

## CONSECUENCIAS DE LA DEFENSA QUÍMICA EN LAS MARIPOSAS DEL GÉNERO *ZYGAENA* FABRICIUS, 1775 (INSECTA: ZYGAENIDAE, LEPIDOPTERA)

Fidel Fernández-Rubio

Paseo de la Castellana 138, 28046-Madrid

**Resumen:** Se señala el hecho de la producción de ácido cianhídrico, por parte de las zygenas, a partir de los cianoglucósidos linamarina y lotastraulina (formados a partir de los aminoácidos valina e isoleucina) y su posterior posible metabolización en L-asparragina, lo que explica su alta resistencia a tan potente tóxico.

Se sugiere la influencia que esto ha originado sobre la morfología convergente de casi todas sus especies, originando un mimetismo cromático defensivo, que puede ampliarse a otras especies poseedoras de otras sustancias tóxicas, formando así un círculo de mimetismo de Müller al converger sus respectivas morfologías externas.

Se indica como han adaptado su aspecto externo a condiciones extremas de frío o altitud y en zonas donde escasean los depredadores vertebrados.

**Palabras clave:** Mimetismo, *Zygaena*, Ácido cianhídrico, Cianogénesis, Cianoglucósidos, Linamarina, Lotastraulina.

### Some consequences of the chemical defence in the burnets moths (*Zygaena* Fabricius, 1775) (Insecta: Zygaenidae, Lepidoptera)

**Summary:** The author emphasize the fact of the production –in burnets- of the extremely toxic hydrocyanic acid from two cyanoglucósides: linamarin and lotastraulin. The burnets moths and its larvae are able to biosynthesised its using amino acid precursors (valin and isoleucine) and its may possibly be recycled into the protein metabolism by being transferred into L-asparragina.

The author points out the influence that this has originated on the convergent morphology of almost all his species, originating a defensive chromatic mimetism that can be enlarged to other species possessors of other toxic substances, forming this way a mimetism circle of Müller, converging its respective external morphologies.

It is indicated the form as the imagos and caterpillars have adapted its external aspect in the extreme conditions of cold or altitude and in areas where the vertebrate depredators is scare.

**Key words:** Mimetism, *Zygaena*, Burnets moths, Cyanhidric acid, Cyanoglucosides, Linamarin, Lotastraulin.

### Introducción

A lo largo de milenios muchas plantas y animales han desarrollado mecanismos de defensa para minimizar los efectos de sus depredadores. Algunos, especialmente los animales, tratan de pasar desapercibidos confundiendo con su entorno, por ejemplo la mariposa *Polygonia c-album* (Linnaeus, 1758), difícilmente distinguible en un tronco rugoso, cuando sobre él se posa. Otros han desarrollado una verdadera defensa química, por la producción de diversos productos (caso muy frecuente en las plantas) o la adquieren por la ingestión de plantas nutricias –que las poseen– y a las que se han adaptado a ingerir a lo largo de su evolución. Tal es el caso de la mariposa *Danaus plexippus* (Linnaeus, 1758), que se alimenta de *Asclepias*, almacenando en su cuerpo los tóxicos cardioglucósidos producidos por esa planta, que a esta especie no le afecta. En tal caso, una ventaja añadida será que su aspecto la haga claramente distinguible, pues no será atacada por ningún depredador que haya tenido la experiencia previa de sufrir las consecuencias de la ingestión anterior de otro ejemplar de esa especie. Las plantas suelen producir muchos metabolitos tóxicos y, en menor medida, los insectos. Por ello son interesantes los casos en que el propio insecto es capaz de producir, por síntesis, productos tóxicos o irritantes o de desagradable sabor. Un caso altamente especializado es el de las mariposas del género *Zygaena* Fabricius, 1775.

Las zygenas son unas mariposas de pequeño tamaño, muy vistosas, que han recibido una enorme atención, tanto por parte de los aficionados como de los profesionales de la entomología. Ha contribuido a ello sus llