biogeografía y genética de poblaciones

Actias isabelae y las mariposas luna

Los saturnidos (Saturniidae) constituyen una familia de lepidópteros situada dentro de los Bombycoidea. Agrupa hasta 1 500 especies a nivel mundial y diez en Europa, tres de las cuales son introducidas. Incluye las espectaculares mariposas luna (*Actias-Graellsia* y *Argema*), cuya única representante europea es *A. isabelae*. El resto se encuentran en África (*Argema*), Asia y Norteamérica (*Actias*) (Figuras 6 y 7). La posición taxonómica de la “isabelina” dentro de este grupo ha sido controvertida desde que Graells (1849) la adscribiera al género *Saturnia* (Vives-Moreno, 2000; Masó, 2002). En 1896, Grote creó para ella el género *Graellsia*, basándose en algunas diferencias existentes con las *Actias*, pero Nässig (1991) sinonimizó ambos géneros. Los criterios que subyacen a todos estos cambios se han basado principalmente en caracteres morfológicos, aunque Nässig también se apoyó en los híbridos que se han conseguido en cautividad entre *A. isabelae* y otras especies de *Actias*. En 1980 se consiguió el primer híbrido fértil con *A. luna* (R. Vuattoux com. pers.). Más tarde también con *A. artemis*, *A. dubernardi*, *A. gnoma*, *A. heterogyna*, *A. isis*, *A. maenas*, *A. selene*, *A. sjoeqvisti*, *A. truncatipennis* o *A. uljanae* (Adès *et al.*, 1993; Ylla i Ullastre, 1997; Vuattoux *et al.*, 2001; Adès *et al.*, 2005; Adès & Vuattoux, 2005; Oehlke, 2015) *A. isabelae* y otras especies de *Actias* (Figura 8). Sin embargo, la hibridación no ha sido posible hasta el momento con especies del género *Argema*, pese a los intentos llevados a cabo. Recientemente, Boulet-Audet *et al.* (2015) sugirieron conservar separado el género *Graellsia* basándose en la comparación de la composición química de la seda de los capullos de 35 saturnidos, que no situó a *A. isabelae* en el grupo del género *Actias*.

Hasta este momento, el trabajo más detallado en esta materia fue publicado por Ylla *et al.* en 2005. En este trabajo se realizó un análisis cladístico con dos marcadores moleculares y 96 caracteres morfológicos y etológicos de las diferentes fases del ciclo vital, realizando una comparativa con un pequeño grupo de especies de mariposas luna. Los autores concluyeron que *Graellsia* debía mantenerse como un género separado, ya que apareció en la posición más basal de este grupo, separando los géneros *Actias* y *Argema*.

Nuevos análisis son necesarios para resolver de manera más detallada la posición sistemática de la “isabelina”. Tanto a nivel morfológico como molecular, para el cual los nuevos métodos de secuenciación masiva de ADN ofrecen grandes posibilidades (Ekblom & Galindo, 2011). Por el momento, en este trabajo se recoge como *Actias isabelae*, la opción que consideramos más adecuada en base a nuestro conocimiento y de acuerdo con el portal de referencia taxonómica Fauna Europaea (Karsholt & Nieuwerkerken, 2013).

IZQUIERDA

Figura 5. Lámina original mostrando la oruga y la crisálida. Esta lámina fue regalada a D. Gonzalo Ceballos por una de las hijas de Graells, M^a Luisa.

Fuente: Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC). Signatura ACN110B/004.

Filogeografía

El estudio de la variación genética de las poblaciones de “graellsia”, recientemente publicado por Marí-Mena *et al.* (2016), ha revelado un fuerte patrón geográfico a lo largo de su distribución. La secuenciación de un fragmento del gen mitocondrial citocromo oxidasa I (*cox1*) y el genotipado de nueve marcadores nucleares microsátélites coincidieron en la agrupación de las poblaciones en seis grupos. Éstos se distribuyen en los diferentes sistemas montañosos donde habita en España y Francia: sistema Ibérico, sistema Central, montañas Béticas, Pirineos orientales, Pirineos occidentales y Alpes franceses. Además, las 41 variantes encontradas en el gen mitocondrial (haplotipos) se asignaron a dos grupos diferentes por parentesco (linajes). Por un lado, el que reúne las poblaciones del sistema Ibérico, Pirineos occidentales, Pirineos orientales y Alpes franceses. Por otro, el de las poblaciones de las montañas Béticas y las del sistema Central (Figuras 6 y 7).

Como insecto fitófago, se espera que la historia evolutiva de la “isabelina” se haya visto influida por los cambios en la distribución de sus plantas hospedadoras. Las poblaciones españolas residen actualmente en áreas que actuaron como refugios glaciares durante el Último Máximo Glacial (hace 20 000 años) para el pino silvestre (*Pinus sylvestris*) y el pino laricio (*Pinus nigra*) (Cheddadi, 2006; Afzal-Rafii, 2007). Ambas coníferas se expandieron durante el Holoceno (los últimos 11 784 años), especialmente la primera de ellas (Benito-Garzón, 2007; Benito-Garzón, 2008). Sin embargo, ahora mismo, el hábitat potencial para la “isabela” en la Península es tres veces más grande que el que ocupa (Figura 31).

Aunque la estructura poblacional actual de *A. isabelae* podría ser bastante similar a la que tenía hace 20 000 años, cada uno de sus seis grupos genéticos son el resultado de una historia demográfica muy distinta, que se detalla a continuación.

Sus poblaciones ancestrales

La gran diversidad genética de las poblaciones del sistema Ibérico las señala como las más antiguas. Como se observa en la figura 6, veinte de los cuarenta y un haplotipos de la “graellsia” se encontraron en las poblaciones de Ademuz, Bronchales, Huerta del Mar-

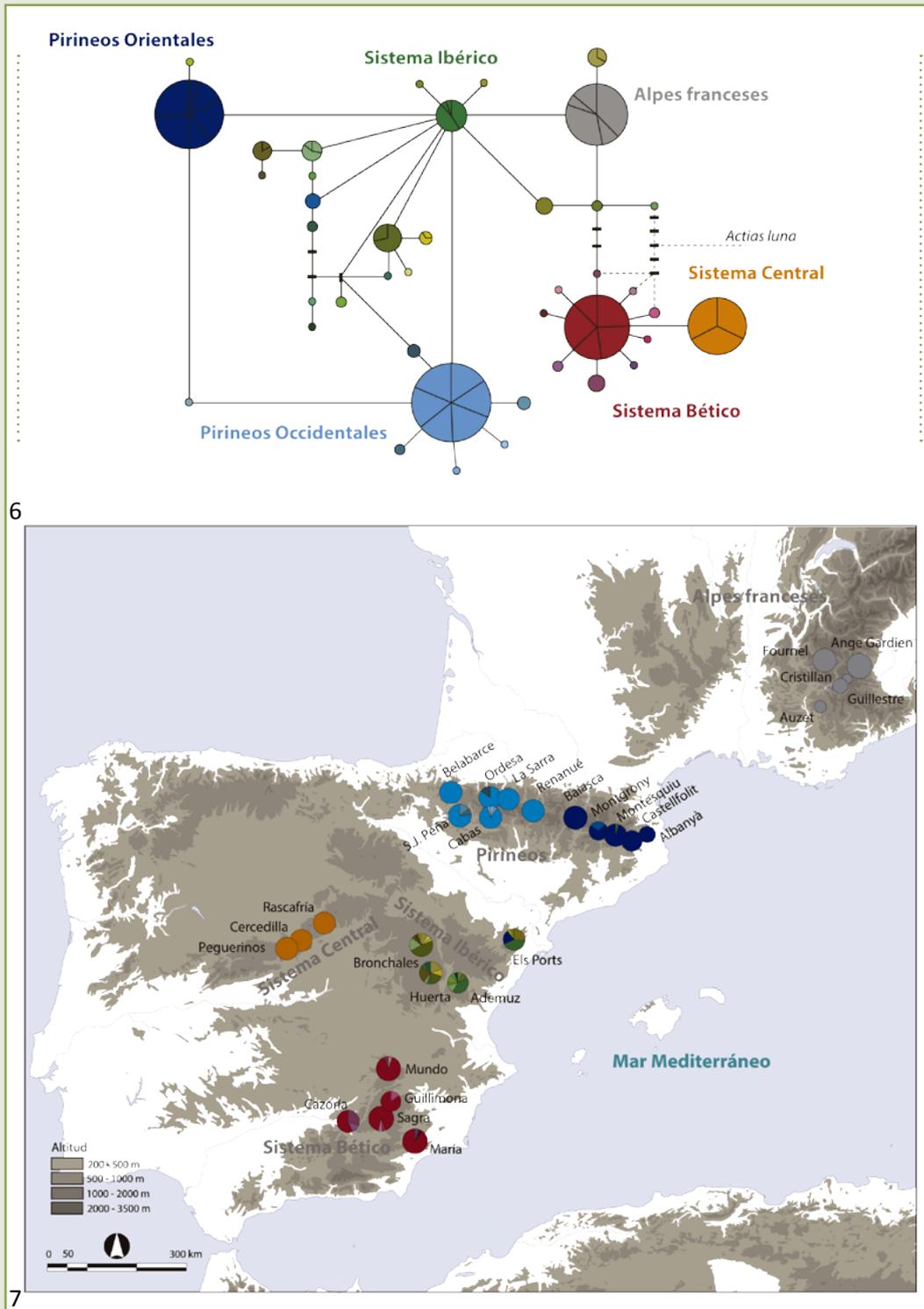
quesado y Els Ports. Además, uno de los haplotipos de Ademuz es el más próximo a la especie que se utilizó como referencia en el análisis, el satúrnido *A. luna* (Figura 6). Por lo tanto, el sistema Ibérico albergaría a los ancestros de la “isabelina”, que dieron lugar al resto de poblaciones.

El estado ancestral del grupo del sistema Ibérico también está apoyado por la historia evolutiva de las dos especies de pino mencionadas. La expansión durante el Holoceno de los pinos silvestre y laricio habría permitido la diversificación de *A. isabelae*. Un ejemplo de ello es la fundación del grupo oriental de los Pirineos. Mediante la comparación de los patrones de variación genética de la “isabela” y sus plantas hospedadoras, Marí-Mena *et al.* (2016) sugirieron que individuos pertenecientes a las poblaciones del sistema Ibérico llegaron al Pirineo catalán durante el Holoceno Medio (hace unos 6 000 años) a través de un corredor de pino laricio hasta las grandes poblaciones pirenaicas de pino silvestre. La relación de ambos grupos está apoyada por la presencia del haplotipo mayoritario del sistema Ibérico en la población pirenaica de Montesquiú y el haplotipo más frecuente en los Pirineos orientales en la población del Parc Natural dels Ports, situado entre la cordillera Prelitoral catalana y el sistema Ibérico (Figuras 6 y 7).

Las poblaciones pirenaicas

Las poblaciones de los Pirineos situadas al oeste y este del Parque Nacional de Aiguestortes y Estany de Sant Maurici (Lleida) forman dos grupos genéticamente diferenciados. Los análisis revelaron la ausencia de intercambio mitocondrial entre las dos poblaciones más cercanas de estos grupos (Renanué -Huesca-, y Baisca -Pallars Sobirà, Lleida-) (Figura 6). Sin embargo, los marcadores nucleares revelaron la presencia de flujo génico asimétrico entre las dos poblaciones. Se encontraron dos individuos de Renanué, del grupo occidental, con un genotipo oriental, mientras que el patrón opuesto no se halló en Baisca.

Marí-Mena *et al.* (2016) apuntaron a que esta dispersión de la “graellsia” hacia el oeste podría estar reflejando el inicio de la hibridación mediada por los machos entre los dos grupos. La distancia de 51 km. entre Renanué y Baisca está dentro del rango de dispersión de los machos y, además, existe hábitat adecuado. Sin embargo, no hay citas en los bosques que los separan (Romo *et al.*, 2012).



Figuras 6 y 7. Red de haplotipos mitocondriales y su distribución geográfica en 28 poblaciones a lo largo del rango de distribución de *Actias isabellae*. Los grupos genéticos se indican en seis colores diferentes: los tonos azul oscuro y claro corresponden a los haplotipos de los Pirineos occidentales y orientales, mientras que los tonos verde y rojo a los del sistema Ibérico y montañas Béticas. El gris y naranja colorean los haplotipos únicos de los Alpes franceses y el sistema Central, respectivamente. El tamaño de los círculos de la red es proporcional a la frecuencia de los haplotipos. Modificado de Marí-Mena et al. (2016).

Las diferencias climáticas y ecológicas que existen entre la vertiente oriental y occidental podrían estar causando la ausencia de flujo génico entre los dos grupos (Chefaoui, 2007). No obstante, es necesario realizar un muestreo más exhaustivo de la zona para confirmar su presencia entre Renanué y Baiasca y hacer nuevos análisis para desvelar los factores que originan la estructura poblacional de *A. isabelae* en los Pirineos.

La historia demográfica diferente de los dos grupos apunta a que estas poblaciones fueron colonizadas por individuos del sistema Ibérico en eventos independientes y no simultáneos. Esto queda reflejado en las figuras 6 y 7 por la forma de estrella de los haplotipos del grupo occidental, que es típica de una expansión poblacional. Mientras que las poblaciones de los Pirineos orientales tienen una baja diversidad genética, con sólo tres haplotipos mitocondriales (Figura 6).

Las poblaciones alpinas

El origen de las poblaciones de los Alpes franceses ha sido controvertido desde su descubrimiento en 1922. Muchos autores consideraron que se debía a una introducción humana a partir de individuos ibéricos (Templado, 1975; Fernández-Vidal, 1992; Agenjo, 1943b). Sin embargo, las evidencias genéticas apuntan a que estas poblaciones son autóctonas.

La población alpina tiene una diversidad genética similar a las del sistema Central, cuyo origen natural no ha sido nunca cuestionado. Este fue precisamente el origen sugerido de los ejemplares con los que supuestamente se habría creado la población alpina (Agenjo, 1967). Sin embargo, los resultados genéticos (análisis tanto nucleares como mitocondriales) no coinciden con esta hipótesis, ya que en el sistema Central es muy homogéneo genéticamente y el haplotipo mitocondrial de las poblaciones francesas no ha sido encontrado, hasta el momento, ni allí ni en el resto de poblaciones ibéricas.

Marí-Mena *et al.* (2016) apuntan a que la colonización de los Alpes se habría producido durante el Holoceno, por la migración de un grupo de individuos desde los Pirineos, siguiendo la expansión del pino silvestre. La dispersión de esta conífera tras la glaciación desde la parte más oriental de los Pirineos hacia el norte ha podido ser documentada mediante el estudio de microfósiles (Cheddadi, 2006). Además, en el sur de

Francia existen bosques con el hábitat adecuado incluso antes del Último Máximo Glacial (Roiron, 2013). Otras especies montanas como ésta y con un patrón genético y un área de distribución similares, siguieron las expansiones de los pinos hacia el norte durante el Holoceno (Förschler *et al.*, 2011).

Las poblaciones meridionales

Las poblaciones del sistema Bético albergan 10 de los 41 haplotipos de la "isabelina". Eso hace que sean, tras las del sistema Ibérico, las más diversas genéticamente. Estas se encuentran en bosques de pino laricio, a excepción de la de sierra María, descubierta recientemente en un bosque mixto de *Pinus halepensis* y *Pinus pinaster* (Ibáñez-Gázquez *et al.*, 2008). Aunque la alimentación de las orugas en esta población está aún pendiente de confirmación.

La relación de las poblaciones de las montañas Béticas con las del sistema Ibérico es diferente según los análisis de ambos marcadores moleculares. Mientras que a nivel nuclear (herencia biparental) los individuos de las poblaciones del sistema Ibérico mostraron mayor afinidad con los del sistema Central y montañas Béticas, el gen mitocondrial (herencia materna) los situó junto con las poblaciones pirenaicas y francesas. Esta discordancia entre los marcadores moleculares podría deberse a una dispersión sesgada por sexo, es decir, que sean los machos los que principalmente se dispersan, rasgo ya descrito por Ylla i Ullastre (1997). De esta manera habría existido flujo génico entre el sistema Ibérico y las poblaciones de las montañas Béticas y el sistema Central, promovido por los machos, mientras que el flujo génico mediado por las hembras se habría interrumpido. Sin embargo, dada la amplia escala geográfica donde se daría esta discordancia, entre las poblaciones de Ademuz (Valencia) y Mundo (Albacete) (Figura 6) Marí-Mena *et al.* (2016) proponen la existencia de incompatibilidades mito-nucleares que podrían disminuir la eficacia biológica de los ejemplares con haplotipos mitocondriales de las poblaciones del sur portadoras de genotipos nucleares del norte.

Su presencia en el sistema Central

Los individuos del sistema Central descienden de las poblaciones de las montañas Béticas. Probablemente su colonización se produjo por la expansión de los

bosques de pino silvestre desde su refugio glacial más meridional (Cheddadi, 2006). Las poblaciones Béticas mostraron huellas genéticas de una expansión poblacional, que habría facilitado la migración de un pequeño número de individuos hacia el norte para fundar las poblaciones del sistema Central. Esto queda reflejado por la posición terminal del único haplotipo del sistema Central en el grupo de haplotipos del sistema Bético (Figuras 6 y 7).

El uso indistinto de los pinos silvestre y laricio seguramente fue clave en la expansión de *A. isabelae* hacia el norte. El pino laricio era más abundante que el pino silvestre en el sur de España, como ocurre también en la actualidad. Sin embargo, su presencia en el sistema Ibérico Central es actualmente mínima.

Subespecies de *Actias isabelae*

Para resolver la taxonomía de las especies es imprescindible profundizar en la comprensión de la variación genética de sus poblaciones y el conocimiento de los procesos evolutivos que les afectan.

Tradicionalmente se han considerado cinco subespecies, descritas principalmente en base a diferencias en rasgos morfológicos y geográficos. Estas son

A. isabelae isabelae (Graells, 1849), que se describió englobando las poblaciones de los sistemas Ibérico y Central; *A. i. ceballosi* (Gómez-Bustillo y Fernández-Rubio, 1974) de las montañas Béticas; *A. i. paradisea* (Marten, 1955) en los Pirineos orientales; *A. i. roncalensis* (Gómez-Bustillo *et al.*, 1974) en los Pirineos occidentales y centrales; y la subespecie francesa, llamada *A. i. galliaegloria* (Oberthür, 1922). Además, hay otras formas individuales y aberraciones que han sido descritas como: *rufina*, *rufa*, *extensa* y *obscura* (Agenjo, 1953), *neuroflexa* (Abós-Castel, 1983) o *venirrupta* (Figura 23) (Gómez-Bustillo y Fernández-Rubio, 1974). Sin embargo, su validez ha sido cuestionada, ya que estas variaciones individuales no tienen vigencia taxonómica según el ICZN (Código Internacional de Nomenclatura Zoológica) (Ylla i Ullastre, 1997). Actualmente sabemos que existen seis grupos genéticos (Marí-Mena *et al.*, 2016), correspondientes en buena parte con las subespecies sugeridas anteriormente. Sin embargo, la propuesta como *A. i. isabelae*, tiene una historia evolutiva y demográfica muy distinta en los sistemas Ibérico y Central.

Esta información debería ser utilizada para revisar su taxonomía, algo importante para su conservación, ya que, en España, no sólo las especies, sino también las subespecies pueden ser incluidas en catálogos oficiales de especies protegidas (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2011).



Figura 8. Híbrido de sexo masculino producido por el cruce en laboratorio de un macho de *Actias isabelae* y una hembra de *Actias luna*.

R. Vuattoux



Y. Monasterio



Y. Monasterio



O. Moreno



Y. Monasterio



Y. Monasterio



O. Moreno



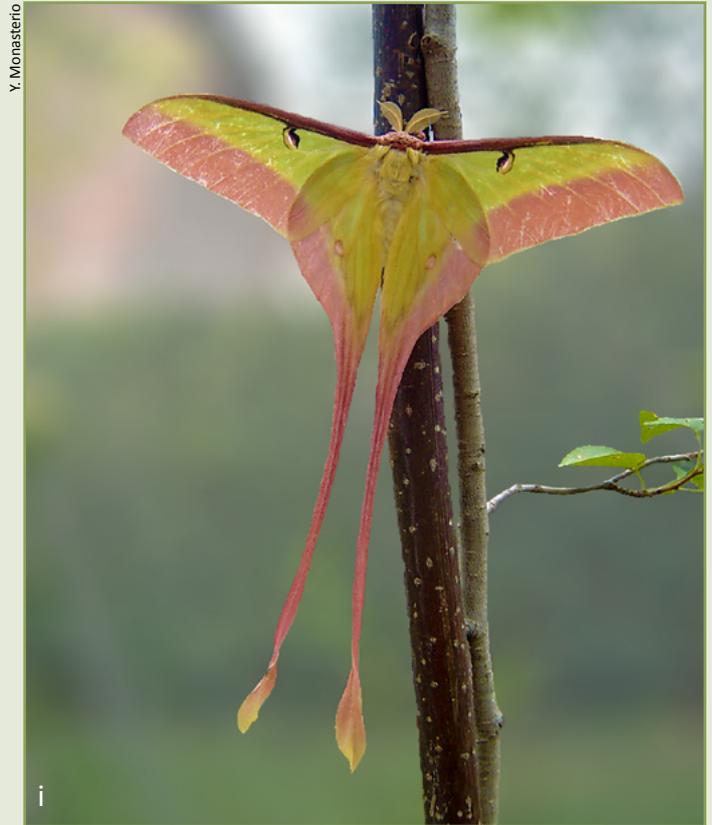
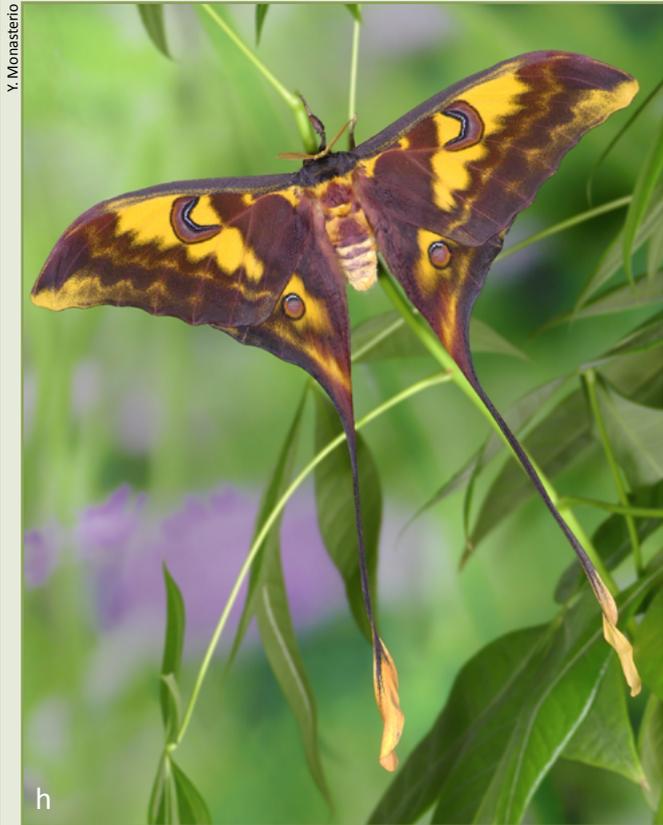


Figura 9. Lámina con algunas de las especies emparentadas con *Actias isabelae*.

- a) *Actias rhodopneuma* macho.
- b) *Actias gnoma* hembra (Krai de Primorie, Rusia).
- c) *Actias luna* macho (EEUU),
- d y e) *Actias cf. parasinensis* macho y oruga.
(Vietnam National Park Cuc Phuong).
- f) *Actias felicis* macho (China).
- g y h) *Actias isis* oruga y macho (Célebes, Indonesia).
- i y j) *Actias dubernardi* macho y oruga (Gizhou, China).
- k) *Argema mimosae* hembra (Kakamega Forest Kenya).
- l) *Argema mitrei* macho (Madagascar).

L. an. III.



fig. 1.

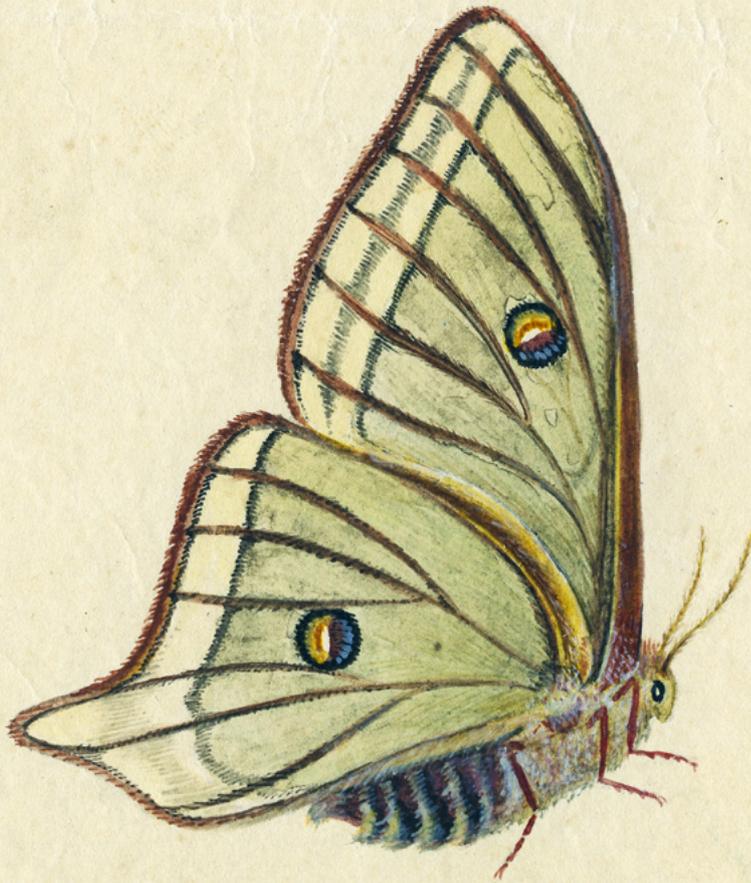


fig. 2.

Saturnia borate Guéll.

Ecología y biología

Ecología

Plantas huésped

La oruga de la “isabelina” se alimenta exclusivamente de acículas de pino. Sus principales fitohuéspedes en el centro y norte ibérico son el pino silvestre (*Pinus sylvestris*) y el laricio (*Pinus nigra* ssp. *salzmannii* y *P. n.* ssp. *nigra*), mientras que las poblaciones del sur ibérico (*A. i. ceballosi*) viven exclusivamente sobre este último ante la escasez del silvestre en las sierras béticas (Gómez-Bustillo & Fernández-Rubio, 1976).

En sierra María (Almería), se ha citado recientemente en bosques de *Pinus halepensis* y *Pinus pinaster* (Ibáñez-Gázquez *et al.*, 2008). Queda por comprobar si las orugas viven allí sobre alguna de estas especies, algo poco probable, ya que los ensayos en laboratorio revelan que las toleran mal como plantas huésped (Masó i Planas & Ylla i Ullastre, 1989; Ylla i Ullastre, 1997). Montoya-Moreno & Hernández-Alonso (1974) señalan que el imago puede tener una fuerte dispersión que puede llegar hasta los 10 km. Por ello, se ha realizado una aproximación mediante SIG de la intersección del Mapa Forestal de España 1:50 000 de la provincia de Almería (http://www.mapama.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/mfe50_descargas_andalucia.aspx) y la distribución actual de la especie (ver apartado de distribución geográfica). Se observa que existen masas forestales de *P. nigra* a menos de 6 km del área ocupada por las 3 cuadrículas citadas en Ibáñez-Gázquez *et al.* (2008), las cuales podrían ser la fuente de la población (J.I. de Arce com. pers.). Aunque es bien conocido que en cautividad las orugas aceptan razonablemente bien otras especies de pinos, incluso de géneros de coníferas tan dispares como el cedro (*Cedrus libanotica*), la píceas (*Picea abies*), o el abeto blanco (*Abies alba*) (Ylla i Ullastre, 1997), no se conocen en la naturaleza poblaciones fuera de las dos especies citadas, si exceptuamos las almerienses, cuya biología local está aún por aclarar.

Un posible tercer candidato sería el pino negro, o moro (*Pinus uncinata*). Las orugas lo aceptan perfectamente en cautividad, y su valor nutricional es similar al del pino silvestre y mayor que el del laricio, dando lugar en condiciones de cría controlada a imagos bien desarrollados (Masó i Planas & Ylla i Ullastre, 1989, 1997). Sin embargo, el rango altitudinal y climático donde crece este resistente pino queda fuera de la tolerancia al frío de los estadios inmaduros, de forma que por el momento no se conoce de forma fehaciente que la especie colonice estos pinares alpinos, aunque es probable que el cambio climático esté jugando a favor de ello en algunas áreas.

IZQUIERDA

Figura 10. Además de *diana*, Graells también valoró la posibilidad de nombrarla *hecate*. Sin embargo, esta posibilidad también fue desechada con decisión, como se intuye por el tachado que, con probabilidad, realizó el propio autor.

Fuente: reproducido de Cervantes *et al.*, 2009, con consentimiento expreso de sus autores.

Un hecho que queda igualmente por comprobar, ya apuntado en Viejo-Montesinos (1992), es la posibilidad de que las orugas puedan desarrollarse en algunos lugares sobre *Pinus x rhaetica* Brügger, resultado de la hibridación natural del pino silvestre y el negro. Este híbrido aparece en la franja de transición bioclimática entre el piso altimontano y el subalpino u oromediterráneo, donde ambas especies cohabitan. Pueden observarse rodales o individuos salpicados en márgenes de pinares elevados del Pirineo axial, distribuidos entre los 1 650 y 1 900 m.s.n.m. (J. Puente, com. pers.). También aparece en los pinares de *P. uncinata* del sistema Ibérico turolense, habiendo sido citado además de la Comunidad Valenciana (Launa-Lumbreras *et al.*, 2005) o León (Fajardo-Alcántara, 2011). Es por tanto posible que *P. uncinata* y *P. x rhaetica* sean usados como planta huésped en pinares enclavados en el límite altitudinal conocido para *A. isabelae*.

Hábitat

Los principales factores que conforman el hábitat de la “graellsia” son en definitiva la presencia de alguna de las especies de pinos de las que se alimentan las orugas, y el clima local, que limita la colonización de pinares demasiado fríos, húmedos o próximos a la costa. Aunque durante decenios se ha considerado

una especie exclusivamente montana, lo cierto es que la subespecie *A. i. paradisea* vive en zonas bajas que rondan los 100 m.s.n.m. en algunas comarcas catalanas (Masó i Planas & Ylla i Ullastre, 1989; Morinchón *et al.*, 2014). En el Pirineo axial central y los sistemas Central e Ibérico coloniza pinares más fríos y elevados, comportándose aquí como una especie típicamente mesófila y euritérmica, y no termófila (Fernández-Vidal, 1992).

Puede decirse por lo tanto que los rangos climático y altitudinal de la especie son amplios, aunque dentro de los márgenes de una especie de distribución atlántomediterránea, colonizando diferentes tipos de pinares en subclimas diversos, siempre con una influencia mediterránea atenuadora de los inviernos. En definitiva, la “isabelina” se ha adaptado a los diferentes ambientes ibéricos en los que crecen sus principales plantas huésped, como se detalla en el capítulo de distribución (Figuras 11, 13 a 19).

Las poblaciones francesas de los Alpes meridionales y el Jura se asientan sobre pinares de silvestre, y se localizan en valles con topoclimas en los que aparece el componente mediterráneo, con condiciones similares a los valles axiales pirenaicos de la vertiente española (Demerges, 2001) (Figura 12).



Figura 11. En los pinares de la vertiente oeste de la sierra de Guadarrama fue hallada *Actias isabelae* por primera vez, donde aun hoy es abundante. Peguerínos (Ávila, Castilla y León)

R. Vuattoux



Figura 12. Gorges du Guil. Maison du Roi. Cerca de Guillestre. Hábitat en los Hautes-Alpes (Francia). Pinares húmedos mixtos de silvestre.

E. Murria



Figura 13. Hábitat en el valle del Guarga (Huesca). Pinar subhúmedo con boj.

E. Murria



Figura 14. Hábitat en San Juan de la Peña norte (Huesca).

J.C. Vicente



Figura 15. Hábitat en el Alto Tajo (Guadalajara-Cuenca), formado por *P. nigra*.

K. Vergara



Figura 16. Hábitat en el valle de Esteribar (Navarra), compuesto por *P. sylvestris*.

J.I. de Ace



Figura 17. Hábitat en la sierra de Gudar (Teruel), con formaciones de *P. sylvestris*.

A.G. Carrillo



Figura 18. Hábitat en los pinares de Valsáin, en la sierra de Guadarrama (Segovia), compuestos por *P. sylvestris*.

Y. Monasterio



Figura 19. Hábitat en pinares de laricio. Sierra de Cazorla (Jaén).

Fuera de estas regiones alpinas, y salvo la pequeña población al parecer introducida de forma artificial en Suiza, la “isabela” no es capaz de colonizar actualmente los extensos pinares de silvestre del resto de Europa debido a sus características bioclimáticas. Excepto citas aisladas en valles orientales limítrofes con Cataluña (Masó i Planas & Ylla i Ullastre, 1989), tampoco coloniza el resto de la vertiente francesa del Pirineo ni áreas intermedias hasta los Alpes, donde la influencia del clima continental es igualmente acusada.

Biología

Estadios inmaduros

EL HUEVO

La tasa de reproducción de *A. isabelae* se sitúa en una media de 100 huevos, en un rango que va de un mínimo de 17 y un máximo de 200, dependiendo del tamaño y peso alcanzado por la hembra (Montoya-Moreno & Hernández-Alonso, 1974; Ylla i Ullastre, 1997). Los huevos, esféricos y ligeramente aplanados, son colocados en pequeños grupos de 2 a 6-10 unidades, distribuidos en la base de las acículas o en pequeñas ramitas donde, gracias a su color pardo-verdoso, permanecen bien camuflados (Figura 20a). Se adhieren a la corteza gracias a una sustancia rojiza que los impregna durante la puesta, y que se solidifica en contacto con el aire, dejando los huevos pegados por su base y unidos entre ellos. Su morfología ha sido estudiada microscópicamente mediante técnicas fotográficas (Masó & Ribes, 1989).

La hembra distribuye su puesta durante varias noches y sobre diferentes pinos, que selecciona por su edad y ubicación, localizándose la mayoría de los huevos en pies jóvenes que crecen en zonas periféricas o grandes claros del bosque, en lugares algo húmedos y bien soleados. En áreas donde cohabitan el pino silvestre y el laricio, pone los huevos preferentemente sobre el primero, ya que se ha comprobado que el valor nutricional del pino laricio es menor, requiriendo mayor consumo de biomasa por parte de las orugas (Ylla i Ullastre, 1997). La mayor parte de los huevos son puestos durante las tres primeras noches tras la cópula, decreciendo posteriormente su número, siendo mínimo a partir de la octava o novena noche. El periodo de incubación va de los 12 a los 40 días en función de la temperatura ambiental, con una media de 28

días hasta el nacimiento de las orugas (Montoya-Moreno & Hernández-Alonso, 1974; Ylla i Ullastre, 1997).

LA ORUGA

Desde que nace hasta que se transforma en crisálida, la oruga atraviesa 5 estadios producto de 4 mudas de piel, en cada uno de las cuales presenta una coloración distinta para adecuar el mimetismo críptico al tamaño larvario. Las orugas recién nacidas son fototrópicas, de forma que se sienten impulsadas a ascender hasta los extremos más iluminados de las ramas, donde se dispersan para alimentarse. Al principio son negras (Figura 20b), volviéndose pardo-grisáceas conforme crecen un poco (Figura 20c), de manera que se mimetizan bien sobre los extremos de las ramitas. Comienzan a comer de las acículas nuevas, que dejan aserradas lateralmente en su parte superior, para pasar a comer también acículas maduras conforme ganan tamaño. Su color cambia entonces a pardo-verdoso, que se funde con las ramitas algo gruesas del pino donde reposan (Figuras 20d,e). En la última muda (Figura 20f) aparecen los colores verde vivo, rojizo y blanco, a base de bandas disruptivas que ayudan a la cripsis, desdibujando la silueta de la oruga sobre la fronda del pinar. Devoran entonces las acículas enteras hasta cerca de la base, sujetándolas con sus patas torácicas y arqueándolas en una postura de alimentación característica. En este estadio defolian las ramas casi en su totalidad, respetando solo las acículas más viejas. Alcanzan entonces un tamaño considerable, que en los individuos bien nutridos puede superar los 80 mm., con un peso próximo a los 6 g. La duración media del estadio larvario es de 45 días, pudiéndose encontrar orugas en la naturaleza desde primeros de junio hasta finales de agosto, según la altitud y el clima local y anual (Ylla i Ullastre, 1997).

Las orugas en los últimos estadios cuentan con un eficiente sistema de defensa activa, consistente en la emisión de un chasquido sordo producido por las mandíbulas, perceptible por el oído humano. Al mismo tiempo, arquean el cuerpo y regurgitan el contenido estomacal, de color verde vivo. Reaccionan de esta forma al sentirse molestadas, como reacción disuasoria ante el ataque de aves y otros predadores.

LA CRISÁLIDA

Alcanzado el máximo crecimiento, las orugas maduras descienden del pino y se entierran unos centímetros bajo la pinaza, donde tejen un sólido capullo de seda marrón-rojiza al que adhieren externamente acículas



Figura 20. Imágenes de los diferentes estadios inmaduros que atraviesa *Actias isabelae* a lo largo de su desarrollo.

- a) Puesta de huevos.
- b, c, d, e y f) Oruga en primera, segunda, tercera, cuarta y quinta muda respectivamente.
- g y h) Crisálidas macho y hembra respectivamente.

Figura 21. Tras la eclosión, los imagos han de expandir las alas, como este macho.



secas que lo camuflan. Terminado este, se quedan inmóviles en el interior para contraerse gradualmente. Tras tres días, mudan la piel por última vez y aparece la crisálida, primero verde traslúcida y muy frágil, cuya cutícula de quitina se irá endureciendo con el paso de las horas hasta adquirir un color castaño rojizo. En este estadio ya se diferencian los sexos, apareciendo las fundas de las antenas muy grandes en la crisálida del macho (Figura 20g), mientras que en la de la hembra estas son más reducidas, entre otras características apreciables (Figura 20h). La crisálida permanecerá dentro del capullo, oculta a los predadores y aislada de la humedad y el frío gracias a la impermeabilidad de la cobertura de seda formada por dos capas de distinta densidad, con un acabado pulido en la cara interna.

Las crisálidas de la "graellsia" no soportan temperaturas por debajo de -8°C durante varios días consecutivos, y sucumben a -15°C tras 24 h., (Ylla i Ullastre, 1997). Procuran por ello ubicar los capullos en zonas algo soleadas y protegidas de las fuertes heladas, normalmente bajo los propios pinos. En este estadio son además muy vulnerables al ataque de hongos y numerosos macro y micropredadores. Desde hormigas, que consumen las crisálidas tras perforar los capullos, hasta los jabalíes, que hozan bajo los pinos buscando estos y otros pequeños bocados ricos en grasas (obs. pers.). Como único mecanismo de defensa se agitan dentro del capullo si se sienten molestadas, produciendo con el roce en la seda un sonido característico. El frío del invierno hace que la crisálida entre en diapausa hasta la siguiente primavera, cuando la gradual subida de las temperaturas activa de nuevo los mecanismos hormonales de metamorfosis. La mariposa se forma en pocas semanas, esperando para eclosionar al momento del día y las condiciones ambientales más adecuadas, generalmente una subida de temperaturas tras un moderado periodo de lluvias. No obstante, si ese año las condiciones climáticas no son propicias

debido a una primavera fría o bien a un invierno demasiado templado, que produce una diapausa corta, la formación y eclosión del imago puede suceder al segundo año (Ylla i Ullastre, 1997). De esta forma en todas las poblaciones siempre hay un reservorio de crisálidas latentes, en prevención de que algún factor ambiental o biológico elimine una elevada cantidad de imagos u orugas.

En condiciones de laboratorio, con temperaturas constantes y sin periodos de frío desencadenantes de la diapausa, los imagos pueden tardar hasta tres años en emerger, si bien entonces la mayor parte de las crisálidas acaban muriendo por desecación. Lo mismo sucede a las alcanzadas por fuertes heladas, la mayoría de las cuales muere antes de que nazcan los imagos (Ylla i Ullastre, 1997).

ECLOSIÓN DEL IMAGO

Tras abandonar el capullo, para lo cual este está dotado en el extremo anterior de un semi-orificio cerrado con hebras de seda orientadas hacia afuera, difícil de penetrar desde el exterior, el imago recién emergido rasga la abertura ayudado por unos espolones quitinosos situados en la base de las alas anteriores (Montoya-Moreno & Hernández-Alonso, 1974). Con las alas reducidas y lacias, el cuerpo aún húmedo y el abdomen desproporcionadamente largo, se las arregla para salir de entre la maraña de acículas y trepar al primer elemento que encuentra, como una rama caída o el propio tronco del pino. Una vez asegurada su posición, se cuelga ayudada por las uñas en forma de garfio de sus patas y comienza a expandir las alas bombeando hemolinfa y aire por las venas alares, de forma que la cutícula se va expandiendo junto a las nerviaciones, que actúan como armazones. Las alas alcanzan el tamaño definitivo en unos 15 minutos (Figura 21).

En esta fase, el imago mantiene las alas en forma de vela suspendidas sobre el eje del cuerpo para faciliti-



tar el flujo de sangre y aire desde el abdomen, que va decreciendo progresivamente en tamaño. Una vez totalmente estiradas y algo secas, pliega las alas a modo de tejado, en su característica posición de reposo, permaneciendo así inmóvil hasta el crepúsculo (Figuras 25a,b).

La mayor parte de los imagos emergen en las horas centrales del día, con el pico entre las 10 y las 12 h. UTC. De esta forma tienen tiempo de estirar y secar las alas, y dejar que la quitina de su exoesqueleto se endurezca. Llegado el crepúsculo, comienzan a hacer vibrar las alas con sus potentes músculos de vuelo para generar calor interno, necesario para despegar y mantener la actividad en el aire. Alcanzan de esa forma una temperatura corporal que oscila entre 26 y 30°C (Ylla i Ullastre, 1997), temperatura que se mantiene mediante el vuelo y se conserva gracias al eficiente aislamiento que proporciona la cobertura de escamas pilosas, largas y densas, que tapizan completamente el cuerpo de la mariposa. La temperatura de vuelo es normalmente superior a la ambiental y, lógicamente, a mayor temperatura externa menor será el tiempo que emplee la mariposa en estar dispuesta para elevarse.

En su primer vuelo los machos se dedican ya a la búsqueda de rastros químicos, mientras que las hembras sin fecundar suelen hacer un corto desplazamiento para posarse en un lugar seguro, normalmente la copa de un pino, donde esperan a la siguiente noche para comenzar a emitir la feromona sexual.

Ecología y etología del imago

FENOLOGÍA Y LONGEVIDAD

La época de vuelo de *A. isabelae* es amplia, dependiendo de factores como el clima anual y local, además de la altitud y exposición al sol de las laderas. Aunque el grueso de los imagos emerge escalonada-

mente en mayo y junio, con el pico de avivamientos a primeros de este último mes, coincidiendo con el de la floración de los pinos, en ciertos lugares todavía pueden volar en julio, o comenzar a emerger a finales de marzo, como se ha detectado que sucede algunos años en localidades del Prepirineo de Huesca situadas entre 900 y 1 000 m. (obs. pers.) Existen incluso registros en el mes de agosto en zonas elevadas del Pirineo (Ylla i Ullastre, 1997) y en los montes Universales (J.A. García Alamá, com. pers.).

Uno de los aspectos que más llaman la atención es el hecho de que los imagos de la "isabelina" no se alimentan. Como otros miembros de la familia Saturniidae, tienen su espiritrompa atrofiada y son incapaces de libar néctar de las flores o succionar otras sustancias orgánicas, como hacen buena parte de los lepidópteros. Su papel no es el de un polinizador nocturno, sino el de una nutritiva presa de la macrofauna insectívora.

La maquinaria muscular que mueve sus alas está alimentada por grasas y azúcares acumulados durante el estadio de oruga, sintetizados a partir de las acículas de los pinos, ricas en estos nutrientes. Tras la metamorfosis, el imago vuela gracias a esta reserva de combustible, almacenada en su mayor parte en el abdomen. Una vez agotada, muere en pocas horas. La vida adulta de la "graellsia" es corta por este motivo, además de por el considerable desgaste mecánico que sufre su organismo tras varias noches de frenética actividad reproductora.

Pero, aparte de los predadores, también interviene otro factor que hace que la longevidad de machos y hembras sea variable. En condiciones naturales, los adultos viven una media de 5,87 días los machos y 8,40 días las hembras, con un mínimo de 2 y máximo de 15 días para los machos, y de 3 y 16 días para las hembras (Ylla i Ullastre, 1997). En condiciones de cría

controlada, este rango se amplía considerablemente, habiéndose obtenido imagos que han llegado a vivir hasta 45 días mantenidos a temperaturas constantes en torno a 4°C (Ylla i Ullastre, 1997). En estas circunstancias el insecto permanece en estado de reposo continuo, sin consumir apenas energía.

La temperatura ambiental es por lo tanto un factor determinante en la longevidad. Los ensayos de laboratorio antes referidos han revelado que, a menor temperatura, más larga es la vida del imago, algo útil para una especie adaptada a los vaivenes del clima primaveral. Así, las "isabelinas" que emergen en periodos cálidos, con temperaturas nocturnas que no bajan de los 7-8°C, tienen una actividad casi diaria, aunque limitada a las primeras horas de la noche. En condiciones óptimas, con temperaturas por encima de 15°C, los imagos pueden estar activos desde el crepúsculo hasta altas horas de la madrugada, cuando las hembras fecundadas dispersan la puesta y los machos sin pareja, o que han concluido una primera cópula, continúan la búsqueda de rastros químicos.

En definitiva, los individuos que nacen en periodos cálidos de la primavera consumen rápidamente sus reservas y mueren pronto, mientras que los que encuentran periodos prolongados de frío al poco de emerger pueden reemprender la actividad tras muchos días en reposo, sin que esto les reste apenas tiempo vital.

EL VUELO

La corta y agitada vida imaginal de *A. isabelae* está únicamente centrada en la reproducción y en la huida de sus numerosos predadores. Para evitarlos, cuenta con una alta capacidad de vuelo, necesaria también para que los machos encuentren a las hembras y estas dispersen los huevos. Por otra parte, se ha comprobado que los machos afrontan vuelos dispersivos que les llevan a varias decenas de kilómetros de su lugar de origen, facilitando el flujo genético (Marí -Mena *et al.*, 2016).

Su vuelo es ágil, rápido y dotado a la vez de una notable precisión. Y también de elegancia en algunos momentos, cuando los machos atraídos por la feromona ralentizan su vuelo sobre los pinos (Figura 22). Sus largas y anchas colas actúan como timones y estabilizadores para volar entre las copas y sortear los múltiples obstáculos que encuentra siguiendo el rastro de las hembras. Recientemente (Barber *et al.*, 2015) se ha descubierto que las colas alares de otros saturnidos de similar morfología sirven para eludir el ataque de los murciélagos, ya que, al vibrar durante el vuelo, alteran el retorno de las ondas de ecolocación emitidas por estos micromamíferos, e interfieren además mecánicamente en el intento de atrapar al insecto del abdomen, frustrando así muchos ataques. En el caso de morder a la mariposa por una cola, esta se rompe, permitiendo a la "graellsia" escapar sin mayores



Figura 22. Macho volando en plena noche en busca del rastro de las hembras.

daños. Estos llamativos elementos alares son en consecuencia mucho más que un aparente adorno, cumpliendo funciones tanto defensivas como potenciadoras del mimetismo y aerodinámicas, resultando únicos entre las mariposas nocturnas europeas.

La hembra no necesita volar tanto como el macho, salvo para dispersar su puesta o intentar la colonización de pinares próximos, lo que hace en ocasiones impulsada por los vientos de tormentas y temporales. Está por ello menos expuesta a los predadores, aunque no exenta. Sus colas son más cortas y anchas en la base.

CONDUCTA REPRODUCTIVA

La cópula se desencadena de forma rápida una vez que el macho ha localizado a la hembra, que emite la feromona sexual desde la segunda noche después de nacer. Para ello, evagina una pequeña glándula de color verde situada en el extremo del abdomen, órgano que libera moléculas de la feromona para crear un invisible rastro químico transportado por el viento o la brisa. El rastro es buscado por los machos en vuelo, que peinan el aire mediante sus grandes antenas bipectinadas, extremadamente sensibles a mínimas concentraciones de la feromona, cuya pista siguen



Figura 23. Macho con las características propias de la forma *venirrupta*, en la que algunas venas aparecen incompletas o ausentes.



Figura 24. Detalle del ocelo de un macho, donde se aprecia el mosaico de escamas de diferentes colores que le otorgan su aspecto característico.

Las alas presentan los ápices anteriores y posteriores afilados y una mayor superficie, lo que les confiere una alta capacidad de penetración y empuje en el aire. El motivo es fácil de deducir al observar el voluminoso abdomen de las hembras jóvenes, cargado de huevos y una reserva de grasas con un peso específico importante. Un bocado codiciado por los predadores que debe ser preservado mediante un vuelo rápido y potente. En el caso del macho, sus ápices alares anteriores menos afilados y lateralmente algo lobulados, así como sus largas colas, le confieren precisión en las maniobras, facilitando la huida de los murciélagos y un certero aterrizaje junto a la hembra una vez localizada.

En definitiva, los factores reproductivo y predatorio han pulido a lo largo de la evolución las alas de la "isabela" para un vuelo eficiente y diversificado, adaptado a las necesidades biológicas del insecto y a las condiciones climáticas y ecofísicas del hábitat. A la vez, durante el día cumplen una importante función mimética y termoaislante, protegiendo a la mariposa en reposo de los predadores y los agentes climáticos.

desde distancias considerables hasta dar con la fuente emisora. El viento suave y la humedad relativa baja favorecen la dispersión y captación del rastro químico. No obstante, al ser una especie primaveral, se ha demostrado que este mecanismo de atracción funciona igualmente en condiciones ambientales muy diversas, incluso casi extremas (Ylla i Ullastre, 1997; Marí-Mena, 2013). En la literatura se indica que los machos pueden localizar a las hembras hasta a 3 km de distancia (Agenjo, 1967; Ylla i Ullastre, 1997; Morichon, *et al.*, 2014). En 2009 se hicieron ensayos con feromona sintética en el Prepirineo de Huesca, donde se liberaron 69 machos marcados, divididos en tres lotes, cada uno de los cuales fue llevado a un punto cardinal distinto, a distancias de 1,3 a 1,6 Km. De ellos, 5 machos alcanzaron la feromona, 3 desde la última distancia indicada, lo que viene a corroborar parcialmente los datos conocidos.

La duración del apareamiento es variable, dependiendo de factores como la temperatura ambiental y el tamaño de la hembra, durando entre 84 y 250 min (Ylla

i Ullastre, 1997). Las cópulas suceden casi en su totalidad en las primeras horas de la noche, con el máximo durante las dos primeras horas tras la puesta de sol, decreciendo a partir de la medianoche. Esto se explica porque las hembras empiezan a emitir la feromona durante el crepúsculo, momento en que los machos se activan y comienzan a buscar los rastros, de forma que la mayoría de hembras son localizadas y fecundadas rápidamente.

La cópula se prolonga durante buena parte de la noche, siendo raro que continúe hasta el amanecer. Durante este tiempo son muy vulnerables a los predadores arborícolas, ya que no pueden huir a plena luz mediante un vuelo en tándem (acopladas), como hacen las mariposas diurnas mientras se aparean.

Los machos pueden copular con más de una hembra si conservan suficiente energía tras el primer apareamiento. Sin embargo, las hembras sólo copulan una vez, siendo excepcional que se acoplen con dos machos distintos, salvo cuando el primero no ha conseguido fecundar todos los huevos o la cópula se ha interrumpido de forma accidental (Ylla i Ullastre, 1997).

FUNCIÓN CRÍPTICA Y DEFENSIVA DE LAS ALAS

La defensa críptica de las alas, activa cuando el insecto reposa durante el día sobre los pinos, está reforzada por la coloración del cuerpo y la postura adoptada. Lo que más llama la atención a quien se encuentra por primera vez con esta mariposa es su belleza y elegancia intrínsecas. Es habitual en estas circunstancias escuchar comentarios de que “parece pintada”, “sacada de una vidriera de Gaudí” o que “recuerda a las lámparas Tiffany”. Y es que, fuera del telón de fondo del pinar, el color verde esmeralda translúcido de sus alas, adornado de líneas rojizas y ocelos multicolores, con un cuerpo de peluche rematado por llamativas antenas plumosas en los machos, parecen responder más un diseño de *art déco* que una forma de camuflaje. Ciertamente, parece hecha para ser contemplada, y no para pasar desapercibida (Figura 25).

Aunque para la mirada humana un individuo de “graellsia” reposando en una rama de pino resulta casi invisible, para un ave insectívora desenmascarar insectos camuflados resulta relativamente sencillo, y más si estos son de gran tamaño. Para eludir a estos eficientes predadores, sus alas verdes y translúcidas se difuminan sobre la fronda de acículas, mientras que las líneas disruptivas rojizo-anaranjadas y blancas

de alas y cuerpo desdibujan el perfil de la mariposa, haciendo que se funda con la corteza del pino. Por si falla la estrategia críptica, cuenta con un sistema de defensa activa formado por cuatro ocelos con un centro translúcido a modo de pupila, cada uno de ellos centrado en un ala (Figura 24). Si algún predador se da cuenta de que tiene delante una presa, los ocelos actúan como elementos disuasorios a modo de ojos que miran y, en caso de desatarse el ataque, como dianas no vitales sobre las que dirigir picotazos o mordiscos (Figura 27b).

Un aspecto que se ha comprobado en la naturaleza (Masó i Planas & Ylla i Ullastre, 1989) es la capacidad de los imagos para complementar el efecto disuasorio de los ocelos mediante una postura de reposo invertida, unida a un movimiento brusco y repetitivo de las alas, similar al que ejecutan otras grandes mariposas nocturnas al sentirse descubiertas. En esta postura cabeza abajo, las colas se unen sobre el abdomen, mientras que las alas anteriores son proyectadas hacia adelante, haciendo que destaquen los ocelos posteriores. Orientadas hacia arriba, las colas alares se agitan al mover las alas, jugando un papel complementario de los ocelos hasta hace poco ignorado en la “isabelina”, aunque ya conocido en otras especies de mariposas. De alguna manera, así colocadas, las colas parecen los penachos sobre la cabeza de un ave en actitud agresiva, o los cuernos de un extraño animal. Para potenciales predadores, especialmente si estos son jóvenes e inexpertos, esta pantomima surte un efecto persuasivo suficiente para hacerlos desistir y buscar una presa menos inquietante (Figura 26).

PREDADORES

Evidentemente, una vez en el aire y durante la noche de nada sirve el camuflaje. Los murciélagos son los principales consumidores de adultos de *A. isabelae*, un bocado grande y apetecible, aunque probablemente no al alcance de todas las especies ibéricas de quirópteros con las que comparte hábitat. Los autores que han tratado el tema (Agenjo, 1967; Gómez-Bustillo & Fernández-Rubio, 1976; Montoya-Moreno & Hernández-Alonso, 1974; Viejo-Montesinos, 1992; Ylla i Ullastre, 1997;) hacen una referencia general a estos predadores pero, hasta ahora, no se han aportado datos fehacientes sobre las especies implicadas. A juzgar por la información bibliográfica existente, los comentarios de algunos especialistas en murciélagos consultados y varias observaciones personales, parece lógico pensar que sólo las especies forestales

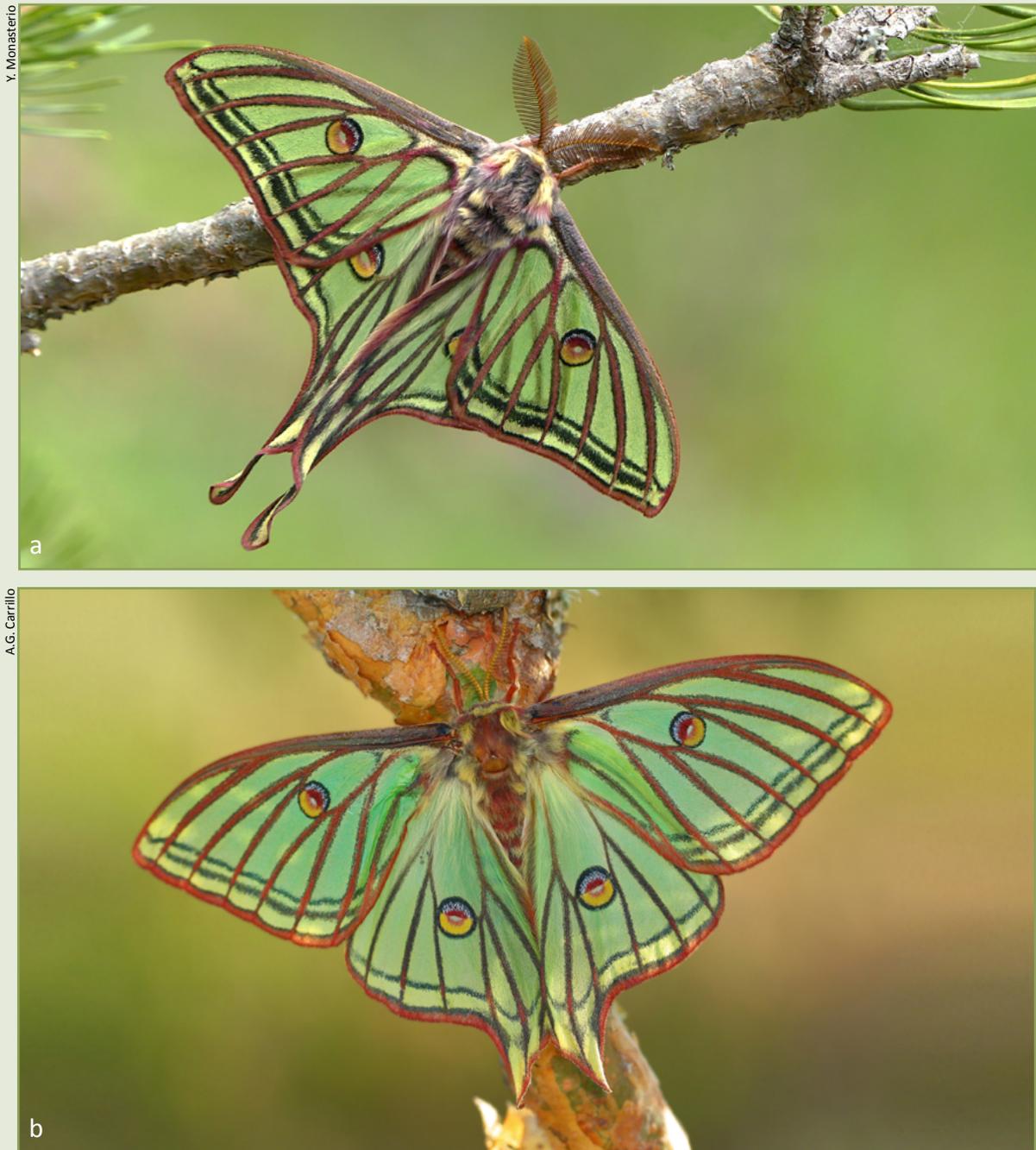


Figura 25. Imagos macho (a) y hembra (b) de *Actias isabellae*, correspondientes a la subespecie *isabellae*. Fotografiados en la sierra de Guadarrama

de tamaño medio o grande son capaces de dar alcance y sujetar a una presa tan vigorosa. Si lo hacen, la mayoría se verán obligadas a posarse para devorar su abdomen, como se verá más adelante.

En las áreas del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido (Huesca), donde abunda la “graelisia” en varias subpoblaciones (Marí-Mena, 2013), se han llevado a cabo inventarios de quirópteros en zonas coincidentes con la distribución de la especie. En ellos, se han identificado mediante radiotelemedría ultrasónica

y estimado el tamaño poblacional de las especies presentes, resultando comunes el murciélago de bosque (*Barbastrella barbastrella*) y el bicolor (*Vespertilius murinus*) (F. Carmena com. pers.). Es por tanto presumible que estos murciélagos sean predadores habituales de imagos en este sector del Pirineo central. Otro predador aéreo hasta ahora no reportado como tal es el chotacabras europeo o gris (*Caprimulgus europaeus*), común en el área ibérica durante la época de vuelo de la “Isabela”. Recién llegado de sus cuarteles de invernada africanos, esta ágil y silenciosa ave

nocturna, de considerable envergadura, parece encontrar en las poblaciones de *A. isabelae* un valioso recurso para recuperar parte de la energía consumida en el viaje. Según una observación personal hecha en el Prepirineo oscense en junio de 2014, los chotacabras intentan capturarlas durante el crepúsculo, y probablemente también de noche, a juzgar por cómo uno de ellos intentó atrapar, sin éxito, a un macho criado en cautividad que acababa de ser liberado, y que acabó refugiándose en un olmo cercano para huir del acoso del ave.

Son, por tanto, frecuentes los intentos fallidos de predación por parte de aves o murciélagos, intentos que causan desgarros en las alas tanto durante el reposo diurno como en el aire. Pero también las maniobras y quiebras entre las ramas de los pinos, o durante el intenso revoloteo alrededor de la hembra antes de la cópula, causan desperfectos alares y un desgaste mecánico considerable. A pesar de que muchos machos aparecen deteriorados tras tres o cuatro días de vida, con las colas rotas y patas amputadas o inmóviles, lo cierto es que no pierden el vigor, manteniendo su capacidad de vuelo aun faltándoles una porción importante de algún ala (Figura 27b).

Las aves insectívoras también cazan a las "graellsias" que descubren reposando, o cuando vuelan en pleno día asustadas por el acoso de otro predador. Se han citado al gorrión común (*Passer domesticus*) y sobre todo al petirrojo (*Erithacus rubecula*) como predadores de imagos en reposo o en vuelo diurno accidental (Masó i Planas & Ylla i Ullastre, 1989; Ylla i Ullastre, 1997). Es probable que otras muchas especies de aves, incluidas rapaces nocturnas fundamentalmente insectívoras, como el autillo, consuman imagos y orugas, sin que existan, no obstante, observaciones publicadas hasta el momento.

En cuanto a los mamíferos, se ha comprobado que los micromamíferos causan bajas a las pupas, royendo los capullos hasta acceder a su contenido (obs. pers.).

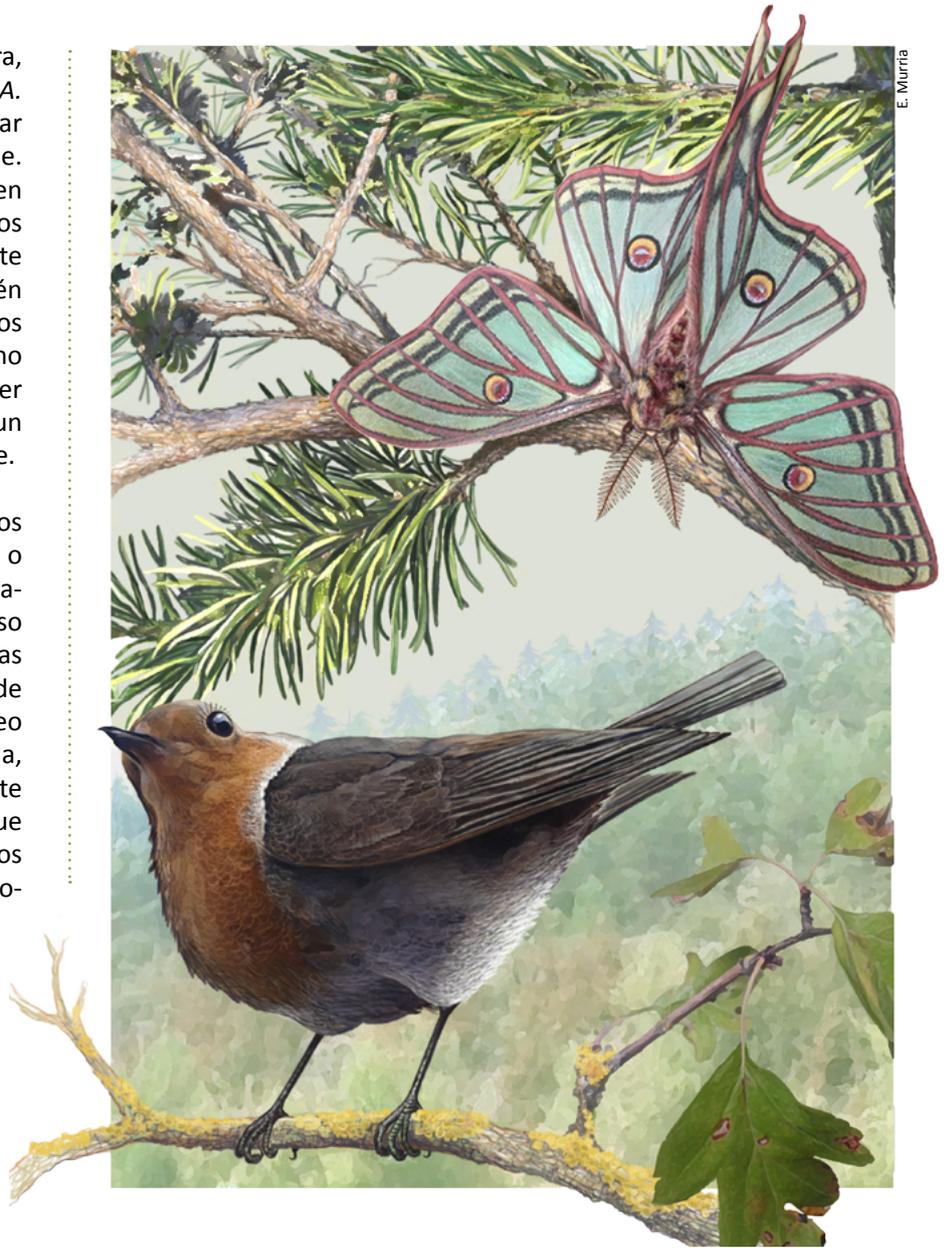


Figura 26. Actitud intimidatoria de un macho de "isabelina" en reposo invertido, adoptada ante la presencia de un petirrojo. Basado en una observación detallada en Masó i Planas & Ylla i Ullastre (1989).

Es también probable que macroroedores como lirones y ardillas devoren imagos y orugas, al igual que predadores ocasionalmente pinícolas e insectívoros, como garduñas y gatos monteses. Erizos y tejones también son candidatos a localizar y desenterrar los capullos gracias a su fino olfato, aunque, como para el resto de mamíferos terrestres, no se ha comprobado de forma fehaciente la incidencia real de estos y otros macropredadores en las poblaciones.

Parasitoides y agentes patógenos

Se conocen al menos seis especies de dípteros e himenópteros que parasitan a las orugas de *A. isabellae*, inyectando huevos en su interior, de forma que sus larvas devoran desde dentro a la oruga o, posteriormente, a la pupa. Se han citado como parasitoides en el área ibérica a los dípteros *Faonia signata*, *Argyrophylax inconspicua* y *Misicera sylvatica*, y a las avispas *Ichneumon sulphuripes*, *I. microstrictus* y *Pimpla robusta* (Agenjo, 1943; Gómez-Bustilo & Fernández-Rubio, 1976; Ylla i Ullastre, 1997).

Las bacterias, virus, hongos, protozoos y nematodos también provocan numerosas bajas en los estadios de oruga y crisálida. Entre las primeras, es habitual la mortandad en cautividad de orugas maduras atacadas por *Enterobacter cloacae* y *Klebsiella* spp. (Ylla i Ullastre, 1997). También se ha comprobado que las orugas son afectadas en los tratamientos contra la procesionaria en los que se ha utilizado *Bacillus thuringiensis*, que impide el correcto proceso de muda larvaria.

CEMENTERIOS DE "ISABELINAS": A medio camino entre el mito y la realidad

Durante la primera mitad del siglo pasado se mantuvo viva la leyenda de la existencia de un cementerio de *A. isabellae* en la provincia de Cuenca, un llamativo aspecto de la etología de la especie posteriormente recogido por lepidopterólogos como Agenjo (1967) o Viejo-Montesinos (1992). Los relatos de mediados del siglo pasado (Muelas, 1962), adornados con la prosa científica al uso, hablaban de cuevas con los suelos tapizados de, literalmente, millones de alas de "graell-sia", donde la luz filtrada desde la entrada teñía la

estancia de color esmeralda, dando a estos supuestos cementerios un aspecto encantado.

Los ingenieros forestales Ramón Montoya y Rodolfo Hernández dieron cuenta de la existencia de otros dos "cementerios" en la provincia de Teruel, donde las poblaciones de este lepidóptero son pujantes. Estos autores (Montoya-Moreno & Hernández-Alonso, 1974) pudieron comprobar que ciertas cuevas son usadas por los murciélagos como posaderos de alimentación, al no ser capaces de devorar en el aire presas tan grandes. Tras devorar el abdomen, las alas unidas a tórax se van acumulando en estos lugares, como describió Muelas (1962). Una explicación razonable y alejada del comportamiento auto-funerario que se les atribuyó en su momento, que llevó a comparar estos supuestos santuarios con los míticos cementerios de elefantes.



Figura 27. Ejemplares de *Actias isabellae* víctimas de la depredación.

a) Ala de un macho hallada en la cueva de los Griegos (Masegosa, Cuenca) tras haber sido desechada por un murciélago.

b) Macho víctima del ataque de un depredador durante el vuelo nocturno. Pese al desgarró que afecta prácticamente a la mitad de una de sus alas anteriores, es capaz de continuar volando.



Fig. 2.

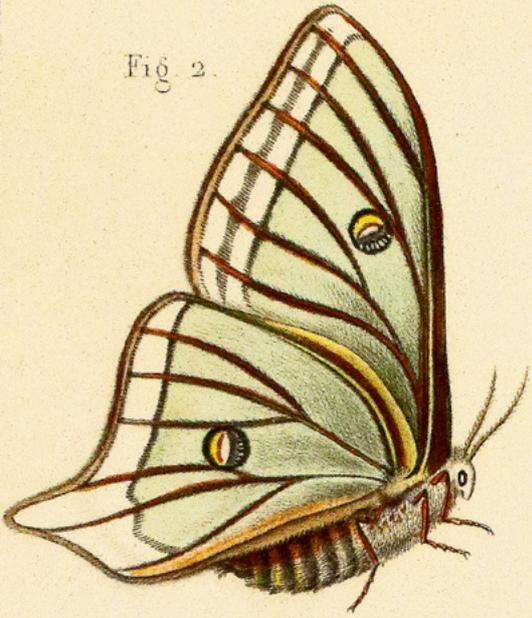


Fig. 1.

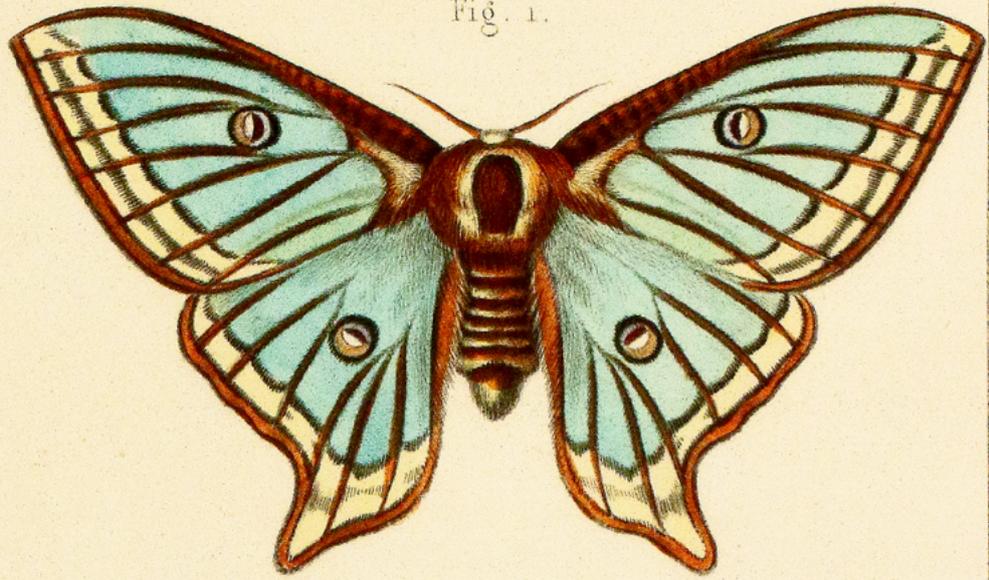
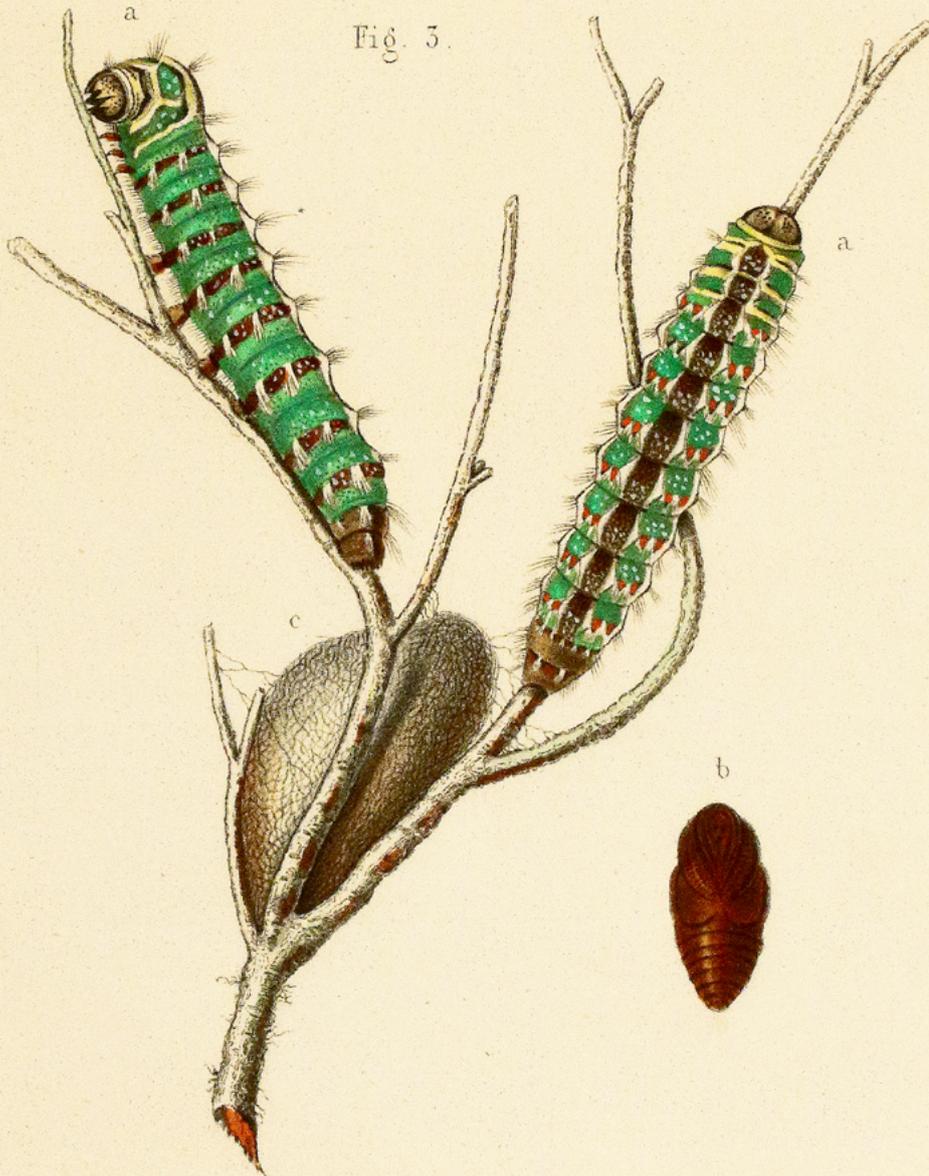


Fig. 3.



Distribución geográfica

El conocimiento de la distribución de una especie es necesario para evaluar el estado de conservación de sus poblaciones (van Swaay & Warren, 1999; García-Barros *et al.*, 2004), y más aún en el caso de *A. isabellae*, que se encuentra incluida en varios listados de protección tanto a nivel internacional, nacional o regional. También es importante para conocer las áreas de mayor concentración de la especie en sus correspondientes poblaciones (Williams *et al.*, 1996) y estudiar los cambios en su distribución a lo largo del tiempo (Asher *et al.*, 2001). Todo este tipo de datos recogidos por los estudios corológicos son necesarios para que científicos y técnicos de las administraciones públicas implicados en la conservación de las especies puedan aplicar medidas específicas adecuadas a cada población. Debido a toda esta información, actualmente la “graellsia” se encuentra citada como un recurso biológico más en varios planes de ordenación de los recursos naturales (PORN) y tenida en cuenta como un valor natural de gran importancia en varios espacios naturales protegidos. Otro dato relevante es la localización de nuevas áreas partiendo de mapas de distribución anteriores (García-Barros *et al.*, 2004).

La ampliación de la información de su distribución geográfica permite conocer nuevas localizaciones. Han sido muchos los estudios recientes que han ampliado la información biogeográfica en estos últimos años tanto en Francia y Suiza (Morichon *et al.*, 2014), como en España (Romo *et al.*, 2012; Marí-Mena *et al.*, 2016). También a nivel local, como en la localización más meridional de la especie, en sierra María (Almería) (Ibáñez-Gázquez *et al.*, 2008) o en el sistema Ibérico meridional, donde se ha ampliado sustancialmente la información y es una de las regiones con más registros a nivel nacional (Arce *et al.*, 2010; Sánchez & Arce, *en prensa*).

Al principio del conocimiento de la distribución de la especie lo habitual era la publicación de información sobre capturas sin concretar una coordenada UTM e indicando un paraje que, a menudo, era impreciso y daba lugar a confusión (Agenjo, 1967; Templado & Álvarez, 1975; Gómez de Aizpúrua, 1988). Más tarde algunos autores aportaron mapas a base de manchas (Gómez Bustillo & Fernández Rubio, 1976 o Viedma & Gómez Bustillo, 1985). Últimamente se han ido refinando los estudios sobre la corología de esta especie tanto a nivel nacional como internacional (Romo *et al.*, 2012; Marí-Mena *et al.*, 2016) y a nivel local (Monasterio & Escobés, 2012; Cifuentes *et al.*, 1993; Ibáñez Gázquez *et al.*, 2008; Arce *et al.*, 2010; Sánchez & Arce, *en prensa*) mediante mapas de distribución de cuadrículas UTM de 10x10 km. de lado, obteniéndose una información más detallada de dónde se localiza esta especie.

IZQUIERDA

Figura 28. Lámina publicada junto a la descripción de la especie en español.

Fuente: Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (1851).

Actualmente, debido al desarrollo de software de Sistemas de Información Geográfica (SIG), los estudios biogeográficos de esta especie se están realizando sobre cuadrículas de 10x10 km. de lado, tal y como se ha comentado anteriormente. Pero son muy pocos los que informan de una distribución de la "isabelina" en cuadrados UTM de 1x1 km. de lado (Arce *et al.*, 2010; Sánchez & Arce, *en prensa*). Los datos aportados por una cuadrícula UTM 1x1 tienen mayor relevancia, ya que aportan una mejor localización de la cita, así como datos más concretos para su posterior análisis mediante SIG. Permite también identificar mejor valores climáticos, altitudinales, geológicos o de distribución de su planta nutricia.

Además, los estudios biogeográficos y la tecnología de los SIG, permiten conocer si una especie se encuentra incluida dentro de un espacio natural protegido, tal y como se ha realizado con *A. isabelae* a nivel nacional (Romo *et al.*, 2012) y local (Arce *et al.*, 2010; Sánchez & Arce, *en prensa*). Es una información necesaria para los técnicos de la administración, asociaciones y científicos especializados en su conservación.

Por último, la "isabela" ha sido objeto de diversos estudios sobre el conocimiento de la distribución potencial mediante el uso de SIG y de modelos estadísticos. Los primeros estudios se realizaron a nivel nacional por Chefaoui & Lobo (2007, 2008) y posteriormente se realizó un estudio de su distribución potencial en Romo *et al.* (2014). Todos ellos sobre una base de in-

formación climática, geológica y de plantas nutricias de cuadrícula UTM de 10x10 km. de lado.

Asimismo, en Arce *et al.* (2010) se realizó un mapa predictivo de distribución en del sistema Ibérico meridional sobre una base de información corológica de cuadrícula UTM de 1x1 km. de lado, utilizando también variables de las plantas nutricias (*Pinus sylvestris* y *Pinus nigra* ssp. *salzmannii*), altitudinales, geológicas y climáticas. Estas herramientas cartográficas señalan nuevas posibles localizaciones desconocidas hasta el momento (Romo *et al.*, 2014), de forma que los recursos materiales y temporales de los investigadores pueden dirigirse hacia esas zonas, acotando el territorio a estudiar.

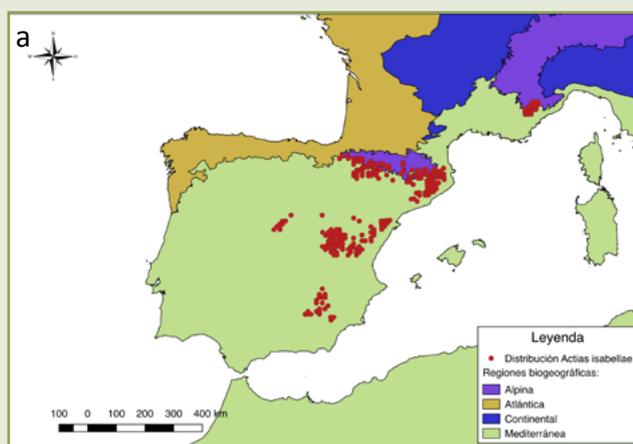
A continuación, se revisa la información sobre la distribución geográfica a nivel internacional y nacional, así como el conocimiento de su distribución potencial. Los mapas se han generado con el programa QGIS 2.14.

Distribución

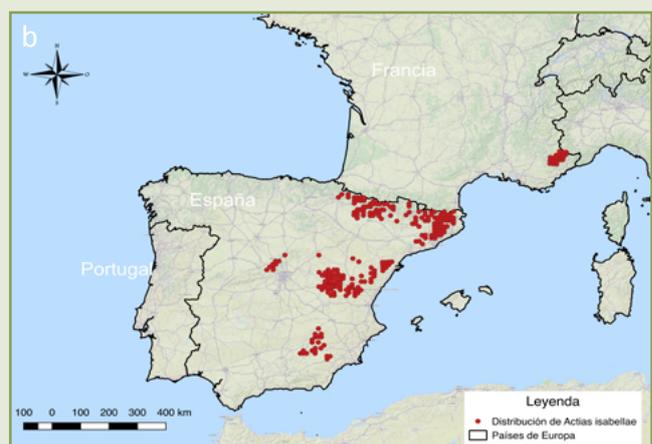
En Europa (distribución global)

La "graellsia" es un endemismo de Europa occidental. Se distribuye principalmente en las montañas de la mitad este de la península ibérica y en los Alpes Franceses (Marí-Mena *et al.*, 2016). De acuerdo con la figura 29a,

Figura 29. Distribución mundial de *Actias isabelae*.



a) Distribución mundial de *Actias isabelae*



b) Distribución europea de *Actias isabelae* con respecto a las regiones biogeográficas del oeste de Europa.

Población	Tipo de pino	Litología	Provincias
Montañas béticas	<i>P. nigra</i>	Básica	Jaén, Albacete, Murcia y Almería
Sistema Central	<i>P. sylvestris</i>	Ácida	Madrid, Segovia, Guadalajara y Ávila
Sistema Ibérico	<i>P. sylvestris</i> y <i>P. nigra</i>	Ácida y Básica	Cuenca, Teruel, Guadalajara, Castellón, Valencia y Tarragona
Este de Pirineos	<i>P. sylvestris</i> y <i>P. nigra</i>	Ácida y Básica	Barcelona, Lleida, Gerona
Oeste de Pirineos	<i>P. sylvestris</i> y <i>P. nigra</i>	Ácida y Básica	Navarra, Huesca y Zaragoza

Tabla 1. Variables seleccionadas para la elaboración del mapa potencial con los valores máximos y mínimos. Los datos de precipitación vienen en unidades de grados centígrados multiplicado por 10 ($^{\circ}\text{C} * 10$) y la precipitación viene indicada en milímetros (mm) (explicado en <http://www.worldclim.org/bioclim-aml>). Con * se indican las variables incluidas en Romo *et al.* (2014).

tiene una distribución biogeográfica dentro de las regiones mediterránea y alpina del Paleártico (Romo *et al.*, 2012). En la península ibérica, habita entre los pisos montano y oromediterráneo, teniendo un rango altitudinal que va desde los 95 (Masó & Willen, 1989; Masó i Planas & Ylla i Ulastre, 1989) hasta los 1 750 m.s.n.m. (Romo *et al.*, 2012; E. Murria, com. pers.).

Si se observan las figuras 29 y 30, la distribución conocida la “isabelina” está fragmentada y compuesta por una gran cantidad de pequeños núcleos de población. Actualmente se conocen seis sistemas montañosos donde se encuentra la especie a nivel europeo: montañas Béticas, sistema Ibérico, sistema Central, este de los Pirineos, oeste de los Pirineos y Alpes franco-suizos (Marí-Mena *et al.*, 2016). Incluye a los países de España, Andorra (una cita de una cuadrícula UTM de 10x10 km. de lado, limítrofe con España), Francia y Suiza (Pro Natura, 2005; Romo *et al.*, 2012). Las poblaciones se pueden considerar disyuntas entre ellas, ya que hay una gran distancia entre las mismas y no se puede hablar hasta el momento de contacto reproductivo entre las distintas poblaciones (Marí-Mena *et al.*, 2016).

Muchos autores han considerado la población de los Alpes Franceses como introducida a principios del s. XX, pero los estudios genéticos sugieren un origen autóctono (Marí-Mena *et al.* (2013, 2016). Por el contrario, las poblaciones suizas del *Canton du Valais*, no representadas en las figuras 29 y 30 parecen proceder

de introducciones intencionadas (Pro Natura, 2005; Marí-Mena *et al.*, en preparación).

En la Península

La distribución de *A. isabelae* se puede observar en la figura 30. Tal y como se ha comentado en el apartado 2.1, en la península ibérica hay 5 grupos de poblaciones de los 6 que ocupa en total en todo su territorio de distribución (Tabla 1). Tal y como se puede ver en las figuras 29 y 30, las poblaciones de “isabelina” aparecen en zonas de montaña con presencia de sus plantas nutricias. Existen tres poblaciones con abundante información corológica, la de sistema Ibérico y las dos de los Pirineos (Romo *et al.*, 2012). Cabe destacar las poblaciones de Cataluña y del este de Castilla La Mancha por el número de citas publicadas. Por el contrario, la población del sistema Central es muy escasa si se compara con el resto, ya que en esta zona existen menos registros. Asimismo, cabe destacar la variedad de ambientes en los que habita esta especie. Desde las zonas frías y húmedas de las montañas pirenaicas, del sistema Ibérico y del sistema Central, hasta las más cálidas y secas en la sierra de María, en Almería (Romo *et al.*, 2012).

Aunque la distribución de los Pirineos es discontinua, los análisis genéticos han encontrado indicios de que las poblaciones al este y oeste de los Pirineos podrían tener cierto contacto (ver capítulo de genética).



Figura 30. Distribución de *Actias isabelae* en la península ibérica. Adaptado de Marí-Mena *et al.* (2016).

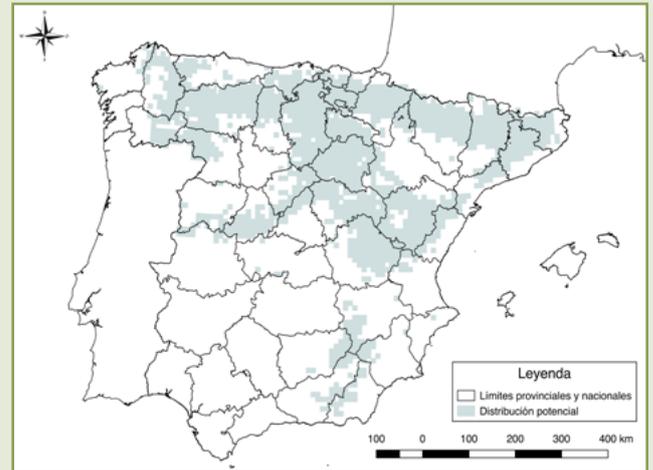


Figura 31. Distribución potencial de *Actias isabelae*.

Distribución potencial

Su distribución está relacionada con la presencia de sus dos plantas nutricias, los pinos salgareño o laricio (*P. nigra* ssp. *salzmanii*) y albar o silvestre (*P. sylvestris*) (Chefaoui & Lobo, 2007; Arce *et al.*, 2010; Sánchez & Arce, *en prensa*). Por lo tanto, un buen mapa de distribución potencial debe incluir estas dos variables. Se podrían incluir en el análisis otras especies de coníferas que también acepta como planta nutricia en laboratorio (ver apartado de biología) o *Pinus halepensis* (pino carrasco), que Ibáñez Gázquez *et al.* (2008) ha sugerido como posible huésped en Almería. Sin embargo, esto se ha descartado por no existir evidencia de que emplee esas especies en condiciones naturales. En Sánchez & Arce (*en prensa*) se han localizado dos poblaciones nuevas en la serranía de Cuenca donde predominan el pino carrasco y el resinero. Sin embargo, aunque de manera muy residual, aparecen también algunos pies de pino laricio. Algo similar podría estar ocurriendo en sierra María (Ibáñez Gázquez *et al.*, 2008). Asimismo, con respecto al pino negro (*Pinus uncinata*), el cual ha sido citado como planta nutricia por Masó & Ylla i Ullastre (1989), no se ha utilizado como variable de distribución de la especie en la elaboración del mapa potencial, ya que no hay confirmación hasta la fecha de su presencia en este tipo de pinares (Marta Vila com. pers.). Aclarar esto es una cuestión de gran interés para futuros estudios.

Otros datos importantes para la elaboración de mapas predictivos de distribución son las variables climá-

ticas (Chefaoui & Lobo, 2008; Romo *et al.*, 2014), tales como la precipitación anual, temperatura mínima y máxima anuales, etc. Así mismo se han utilizado otras variables ambientales como altitud, aridez, litología y pendiente, variables estadísticas y espaciales en cuadrículas UTM (Chefaoui & Lobo, 2008).

Para la elaboración del mapa de distribución potencial se han utilizado las siguientes variables:

- Distribución de sus plantas nutricias (pinos laricio y silvestre) (http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/mfe50_descargas_ccaa.aspx).
- Variables climáticas extraídas de worldclim (Hijmans *et al.*, 2005) y se han seleccionado según Romo *et al.* (2014) para *A. isabelae* (ver tabla 2).

Para la selección de los valores mínimos y máximos de las variables se ha solapado la distribución incluida en la figura 30 con las variables de *worldclim* indicadas en Romo *et al.* (2014) aumentándose en otras más para afinar en la distribución potencial.

Además, se ha tenido en cuenta la media de la altitud de la cuadrícula UTM de 10x10 km. (Hijmans *et al.*, 2005), para acotar más la distribución potencial, seleccionándose según la intersección de la información de la figura 30 y *worldclim*. Los valores mínimos fueron 169 y 1 875 m.s.n.m.



Finalmente, se ha usado la distribución de los pinos laricio y silvestre, obteniéndose el mapa potencial de la “graellsia” (Figura 31). Por lo tanto, para generar el mapa predictivo de distribución se han tenido en cuenta variables climáticas (Tabla 2) y posteriormente se ha recortado el mapa generado con la distribución geográfica de ambos pinos, obteniéndose el mapa de la figura 31.

El área resultante es muy amplia. En ella se aúnan las condiciones ambientales idóneas para este lepidóptero junto con la distribución de sus principales plantas nutricias. Se observa principalmente que en la mitad oeste de la Península hay hábitat potencial para que se pueda encontrar, pero actualmente no se conoce presencia de la misma.

Se realizaron dos muestreos para localizar nuevas poblaciones de *A. isabelae* en el pinar de Lillo (León), unos de los pinares de *P. sylvestris* más antiguos de la Península. Se empleó como atrayente la feromona de la misma y no se obtuvo ningún resultado (Marí-Mena, com. pers.). Además, existe hábitat adecuado en las estribaciones más hacia el oeste del sistema Central, así como en el sistema Bético, principalmente por la presencia de pino silvestre.

Si se compara la figura 31 con el mapa generado por Chefaoui & Lobo (2007), utilizando el modelo ENFA, en el que se analiza la disponibilidad del hábitat idóneo para la distribución de la especie (Hirzel *et al.*, 2004), se ha llegado a una gran similitud entre ambos, aunque este último sólo tuvo en consideración variables ambientales.

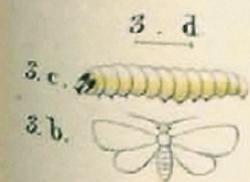
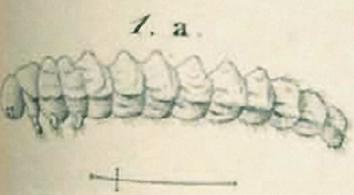
Discusión

A lo largo de los últimos años se ha realizado una importante ampliación de la distribución conocida de *A. isabelae*, así como de estudios sobre su conservación y destinados a conocer mejor la genética de sus poblaciones, todo ello debido a que se trata de una especie que está protegida en muchas comunidades autónomas y porque está considerada por muchos como uno de los lepidópteros de mayor belleza de Europa.

Un aspecto importante en su distribución geográfica es el hecho de que no se conozca ninguna población intermedia entre los Alpes Franceses y los Pirineos. En esta zona, conocida como el macizo Central francés, el hábitat y una de sus plantas nutricias (*P. sylvestris*) están presentes. Por ello, sería recomendable la realización de estudios dirigidos a dilucidar la ausencia de la “graellsia” en este sitio y conocer mejor su distribución corológica en Europa (Marta Vila, com. pers.). La elaboración de mapas en base a cuadrículas UTM de 10x10 km. resulta poco precisa, por el rango tan amplio de valores que incluye. El único caso de un mapa potencial de distribución para esta especie elaborado a partir de cuadrículas UTM de 1x1 km. se realizó a nivel regional en Arce *et al.* (2010) en el sistema Ibérico meridional. Se conjugó principalmente su distribución en cuadrículas 1x1 km., y la de sus dos plantas nutricias, con variables climáticas y altitudinales. Sobre la base de los resultados se pudieron obtener 13 nuevas cuadrículas UTM de 10x10 km. (Sánchez & Arce, *en prensa*), lo que suma un total de a 41 cuadrículas conocidas en la provincia de Cuenca.

Variable	Valor mínimo	Valor máximo
Temperatura del mes más cálido*	170,66	338,88
Media de la temperatura del trimestre más cálido*	112	250,22
Precipitación del mes más seco *	4,22	81,22
Temperatura media anual	41	163,22
Precipitación anual	398,66	286,22
Precipitación del trimestre más seco	42,16	269
Precipitación del trimestre más cálido	44,16	286,22

Tabla 2. Variables seleccionadas para la elaboración del mapa potencial con los valores máximos y mínimos. Con * se indican las variables incluidas en Romo *et al.* (2014).



Conservación y divulgación

Protección legal

Hace ya décadas que distintos autores señalaban la necesidad de proteger este lepidóptero. En el primer documento monográfico dedicado a la conservación de nuestras mariposas, el “Libro Rojo de los Lepidópteros Ibéricos” (Viedma & Bustillo, 1976), se refieren a ella como una especie “conocida a nivel universal”, “el endemismo más famoso de España” y “emblema de la lepidopterología española en general y de la fauna de lepidópteros forestales en particular”. En aquel documento se pedía su protección total.

De algún modo, parece que aquellas peticiones fueron atendidas, ya que ningún otro lepidóptero ibérico cuenta con tanta protección legal, salvo *Parnassius apollo*. El interés de su conservación afecta a los ámbitos internacional, nacional, regional y local (ver tabla 1).

Además de textos legislativos, se recoge como un valor natural de importancia en planes de gestión o en los Planes de Ordenación de los Recursos Naturales (PORN) de espacios naturales como la sierra de Guadarrama, sierra de Castril (Granada), sierra de Huétor (Granada), Parque Natural Posets-Maladeta (Huesca), mancomunidad de los valles Fago, Aísa y Borau (Huesca), sierra Norte de Guadaluja, Macizo de Penyagolosa (Castellón), Parque Natural del Alto Tajo (Guadaluja y Cuenca), Parque Natural de la Serranía de Cuenca, Zona de Especial Conservación (ZEC) “Sierra de San Miguel” (Navarra), ZEC “Sierra de Illón y Foz de Burgui” (Navarra), entre otros.

Pese a que su protección ha sido criticada en ocasiones por su abundancia a nivel local, los resultados de Marí-Mena (2013) basados en el estudio de la genética de conservación de esta especie sugieren que “*existen razones suficientes para su re-categorización en los catálogos españoles de fauna amenazada*”. Seguramente quien está acostumbrado a disfrutar de ella cada temporada, o quien vive en entornos donde su abundancia es relativamente alta, no evalúa en su justa medida su situación a nivel global.

España es el país que debe garantizar su supervivencia por abarcar gran parte de la diversidad genética de la especie, de modo que su legislación y políticas de conservación deben trabajar de una manera activa en ese camino.

IZQUIERDA

Figura 32. Lámina de la descripción del macho de la especie (Graells, 1858).

Fuente: Biblioteca Nacional.

Regional	Aragón	Catálogo de Especies Amenazadas en Aragón De interés especial Decreto 49/1995, de 28 de marzo
	Comunidad de Madrid	Catálogo Regional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres De interés especial Decreto 18/1992
	Castilla-La Mancha	Catálogo Regional de Especies amenazadas De interés especial Decreto 33/1998, de 5 de mayo.
	Andalucía	No se recoge en el Catálogo Andaluz de Especies Amenazadas, pero sí tiene un Régimen de Protección Especial, por estar incluida en el Listado Andaluz de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial (LAESPE) Decreto 23/2012, de 14 de febrero
	Cataluña	Incluida en la lista de "Especies protegidas de la fauna salvaje autóctona" Decreto Legislativo 2/2008, de 15 de abril (vigente hasta el 04 de agosto de 2017).
	Comunitat Valenciana	No la recoge en su normativa autonómica.
	Castilla y León	No la recoge en su normativa autonómica.
	Comunidad Foral de Navarra	No la recoge en su normativa autonómica
Nacional (España)	Catálogo Español de Especies Amenazadas	Ausente
	Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial	Real Decreto 139/2011, de 4 de febrero
Libros rojos	Atlas y Libro Rojo de los Invertebrados Amenazados de España	Especies Vulnerables: Vol I: Preocupación menor.
	Libro Rojo de los Invertebrados de España	No incluida
	Libro Rojo de los Lepidópteros Ibéricos	incluida en la categoría de "Endemismo (E)"
Francia	<i>Inventaire des insectes de France métropolitaine</i>	Vulnerable (V)
	<i>Liste des insectes protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection</i>	Article 3
Europa	Directiva 92/43 Habitats de la UE	Anexo II y V
	Directiva 97/62 Habitats de la UE.	Anexo II
	Convención de Berna	Anexo III
UICN	1988 - 1994	Vulnerable (V)
	Actualidad	Datos insuficientes
CITES	Romo <i>et al.</i> (2012) indican que se recoge en este convenio, pero en realidad no está incluida (CITES, 2016).	

Tabla 3. Textos de importancia para la conservación en los que se hace mención a *A. isabelae*.

Amenazas

A pesar de que aún no existen datos mínimamente válidos de su tendencia poblacional, las conversaciones con los distintos especialistas familiarizados con esta especie sugieren que sus poblaciones son estables en la mayor parte del territorio en la actualidad. Si bien son comunes los relatos de espectaculares repuntes de población observados en los montes Universales en los años 90 (Vicente-Arranz, García-Alamá, Murria com. pers.) y la convicción de que los pesticidas han contribuido a una mayor escasez en las últimas décadas. Romo *et al.* (2012) consideran que la Red Natura 2000 cubre de manera representativa sus poblaciones ibéricas, otorgándoles así cierto grado de protección. Sin embargo, Chefaoui & Lobo (2007) opinan que la conservación de los pinares situados en espacios naturales protegidos no es suficiente para preservar las poblaciones actuales. Consideran la necesidad de proteger también los hábitats periféricos con características propicias.

Frente a los numerosos agentes que influyen negativamente sobre ella, también hay que señalar que las repoblaciones de pinos silvestre y laricio durante las décadas posteriores a la guerra civil han supuesto que en muchas zonas haya ampliado notablemente su distribución. Entre otras zonas, esto es observable en el Prepireneo (Navarra, Zaragoza, Huesca) y sur del sistema Ibérico, donde zonas propias de quejigar y encinar húmedo cuentan hoy en día con una importante presencia de estas coníferas. Incluso en la capital turolese, donde ocupa parques urbanos y zonas recreativas y repoblaciones periurbanas (Murria, com. pers.). Las amenazas más señaladas en la bibliografía (Soria *et al.*, 1986; Viejo, 1990, Ylla i Ullastre, 1997; Sarto i Monteys & Masó, 2000, Chefaoui & Lobo, 2007; Romo *et al.*, 2012, entre otros) son las siguientes:

Pérdida o deterioro de hábitat

Es la principal amenaza de esta y de la gran mayoría de las especies y abarca distintos factores de gran impacto, principalmente de origen antrópico, como la explotación forestal, el urbanismo, el aislamiento poblacional o los incendios forestales. Este último aspecto es uno de los peligros más señalados por los distintos autores. Sin embargo, este factor tiene una importancia desigual entre las distintas poblaciones. Analizando los grandes incendios producidos entre 2001 y 2010 (Enríquez Alcalde *et al.*, 2012), estos afectaron a lugares

donde existen poblaciones de *A. isabellae* en Barcelona y en el norte de Tarragona, norte de Cuenca, norte de Guadalajara y sierra de Cazorla. Este factor parece muy poco relevante en el Pirineo navarro, oscense y catalán, donde no se produjeron grandes incendios en todo ese decenio en el área de distribución de la "graellsia". Tampoco en la zona de interés de la sierra de Guadarrama, seguramente debido tanto a su protección como Parque Natural (y actualmente también Nacional) como por la especial vigilancia prestada al "pino de Valsaín" (*P. sylvestris*), por su valor comercial.

Respecto al aislamiento, un factor que facilita la extinción de manera muy importante, existen algunas poblaciones que aparentemente carecen de conexión con los núcleos principales. Estas se sitúan en el norte de Guadalajara (citada de la localidad de Anguita, zona afectada por grandes fuegos, por lo que su persistencia pudiera haberse visto comprometida) y en el sistema Ibérico turolese, en torno a la sierra de la Fonfría. Estas serían prioritarias en cuanto a su estudio y conservación.

J.I. de Arce



Figura 33. Trampa instalada para el control biológico de *Thaumetopoea pityocampa* mediante feromona sexual. Un método completamente selectivo sin efectos secundarios para el medio.

El cambio climático también se espera que afecte negativamente a algunas poblaciones de esta mariposa, debido a los cambios esperados en la distribución de sus plantas nutricias, especialmente en la mitad sur de la Península (García-López & Camacho, 2010).

Tratamientos contra la procesionaria del pino

Desde 1977 (Robredo, 1980) y durante décadas, en España se han empleado tratamientos muy tóxicos para *A. isabelae* en particular y para la entomofauna en general, con el objetivo de combatir la procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa* -Denis & Schiffermüller, 1775-). El diflubenzurón o Dimilin®, un antiqutinizante, se ha administrado de forma masiva mediante avionetas, rociándolo mezclado con gasoil para prolongar su permanencia sobre las acículas del pino (Robredo, 1980; Ylla i Ullastre, 1997). Dado que la permanencia de las acículas sobre el árbol es de más de dos años (García del Barrio *et al.*, 1997), es fácil imaginar la afectación sobre la "isabelina", el resto de lepidópteros y otros artrópodos asociados al consumo directo o indirecto de las acículas de los pinos. Asimismo, este producto impregna el sotobosque y alcanza todo tipo de vegetación. No obstante, no conocemos estudios que hayan cuantificado esas consecuencias. Tan sólo se ha demostrado de manera fehaciente su efecto nefasto en las orugas de *A. isabelae* (Soria *et al.*, 1986; Ylla i Ullastre, 1997) y el hecho de que, tras el logro inicial de los objetivos, la procesionaria rápidamente se recupera en años posteriores, haciendo muy descompensada la relación costes-beneficios para la biodiversidad.

Iluminación artificial

Como otros muchos lepidópteros nocturnos, los imagos de ambos sexos son fuertemente atraídos por la luz artificial, especialmente si esta emite en la franja ultravioleta (Ylla i Ullastre, 1997). Este fuerte fototropismo hace que sean atraídos por las luces de pueblos, polígonos industriales, gasolineras, restaurantes de carretera, etc. y concentran en torno a ellos buena parte de la población. Exponen a muchos individuos a los depredadores, principalmente murciélagos y gatos, y a las pisadas de personas y vehículos. Además, consumen un valioso tiempo vital de los individuos atraídos, que ya permanecen el resto de la noche junto a la fuente lumínica sin poder cumplir su función reproductora. En buena medida ya se están sustituyendo las tradicionales bombillas de vapor de mercurio por otras de bajo consumo como algunos led o de vapor de sodio, menos atractivas para los insectos.

Comercio clandestino

Marí-Mena (2013) señala que el exceso de recolección fue la principal razón que motivó la protección de la "isabela" a nivel internacional. Desde poco tiempo después de su hallazgo, ha sido muy valorada por entomólogos y coleccionistas. En torno a 1900 se pagaba a 1 peseta el adulto y 6 reales la crisálida o 10 pesetas por una docena de huevos (ver capítulo de historia). En la década de los 70-80 los trabajadores de algunas gasolineras de Albarracín (Teruel) guardaban ejemplares que acudían a la luz y que vendían a los coleccionistas extranjeros hasta a 1 000 pesetas por ejemplar (E. Murria com. pers.). También en la actualidad se ofrecen ejemplares a través de Internet, en ocasiones a precios bastante elevados.

Una vez más, la educación ambiental es fundamental para que interioricemos el incomparable valor y belleza de su observación en la naturaleza, frente a los ejemplares naturalizados, y lo innecesario de su recolección. Existen, por supuesto, excepciones razonables en el marco de estudios científicos, programas de cría en cautividad o educación ambiental.

Recomendaciones

Programa de seguimiento/monitoreo

Es necesario ampliar la red de estaciones de monitoreo para esta especie, lo que requiere de la participación de las distintas comunidades autónomas implicadas. Al igual que ocurre con el resto de lepidópteros de vuelo nocturno, se carece de datos objetivos de sus tendencias poblacionales. Es algo imprescindible para la toma de decisiones relativas a su gestión y, más aún, estando incluida en la Directiva Hábitats. La carencia de información queda clara en el informe publicado por el MAGRAMA en 2012 (Romo *et al.*), al no existir información para gran parte de los ámbitos evaluados y en la categoría actualmente asignada por la UICN: "datos insuficientes (DD)".

Control de plagas

El uso inadecuado de pesticidas en el pasado para combatir la procesionaria del pino (*T. pityocampa*) ha supuesto un deterioro significativo de sus poblaciones. En la actualidad, teóricamente, los tratamientos se llevan a cabo de una manera menos agresiva, más puntual y

localizada en el tiempo. Por un lado, se han buscado métodos (como la fumigación con *Bacillus thuringiensis*) y periodos del año que no afecten al desarrollo de las orugas de *A. isabelae*. Sin embargo, las intervenciones (tanto con diflubenzurón, como con *B.t. var. kurstaki*, que son los más habitualmente empleados) afectan a otros lepidópteros que, incluso en invierno, se alimentan también de las acículas del pino.

En 2009, el Parlamento y el Consejo europeos prohibieron de forma general la pulverización de insecticidas, salvo en casos de especial necesidad. España lo recogió en el Real Decreto 1311/2012, de 14 de septiembre. Desde este momento las fumigaciones con este producto se han reducido, pero aún se producen. Andalucía, Baleares, Extremadura, País Vasco, Madrid y Murcia obtuvieron un permiso excepcional en 2015, aduciendo urgencia ante la “inviabilidad de tratamientos terrestres”, fumigando en conjunto 40 000 hectáreas. En ningún caso se realizó en lugares con presencia de *A. isabelae*. Hodar *et al.* (2012) proponen la puesta en marcha de una estrategia integral preventiva de manejo del hábitat buscando una mayor diversificación de la vegetación. Y es que la afectación de la procesionaria se espera que

se incremente con los años, debido al cambio climático. Frente a las fumigaciones con cualquier producto, que afectará en mayor o menor medida a los lepidópteros, recomendamos el uso de trampas de atracción mediante feromona sintética, que permite atraer exclusivamente a los machos de *T. pityocampa* (Figura 33). Por otro lado, como indican Romo *et al.* (2012), sería de gran interés la promoción de investigaciones que permitan hallar nuevas formas de control biológico. Finalmente, Arce *et al.* (2010) señalan la ausencia de estudios que evalúen el grado de competencia entre *T. pityocampa* y *A. isabelae*, ya que las defoliaciones podrían desplazar local y temporalmente a la “graellsia”.

Especie paraguas

Este concepto se emplea para taxones cuya conservación, favorecida por su vistosidad, atractivo y/o aceptación social, permiten de manera colateral la protección de otras muchas especies y del conjunto del ecosistema. Pocos animales se prestan con tanta facilidad a cumplir estos requisitos y esto debe aprovecharse para facilitar el trabajo de todas aquellas administraciones, entidades y personas que trabajan por la conservación de la naturaleza en España.

Implicación social

Una de las mejores maneras de lograr la conservación de esta mariposa es la implicación de las comunidades locales. Es bueno que los/las niños/as, especialmente los de localidades situadas dentro de su área de distribución, descubran desde pequeños su existencia e incluso que puedan conocerla sobre el terreno. Para ello desaconsejamos

completamente el uso de ejemplares naturalizados como recurso educativo, frente a su disfrute en vivo, en su medio natural. Tanto la administración como los educadores pueden favorecer la elaboración de unidades didácticas que contemplen esta mariposa como vehículo curricular para el aprendizaje de muchos conceptos de biología, como la metamorfosis, el mimetismo, las cadenas tróficas, etc.



Figura 34. Algunas actividades dirigidas a público familiar en 2016.

- a) Carlitos observa impresionado la belleza de un macho de “isabelina” en la sierra de Guadarrama.
- b) Entrega de premios a los mejores dibujos de la “Mariposa del Año 2016” en el Valle de Aranguren (Navarra) durante la inauguración de la primera micro-reserva de *Actias isabelae*.



Y. Monasterio

R. Escobés

Protección y conservación de los pinares de *Pinus sylvestris* y *Pinus nigra*

Especialmente de aquellos que permiten, por un lado, que exista continuidad entre las masas forestales para facilitar la colonización de nuevas áreas y el flujo genético entre subpoblaciones y, por el otro, limitar el aislamiento. Además, es importante el mantenimiento del equilibrio ecológico integral del ecosistema, evitando tanto como sea posible el uso de pesticidas, como se ha detallado en el punto anterior.

Creación de microrreservas

Estas sirven como lugar para su protección, conocimiento y observación. Las poblaciones más aisladas y también aquellas con mayor diversidad genética podrían ser las primeras candidatas. Marí-Mena (2013) señala que la población del Parque Natural de la Puebla de San Miguel (Valencia) es una de las que tienen mayor diversidad genética y, al mismo tiempo, puede verse amenazada por la configuración del bosque, que la sitúa en una posición de aislamiento, y por ser una zona de alto riesgo de incendios forestales. Estos enclaves poseen un gran potencial educativo, descubriendo a todo tipo de visitantes espontáneos una riqueza natural que a menudo les es desconocida.

Reintroducción

Chefaoui & Lobo (2007) proponen la reintroducción en hábitats potenciales, dado el éxito obtenido en algunas zonas de Francia a partir de 1922 y el carácter sedentario de las hembras (Ylla i Ullastre, 1997), que limita su capacidad expansiva. Existen amplias zonas con hábitat óptimo donde no se ha encontrado tras reiteradas búsquedas y nunca se ha observado que suponga ninguna amenaza como defoliador importante de los pinos. No obstante, esto tan solo podría hacerse tras un meditado estudio y con amplia planificación. Preferiblemente en zonas colindantes con su área de distribución o en zonas donde tuvo presencia histórica y actualmente no se encuentra. Y respetando siempre las características genéticas de las poblaciones autóctonas más próximas.

Plan de gestión

A pesar de que las competencias en la gestión del medio recaen en las comunidades autónomas, una

especie con una distribución disyunta y fragmentada como esta requiere la elaboración de un Plan de Gestión de ámbito nacional que establezca un plan de acción, unas prioridades y objetivos a corto, medio y largo plazo. Además, dada la existencia de distintas subespecies y la diferente casuística existente en los distintos territorios, sería de gran importancia la evaluación de cada una de las poblaciones por separado, estableciendo la categoría de amenaza de cada una. Para ello es imprescindible la coordinación entre las distintas administraciones. Esta hoja de ruta debería identificar las zonas que requieren protección para garantizar la supervivencia a largo plazo de sus poblaciones (Marí-Mena, 2013).

Iniciativas para su estudio, protección, conservación y divulgación

Históricas

Al margen de los numerosos escritos y trabajos de investigación básica que esta preciosa mariposa ha suscitado desde su descubrimiento (ya señalados en anteriores capítulos de esta monografía), queremos centrarnos en proyectos que destacaron por su carácter más conservacionista y de transmisión de su importancia.

Han existido diversas iniciativas de reproducción en cautividad con fines tanto de investigación como de conservación. En Orleans (Francia) se instaló un criadero por parte del *Institut National de la Recherche Agronomique* (INRA) que desde 1990 hasta 2011 ha permitido a los investigadores disponer de ejemplares para, entre otras cosas, haber logrado sintetizar la feromona de la hembra y producirla de manera sintética (Millar *et al.*, 2010). Esto ha supuesto una valiosa herramienta para conocer mucho mejor su distribución y genética en España, Francia y Suiza.



Figura 35. Placa Escudo heráldico del municipio de Peguerinos (Ávila), haciendo honor al hecho de que la "isabelina" fuera hallada en su término municipal.



Figura 36. Carlos Gómez de Aizpúrua trabajando en el insectario para la cría de *Actias isabelae* en Madrid.

Destaca sin duda el monumento conmemorativo que existe en el valle de Pinares Llanos, en la frontera entre Ávila y Madrid, junto a la localidad de Peguerinos y a la que puede accederse desde esta localidad, o desde los puertos del León y de Malagón, motivando la ya conocida como “ruta de la graellsia” o “ruta de la mariposa”, que cuenta con el aliciente de alcanzar este lugar. Se trata de una gran placa de bronce de aproximadamente 2x1 m inaugurada en 1973, aunque su estado de conservación lleve a pensar que se trata de algo mucho más moderno. No cuenta con ninguna inscripción y plasma la imagen de un macho de “isabelina” volando sobre los pinares de la zona. Es un merecido homenaje a esta mariposa que recuerda tanto a sus habitantes como a los visitantes el gran valor natural que habita en esta sierra (Figura 37).



Figura 37. Placa conmemorativa del descubrimiento de *Actias isabelae* en Peguerinos (Ávila).

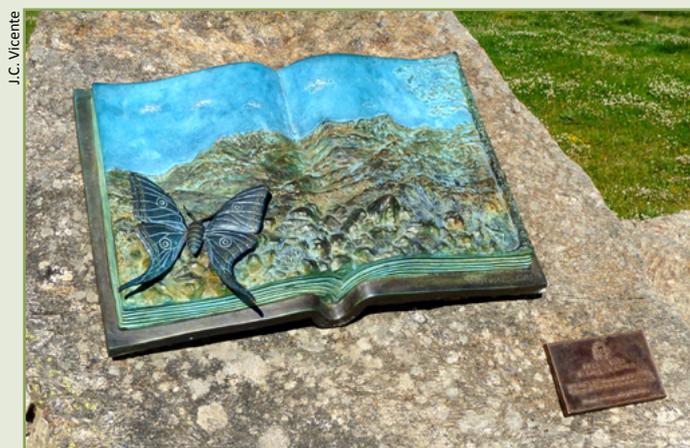


Figura 38. Placa en honor a la “graellsia”, dentro del Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama (Navacerrada) obra del escultor Cristobal Martín e inaugurada el 10 de julio del 2013 por los Príncipes de Asturias.

También cabe mencionar dos homenajes a la mariposa y a su descriptor. El primero de ellos se llevó a cabo en San Lorenzo del Escorial (Madrid), en el lugar donde estuvo la casa donde vivió algunos años D. Mariano de la Paz Graells y donde la crio en cautividad por primera vez. Allí, en agosto de 1991, con la asistencia de las autoridades de la localidad y con la asistencia del alcalde de la localidad riojana de Tricio se colocó una placa conmemorativa. Esta consiste en seis baldosas de cerámica de Talavera con el dibujo a color del macho y la hembra de nuestra protagonista (Figura 2). Más tarde, en 1996 se colocó una estatua en Tricio, la localidad natal de D. Mariano. Esta estatua muestra el busto del científico y también, en la parte inferior, de su inseparable perro Curicus, con quien -dicen- compartió el momento del descubrimiento (Figura 39). La efigie contaba también con una mariposa en la mano, pero esta ya no existe en la actualidad.

En el plano audiovisual, la Televisió de Catalunya (TV3), en su programa “Bèsties”, dedicó un capítulo a las mariposas, muy centrado en *A. isabelae*, recogiendo valiosas imágenes de su ciclo biológico. También en Telemadrid el programa “Guadarrama, biografía de un paisaje” emitió en mayo de 2015 un capítulo titulado “Leyenda de la *Graellsia isabelae*”, de casi una hora de duración. En Francia se filmó asimismo un largometraje dedicado a la “isabela”, titulada “Le Papillon” y dirigida por Philippe Muyl en 2002.

También la filatelia cuenta con varios sellos dedicados a ella. Los más reseñables los han emitido países como Francia (1980), Andorra (1987), España (2009), donde esta mariposa existe, pero también Rumanía (1991), Mozambique (1999), República de Palaos (2001), República Centroafricana (2012), Chad (2013), Malawi (2013) o Níger (2015), sorprendentemente. Su imagen ha aparecido también en diversos cromos, vitolas y billetes de lotería.

Finalmente, una de las revistas de zoología en general de mayor prestigio en España, fundada en 1943, fue denominada con el nombre de GRAELLSIA.

Actuales

En la actualidad la Asociación Española para la Protección de las Mariposas y su Medio ZERYNTHIA ha puesto en marcha diversos proyectos para el estudio, protección y divulgación de la importancia de este valioso lepidóptero. Desde 2011 se realiza un seguimiento en el Valle de Aranguren (Navarra), mediante muestreos nocturnos y la ayuda de una estación fija colocada en el Centro de Recuperación de Fauna Salvaje de Ilundain, con la colaboración del ayuntamiento local y el Gobierno de Navarra. De este modo es posible tomar datos interanuales y, con el tiempo, extraer conclusiones de su tendencia poblacional que nos permita conocer de manera objetiva su estado de conservación. En este mismo lugar de Navarra se inauguró en 2016 la primera microrreserva de la región y la pionera en España dedicada a un lepidóptero de actividad nocturna. Se trata de un espacio señalizado con un itinerario y un área protegida de aproximadamente 4 500 m². Es gestionada de manera activa para la conservación de las mariposas por parte del Exmo. Ayto. del Valle de Aranguren y ZERYNTHIA. Se trata de un claro en un pinar mixto de *P. sylvestris* autóctono y *P. nigra* repoblado hace ya décadas, donde no solo la “isabelina” encuentra un lugar idóneo, sino que apa-



Figura 39. Escultura de D. Mariano de la Paz Graells en su localidad natal, Tricio (La Rioja).

recen otras muchas mariposas de interés que el visitante puede disfrutar también durante el día, como *Phengaris arion* u “hormiguera de lunares”. En 2017, en el marco de las “V Jornadas Nacionales de Lepidopterología”, se inauguró un espacio para la observación y conservación de esta especie en la localidad de Peguerinos (Ávila, Castilla y León). En esta zona, donde D. Mariano de la Paz Graells halló el primer ejemplar en 1848, la puesta en marcha de este tipo de iniciativas resultaba imprescindible. Es tal el arraigo de esta mariposa en la localidad que cuenta en el escudo heráldico oficial con su imagen desde el 1998 (BOCYL 223/1998), algo único en toda España y muy poco habitual a nivel internacional (Figura 35).

Se han realizado varias actividades de educación ambiental en los últimos años para darla a conocer. Desde 2014 el “Ecomuseo de las Mariposas” (Huesca) y ZERYNTHIA, con el apoyo de varias entidades, llevan a cabo observaciones nocturnas en varias zonas. La elección en 2016 de *A. isabelae* como la “Mariposa del Año” (Figuras 34, 40 y 41) mediante votación popular supuso una iniciativa de gran resonancia y con unos resultados realmente interesantes. Desde ZERYNTHIA se ofreció la



posibilidad de observarla a toda persona interesada y de manera gratuita en distintas localizaciones de Navarra, Huesca, Ávila, Segovia, Valencia, Cuenca y Jaén. El gran número de asistentes que acudieron disfrutaron de su primer encuentro con ella en la mayor parte de estas salidas nocturnas, lo que supone una experiencia vital inolvidable para cualquier naturalista. Resultó una iniciativa con gran impacto mediático, tanto en la prensa escrita como audiovisual.

Discusión

La divulgación y la conservación siempre se necesitan mutuamente. Es imprescindible divulgar el valor de los recursos naturales si se pretende su protección. Más aún si se trata de un valor natural, difícil de cuantificar económicamente, como un insecto. Es importante explicar por qué se protege tanto legislativamente como físicamente un espacio natural o una especie. Esto permite no solo que se entienda, sino que nos hagamos partícipes, interioricemos este valor y nos impliquemos en el proceso a diferentes escalas (individual, municipal, etc.).

La gran belleza y tamaño de esta especie, apreciada por cualquier persona interesada en la naturaleza, la convierte en una valiosa herramienta para invitar a la gente a participar en su conservación. Su protección no debe consistir únicamente en la aplicación de sanciones ante eventos, por ejemplo, de capturas, sino que de manera principal debe entenderse como la necesidad de incen-



Figura 40 Cartel elaborado en el marco del proyecto “Mariposa del año”

tivar proyectos locales y regionales de estudio, conservación y disfrute respetuoso de ella y de su entorno.

Es una reflexión muy habitual el pensar qué tratamiento tendría una especie de estas características si se encontrara en países como el Reino Unido, Estados Unidos, Canadá u Holanda. Seguramente sería un icono nacional. Este es el objetivo que debemos lograr, poniendo también en España en valor aquellas especies (también invertebrados) que tenemos el privilegio de atesorar. Como emblema, la “graellsia” es, dentro del mundo de los insectos, el equivalente al urogallo o al linco ibérico. Una especie capaz de alegrar el día (la noche, en este caso) a cualquier amante de la naturaleza y con la que se pueden conseguir grandes logros.

Figura 41. A lo largo de 2016 se realizaron multitud de actividades por toda España para dar a conocer al gran público la importancia de la “graellsia”. En las imágenes, actividades en el Valle de Aranguren (Navarra) y en Peguerinos (Ávila).



Bibliografía

- ABÓS CASTEL, F. 1983. Nuevas formas de *Graellsia isabelae*. *SHILAP Revista de Lepidopterología*, 11:52.
- ADÈS D.; VUATTOUX, R. 2005. Hybridation en retour entre l'hybride mâle (*Graellsia isabellae galliaegloria* mâle x *Actias sinensis* femelle et *Actias sinensis* femelle (Lepidoptera, Saturniidae). 105° Année N° 4 Tome II. Lambillionea.
- ADÈS, D.; COCAULT, R.; LEMAÎTRE, R.; VUATTOUX, R.; ZAUN, R. 1993. Hybridation entre *Graellsia isabellae* Gräells mâle et *Actias selene* Hubner femelle. *Insectes*, 89:10-11.
- ADÈS, D.; COCAULT, R.; LEMAÎTRE, R.; VUATTOUX, R.; ZAUN, R. 2005. *Graellsia isabellae* (mâle) et *Actias artemis* (femelle), hybridation réussie. *Insectes*, 139:34-35.
- AFZAL-RAFII, Z.; DODD, R. 2007. Chloroplast DNA supports a hypothesis of glacial refugia over postglacial recolonization in disjunct populations of black pine (*Pinus nigra*) in Western Europe. *Molecular Ecology*, 16:723-36.
- AGENJO, R. 1943a. Biografía de D. Mariano de la Paz Graells Agüera. *Graellsia*. Tomo 1, nº 1: 7-21, lám, I-II.
- AGENJO, R. 1943b. Variabilidad de la *Graellsia isabellae* Graells (Lep. Syssphingidae). *Graellsia*, 11: 7-10.
- AGENJO, R. 1967. Historia de la *Graellsia isabellae* (Grlls.), la más bella mariposa europea. Boletín del Servicio de Plagas Forestales, 19: 35-42. ICONA, Madrid.
- ARAGÓN, S. 2006. Un relevo generacional en la historia natural española. Lagasca y Graells: Del científico liberal al naturalista isabelino. *Asclepio. Revista de Historia de la Medicina y de la Ciencia*. Vol. LVIII, nº2: 203-230.
- ARCE-CRESPO, J.I.; JIMÉNEZ-MENDOZA, S.; SÁNCHEZ-FERNÁNDEZ P. 2010. Recopilación de la información biogeográfica, análisis de patrones ecológicos, conservación y mapa potencial de *Graellsia isabellae* (Graells, 1849) (Lepidoptera, Saturniidae) en la provincia de Cuenca, España. *Graellsia*, 66(1): 9-20.
- ASHER, J.; WARREN, M.; FOX, R.; HARDING, P.; JEFFCOATE, G.; JEFFCOATE, S. 2001. *The Millenium atlas of butterflies in Britain and Ireland*. Oxford University Press. Oxford.
- BENITO-GARZÓN, M.; SÁNCHEZ DE DIOS, R.; SAINZ-OLLERO, H. 2007. Predictive modelling of tree species distributions on the Iberian Peninsula during the Last Glacial Maximum and Mid-Holocene. *Ecography*, 30:120-34.
- BENITO-GARZÓN, M.; SÁNCHEZ DE DIOS, R.; SAINZ-OLLERO, H. 2008. The evolution of the *Pinus sylvestris* L. area in the Iberian Peninsula from the last glacial maximum to 2100 under climate change. *Holocene*, 18:705-14.
- BOCYL 223/1998, de 19 de noviembre de 1998. Decreto 6 de octubre de 1998 de la Presidencia de la Diputación Provincial de Ávila, por la que se aprueba el Escudo Heráldico del Ayuntamiento de Peguerinos.
- BOULET-AUDET, M.; VOLLRATH, F.; HOLLAND, C. 2015. Identification and classification of silks using infrared spectroscopy. *Journal of Experimental Biology*, 218: 3138-3149.
- CEBALLOS, G. & AGENJO, R. 1943. Ensayo sobre *Graellsia isabellae* (Graells), el lepidóptero más bello de Europa (Lep. Syssph.). *EOS T. XIX. Cuaderno 4º*: 303-414, (lám. IV-X).
- CERVANTES, E. (Coord.); ARAGÓN, S.; BLANCO, P.; CARRASCO, M.A.; CASADO, S.; GALERA, A.; GOMIS, A.; GONZALEZ-ALCALDE, J.; GUTIERREZ, J.; IZQUIERDO, I.; MARCO, V.S.; MARTÍN-ALBADALEJO, C.; MORENO, F.; PEREA, D.; PÉREZ-MORENO, I.; SÁENZ DE CABEZÓN, F.J.; VALDES, S. 2009. *El naturalista en su siglo: homenaje a Mariano de la Paz Graells en el CC aniversario de su nacimiento*. 280 pp.
- CHEDDADI, R.; VENDRAMIN, G.G.; LITT, T.; FRANÇOIS, L.; KAGEYAMA, M.; LORENTZ, S.; LAURENT, J.M.; DE BEAULIEU, J.L.; SADORI, L.; JOST, A.; LUNT, D. 2006. Imprints of glacial refugia in the modern genetic diversity of *Pinus sylvestris*. *Global Ecology and Biogeography*, 15:271-282.
- CHEFAOUI, R.M; LOBO, J.M. 2007. Assessing the conservation status of an Iberian moth using pseudo-absences. *Journal of Wildlife Management*, 71, 8: 2507-2516.
- CHEFAOUI, R.M; LOBO, J.M. 2008. Assessing the effects of pseudo-absences on predictive distribution model performance. *Ecological modelling* 210: 478-486.
- CIFUENTES, M.; BORRUEL; M. PLAZA, B. 1993. Catálogo y atlas de los lepidópteros macroheteróceros de Navarra. Serie agraria 13. Gobierno de Navarra. 235 pp.
- CITES. 2016. Convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas de fauna y flora silvestres. Disponible On-line en: <https://cites.org/sites/default/files/eng/app/2016/S-Appendices-2016-03-10.pdf>
- Demerges, D. 2001. Cartographie des sites potentiels d'accueil dans les Pyrénées-Orientales d'un Lépidoptère protégé en France: *Actias isabellae* paradisea Marten (Lepidoptera : Attacidae). OPIE Languedoc-Roussillon. 16 pp.

Bibliografía

- EKBLÖM, R.; GALINDO, J. 2011. Applications of next generation sequencing in molecular ecology of non-model organisms. *Heredity*, 107:1-15.
- ENRÍQUEZ-ALCALDE, E.; DEL MORAL-VARGAS, L.; CUBO-MARÍA, J.; GALLAR PÉREZ-PASTOR, J.J.; JEMES-DÍAZ, V.; LÓPEZ-GARCÍA, M.; MATEO-DÍEZ, M.L.; MUÑOZ-CORREAL, A.; PARRA-ORGÁZ, P.J. 2012. *Los Incendios Forestales en España. Decenio 2001-2010*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 134 pp.
- ESPAÑA FORESTAL, 1918. Junio. Num. 38, pag. 77
- FERNÁNDEZ-VIDAL, E.H. (1992). Comentarios acerca de la distribución geográfica francesa y notas taxonómicas sobre *Graellsia isabelae* (Graells, 1849) (Lepidoptera: Saturniidae). *SHILAP Sociedad Hispano-Luso-Americana de Lepidopterología*, 20:29-49.
- FÖRSCHLER, M.; SENAR, J.; BORRAS, A.; CABRERA, J.; BJÖRKLUND, M. 2011. Gene flow and range expansion in a mountain-dwelling passerine with a fragmented distribution. *Journal of the Linnean Society of London*, 103:707-21.
- GARCÍA DEL BARRIO, J.M.; LÓPEZ ARIAS, M.; MORALES HERRAIZ, D. 1997. Producción y renovación de acículas en la cubierta arbórea de un pinar de *Pinus sylvestris* en la sierra de Guadarrama. Valsaín. (Segovia). *Conference: II Congreso Forestal Español, en Irati (Navarra)*. Tomo I pag. 325-330.
- GARCÍA LÓPEZ, J.M.; ALLUÉ CAMACHO, C. 2010. Effects of climate change on the distribution of *Pinus sylvestris* L. stands in Spain. A phytoclimatic approach to defining management alternatives. *Forest Systems*, 19: 329-339.
- GARCÍA-BARROS, E.; MUNGUIRA, M.L.; MARTÍN CANO, J.; ROMO BENITO, H.; GARCÍA PEREIRA, P.; MARAVALTHAS, E.S. 2004. *Atlas de las Mariposas diurnas de la Península Ibérica e Islas Baleares (Lep.: Papilionoidea & Hesperioidea)*: 228 pp. Ed. Sociedad Entomológica Aragonesa (SEA). Zaragoza.
- GÓMEZ DE AIZPÚRUA, C. 1988. Biología y morfología de las orugas. Lepidoptera. Saturniidae. *Boletín de Sanidad Vegetal*. Tomo VI: 248 pp.
- GÓMEZ-BUSTILLO, M. & FERNÁNDEZ-RUBIO, F. 1976. *Mariposas de la Península Ibérica*, Tomo III. *Heteróceros I*. ICONA, Ministerio de Agricultura, Madrid. 300 pp.
- GÓMEZ-BUSTILLO, M.; FERNÁNDEZ-RUBIO, F. 1974. Consideraciones sobre la planta nutricia de *Graellsia isabelae* (Grlls., 1849) y descripción de una nueva subsp. Española (Lep. Syssphingidae). *SHILAP Revista de Lepidopterología*, 2: 183-189.
- GÓMEZ-BUSTILLO, M.; GÓMEZ DE AIZPÚRUA, C.; FERNÁNDEZ-RUBIO, F. 1974. Una nueva subespecie de *Graellsia isabelae* (Graells, 1849), *SHILAP Revista de Lepidopterología*, 2: 67-72.
- GRAELLS, M.P. 1846. *Catálogo de los moluscos terrestres y de agua dulce observados en España y descripción y notas de algunas especies nuevas y poco conocidas del mismo país*. Madrid, 23 pp.
- GRAELLS, M.P. 1849. Description d'un lepidoptere nouveau de la tribu des Saturnides appatennant à la faune entomologique espagnole. *Revue et Magasin de Zoologie pure et appliquée*. Ser. 2, Vol.1: 601-602.
- GRAELLS, M.P. 1850. Description d'un lepidoptere nouveau de la tribu des Saturnides appatennant à la faune centrale de l'Espagne. *Ann. Soc. Ent. Fr.*, 8: 241-245, pl. VIII.
- GRAELLS, M.P. 1851. Descripción de algunos insectos nuevos, pertenecientes a la fauna central de España. *Mem. R. Acad. Cienc. Exact. Fis. Nat. Madr.* (Serie Ciencias Naturales), Vol. 1, nº2: 109-163, lám. VIII-X.
- GRAELLS, M.P. 1852. *Descripción de un lepidóptero nuevo perteneciente a la fauna central de España dedicado a S.M. las Reina Dña. Isabel II*. 3pp + 1 lámina. *Separata (Extracto del Tomo 1º, parte 2º, de la Colección de Memorias de la Real Academia de Ciencias de Madrid)* Imprenta Aguado. Madrid.
- GRAELLS, M.P. 1855. *Memoria de los trabajos verificados en el año 1853 por las diferentes secciones de la Comisión encargada de formar el Mapa Geológico de la provincia de Madrid y el General del Reino*. 71 pp.
- GRAELLS, M.P., 1858. *Memoria de los trabajos verificados en el año 1855 por las diferentes secciones de la Comisión encargada de formar el Mapa Geológico de la provincia de Madrid y el General del Reino*. 144 pp. Lámina V.
- GRAELLS, M.P. 1877. *Bulletin de la Société Entomologique de France*. Nº 16. *Seance du 22 Août 1877*. 181-182.
- GROTE, A.M. 1896. Die Saturniiden (Nachtpfauenaugen). *Mitth. Roemer-Mus. Hildesheim.*, 6: 1-30, 3 pl.
- GUILBOT, R. 1994. Insectes. En Maurin, H. & Keith, P. [Eds]. *Inventaire de la faune menacée en France.*, 123-149. Paris: *Muséum National d'Histoire Naturelle*, WWF, Nathan.

Bibliografía

- HIJMANS, R.J.; CAMERON, S.E.; PARRA, J.L.; JONES, P.G.; JARVIS, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.
- IBÁÑEZ GÁZQUEZ S.; NEVADO-ARIZA, J.C.; YLLA ULLASTRE J. 2008. *Graellsia isabelae* (Graells, 1849), una nueva especie para la fauna lepidopterológica de Almería (España) (Lepidoptera: Saturniidae). *SHILAP Revista de Lepidopterología*, 36:427-30.
- KARSHOLT, O. & NIEUKERKEN, E.J. (2013) Lepidoptera, Moths. Fauna Europaea version 2.6.2, <http://www.fauna-eur.org>
- MARÍ-MENA, N. 2013. *Conservation genetics of the protected moth Graellsia isabellae* (Lepidoptera: Saturniidae). PhD Doctoral Thesis. Departamento de Biología Molecular, Universidad de A Coruña. 248 pp.
- MARÍ-MENA, N.; LOPEZ-VAAMONDE, C.; NAVEIRA, H.; AUGER-ROZENBERG, M.A.; VILA, M. 2016. Phylogeography of the Spanish Moon Moth *Graellsia isabellae* (Lepidoptera, Saturniidae). *BMC Evolutionary Biology*, 16:139.
- MASÓ I PLANAS, A. & YLLA I ULLASTRE, J., 1989. Consideraciones sobre la ecología, comportamiento, alimentación y biogeografía de *Graellsia isabelae* (Graells) (Lep. Saturniidae). *SHILAP Revista de Lepidopterología*, 17 (65): 45-60.
- MASÓ, A. & RIBES, E. 1989. Observación fotográfica de la morfología de *Graellsia isabelae* (Insecta: Lepidoptera). *Imagen Científica*, 1(1): 29-34.
- MASÓ, A. & WILLIEN, P. 1989. Biogéographie de *Graellsia isabelae* Graells (Saturniidae). *Nota Lepid.* (Supl. 12) 1: 49-51.
- MEDIAVILLA-MARTIN, B. 2010. *Inventario de Documentos Real Biblioteca del Escorial (1560-1885) 2ª parte*. Real Monasterio del Escorial, Madrid.
- MILLAR, J.G.; MCELFFRESH, J.S.; ROMERO, C.; LÓPEZ-VAAMONDE, C. 2010. Identification of the Sex Pheromone of a Protected Species, the Spanish Moon Moth *Graellsia isabellae*. *Journal of Chemical Ecology* 36(9): 923-32.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO. 2011. Real Decreto 139/2011 para el desarrollo del Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y del Catálogo Español de Especies Amenazadas. *Boletín Oficial del Estado*, 46:20912-20951.
- MONASTERIO, Y.; ESCOBÉS, R. 2013. Mariposas del Valle de Aranguren (Navarra) / Aranguren Ibarreko tximeletak (Nafarroa). Ayuntamiento del Valle de Aranguren/Aranguren Ibarreko Udala. 189 pp.
- MONTOYA-MORENO, R. & HERNÁNDEZ-ALONSO, R. 1974. *Graellsia isabelae*. *Vida Silvestre*, nº 12: 207-220. ICONA, Madrid.
- MORICHON, D.; ALEXIS, B.; CÉLINE, Q.; LÓPEZ-VAAMONDE, C. 2014. *Recherche de l'Isabelle, Graellsia isabellae (Graells, 1849), en Pyrénées Orientales et dans les réserves naturelles catalanes*. Fédération des réserves naturelles catalane (Prades) & Inra d'Orléans, unité de recherche Zoologie forestière. 12 pp.
- MUELAS, F. 1962. Sorpresa de España. Primer encuentro: 99-101. E. Aguado Ed., Madrid.
- OBERTHÜR, C. 1923a. Découverte en France, dans les Hautes Alpes, par le Docteur Cleu, de la *Saturnia* (*Graellsia isabellae*) Graells. *Et. de Lépid. Comp.* - t. XX, págs. 174-179.
- OBERTHÜR, C. 1923b. La *Graellsia galliaegloria* Obthr. *L'Amateur de Papillons*, t.I núm 15, págs. 238-239.
- OEHLKE, B. 2015. World's Largest Saturniidae Site. www.silkmoths.bizland.com
- PERIÓDICO ALREDEDOR DEL MUNDO. 1903, nº 254, p. 235.
- PRO NATURA. 2005. Les papillons et leurs biotopes: espèces, dangers qui les menacent, protection. Volume 3. (eds. Bâle), pp. 392-395. *Ligue suisse pour la protection de la nature*, Switzerland.
- RÁBANO, I. y ARAGÓN, S. 2007. Nuevos datos históricos sobre la Comisión del Mapa Geológico de España. *Boletín Geológico y Minero*, 118 (4): 813-826.
- ROBREDO, F. 1980. Tratamientos masivos con diflubensurón contra la procesionaria del pino en España. *Bol. Serv. Plag. For.*, vol. 6, nº 2, pp: 141-154.
- ROIRON, P.; CHABAL, L.; FIGUEIRAL, I.; TERRAL, J.; ALI, A.A. 2013. Palaeobiogeography of *Pinus nigra* Arn. subsp *salzmannii* (Dunal) Franco in the north-western Mediterranean Basin: a review based on macroremains. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 194:1-11.

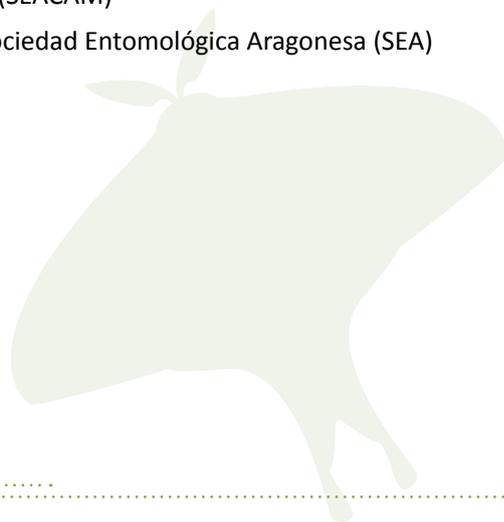
Bibliografía

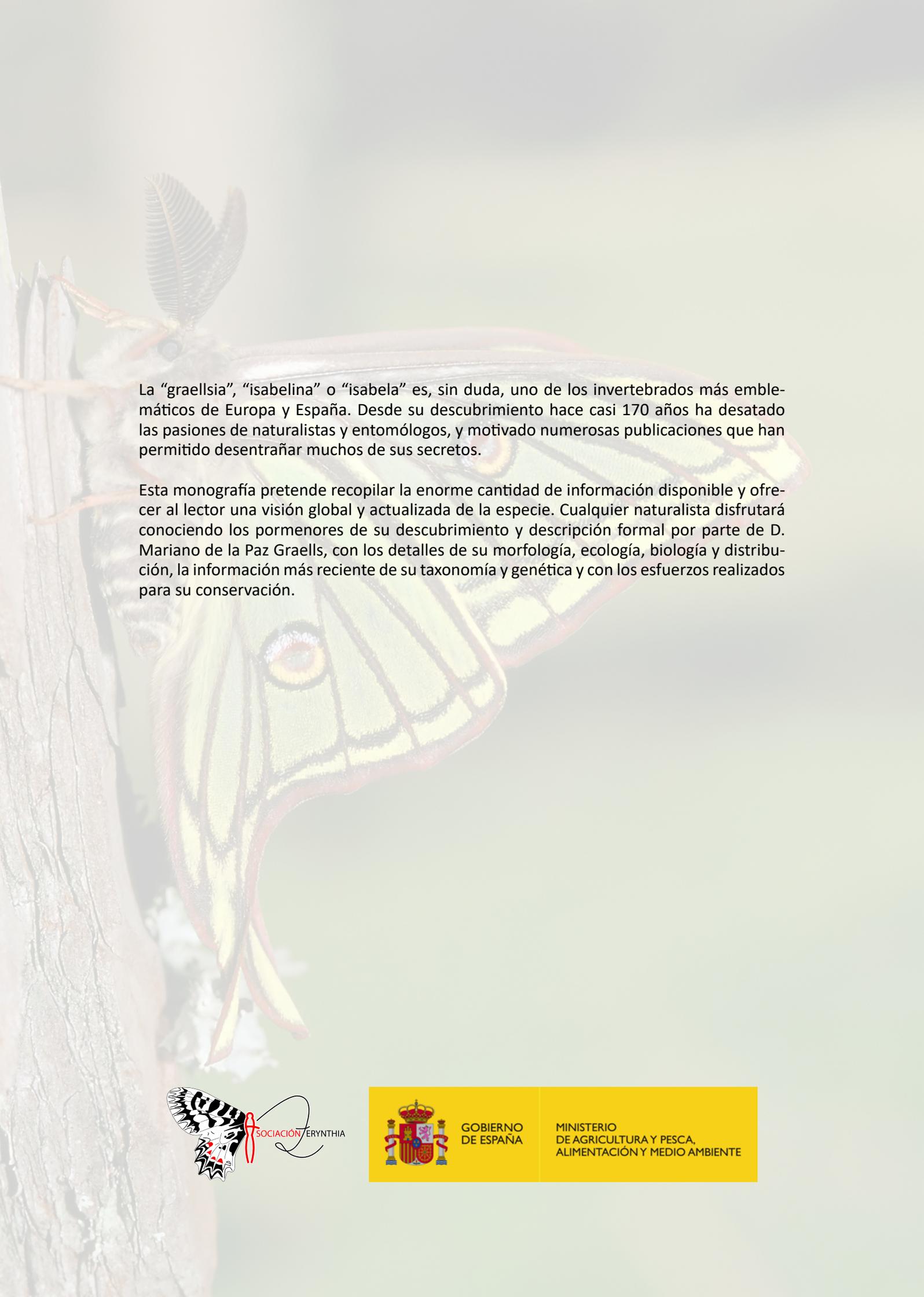
- ROMO, H.; CAMERO, E.; GARCÍA-BARROS, E.; MUNGUIRA, M.; MARTÍN-CANO, J. 2014. Recorded and potential distributions on the Iberian peninsula of species of Lepidoptera listed in the Habitats Directive *European Journal of Entomology*, 111(3): 407–415.
- ROMO, H.; GARCÍA-BARROS, E.; MARTÍN CANO, J.; YLLA, J.; LÓPEZ, M. 2012. *Graellsia isabelae*. En: VV.AA., *Bases ecológicas preliminares para la conservación de las especies de interés comunitario en España: Invertebrados*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid. 53 pp.
- SÁNCHEZ-FERNÁNDEZ, P. & ARCE-CRESPO, J.I. *En prensa*. Revisión de la distribución biogeográfica, alimentación, patrones ecológicos y estatus de conservación de la mariposa protegida *Graellsia isabellae* (Graells, 1849) (Lepidoptera, Saturniidae) en la provincia de Cuenca, España. *Shilap Revta. Lepid.*
- SARTO I MONTEYS, V. & MASÓ, A. 2000. *Graellsia isabelae* (Graells, 1849): 83-87; 162-165; fig. pag. 205. En: Galante, E. & Verdú, J.R. (ed.): *Los artrópodos de la directiva Hábitat en España*. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente.
- SORIA, S.; ABÓS F.; MARTÍN E. 1988. Influencia de los tratamientos con Diflubenzuron ODC 45% sobre pinares en las poblaciones de *Graellsia isabelae* (Graells) (Lep. Sysphingidae) y reseña de su biología. In: Estudios sobre los tratamientos forestales con Diflubenzuron y su incidencia sobre la fauna, F. Robredo ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación-ICONA, *Serie Técnica*, 4: 93-118. Madrid.
- TEMPLADO, J. & ÁLVAREZ, J. 1975. *Graellsia isabelae*, satúrnido endémico de España. *Boletín Servicio de Plagas*, 1: 83-87.
- VAN-SWAAY, C. & WARREN, M. 1999. *Red data book of European butterflies (Rhopalocera)*. Council of Europe. Strasbourg. 260 pp.
- VERDÚ, J.R. & GALANTE, E. (eds.). 2006. *Libro Rojo de los Invertebrados de España*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Madrid. 267 pp.
- VERDÚ, J.R.; NUMA, C.; GALANTE, E. 2011. *Atlas y Libro Rojo de los Invertebrados Amenazados de España (Especies Vulnerables): Vol. I*. Dirección General de Medio Natural y Política Forestal, Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. Madrid. 1 318 pp.
- VIEDMA, M.G. & GÓMEZ-BUSTILLO, M.R. 1976. *Libro rojo de los lepidópteros ibéricos*. Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza (ICONA). Ministerio de Agricultura.
- VIEDMA, M.G. DE & GÓMEZ-BUSTILLO, M.R. 1985. *Revisión del Libro Rojo de los Lepidópteros Ibéricos*. Monografías 42. ICONA, Madrid. 77 pp. 3 lám.
- VIEJO-MONTESINOS, J. L. 1992. Graells y la Graellsia. Biografía de un naturalista y biología del lepidóptero por él descrito. *Quercus*, cuaderno 74; 24-30. Madrid.
- VIEJO-MONTESINOS, J.L. 1990. La conservación de los insectos. *Quercus*, n. 48: 6-12.
- VIVES-MORENO, A. 2014. *Catálogo Sistemático y Sinonímico de los Lepidoptera de la Península Ibérica, de Ceuta, de Melilla y de las Islas Azores, Baleares, Canarias, Madeira y Salvajes (Insecta: Lepidoptera)*. Suplemento de SHILAP Revista de lepidopterología. 1184 pp.
- VUATTOUX, R.; ADÈS, D.; LEMAÎTRE, R.; COCAULT, R. 2001. Hybridation entre *Graellsia isabelae* (Graells) mâle et *Actias isis* (Sonthonnax) femelle (Lépidoptères, Saturniidés). *Insectes*, 123:17-18.
- WILLIAMS, P.H.; PRANCE, G.T.; HUMPHRIES, C.J.; EDWARDS, K.S. 1996. Promise and problems in applying quantitative complementary areas for representing the diversity of some neotropical plants (families Dichapetalaceae, Lecythidaceae, Caryocaraceae, Chrysobalanaceae and Proteaceae). *Biological Journal of the Linnean Society*, 58: 125-157.
- WORLD CONSERVATION MONITORING CENTRE. 1996. *Graellsia isabelae*. The IUCN Red List of Threatened Species 1996: e.T9427A12986143. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.1996.RLTS.T9427A12986143.en>. Downloaded on 25 October 2016.
- YLLA I ULLASTRE, J. 1997. *Historia natural del lepidòpter Graellsia isabelae (Graells, 1849)*. Tesis doctoral, 232 pp. Institut d'Estudis Catalans, Barcelona.
- YLLA I ULLASTRE, J.; PEIGLER, R.S.; KAWAHARA, A.Y. 2005. Cladistic analysis of moon moths using morphology, molecules, and behaviour: *Actias* Leach, 1815; *Argema* Wallengren, 1858; *Graellsia* Grote, 1896 (Lepidoptera: Saturniidae). *SHILAP Revista de Lepidopterología*, 33, 299–317.

Agradecimientos

Queremos agradecer su inestimable ayuda a todas aquellas personas e instituciones que de una u otra forma han ayudado a hacer posible esta publicación.

- Alberto Jiménez Valverde (Madrid)
- Ara Murria Artigot (Aineto, Huesca)
- Beatriz Parra Arjona (Madrid)
- Carlos Gómez de Aizpúrua (Madrid)
- Carlos Lopez Vaamonde (Francia)
- Carolina Martín Albadalejo (Madrid)
- Cristina de Inza Muñóz (Madrid)
- Daniel García López (Madrid)
- Eduardo Viñuales Cobos (Zaragoza)
- Emilio Cervantes (Salamanca)
- Esther Barrado Jiménez (Madrid)
- Fernando Carmena Flores (Huesca)
- Guiomar Santamaría (Navarra)
- Ignacio Gómez Pellicer (Zaragoza)
- Iosu Antón Lázaro (Navarra)
- Javier Puente Cabeza, (Huesca)
- Jose Ángel Marínez (Cuenca)
- José Antonio García Alamá (Valencia)
- José García Carrillo (Madrid)
- José Luis Yela (Toledo)
- Julieta de Pedro de Inza (Madrid)
- Kike Vergara (Navarra)
- Kristian Leahy Brajnovic (Madrid)
- Luis Castrillo Tejedor (Cuenca)
- María del Mar López Ildefonso (Madrid)
- Marta Vila (A Coruña)
- Mónica Verges Alonso (Madrid)
- Oscar Moreno Iriondo (Soria)
- Pilar Marín Lasanta (Logroño)
- Ricardo Gómez Calmaestra (Madrid)
- Robert Thompson (Irlanda)
- Robert Vuattoux (Francia)
- Roger Vila Ujaldón (Barcelona)
- Rosa Chefaoui (Portugal)
- Centro Nacional de Educación Ambiental (CENEAM)
- Ecomuseo de las Mariposas (Aineto, Huesca)
- Exma. Diputación de Cuenca
- Exmo. Ayuntamiento de Peguerinos (Ávila)
- Exmo. Ayuntamiento de Uña (Cuenca)
- Exmo. Ayuntamiento del Valle de Aranguren (Navarra)
- Fundación para la Conservación del Quebrantahuesos, FCQ
- Gobierno de Aragón
- Gobierno de Navarra
- Institut de la Recherche Agronomique INRA (Francia)
- Instituto Aragonés de Gestión Ambiental INAGA
- Junta de Castilla y León
- LammergierFonds (Holanda)
- Mariposario de Benalmádena (Málaga)
- Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN)
- Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido
- Parque Natural de la Serranía de Cuenca
- Parque Natural de las sierras de Cazorla, Segura y las Villas
- Parque Natural y Parque Nacional de la sierra de Guadarrama
- Patrimonio Nacional. Biblioteca Real Monasterio del Escorial
- Real Biblioteca del Escorial y Biblioteca Nacional
- Sociedad Entomológica Ambiental de Castilla- La Mancha (SEACAM)
- Sociedad Entomológica Aragonesa (SEA)





La “graellsia”, “isabelina” o “isabela” es, sin duda, uno de los invertebrados más emblemáticos de Europa y España. Desde su descubrimiento hace casi 170 años ha desatado las pasiones de naturalistas y entomólogos, y motivado numerosas publicaciones que han permitido desentrañar muchos de sus secretos.

Esta monografía pretende recopilar la enorme cantidad de información disponible y ofrecer al lector una visión global y actualizada de la especie. Cualquier naturalista disfrutará conociendo los pormenores de su descubrimiento y descripción formal por parte de D. Mariano de la Paz Graells, con los detalles de su morfología, ecología, biología y distribución, la información más reciente de su taxonomía y genética y con los esfuerzos realizados para su conservación.



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA Y PESCA,
ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE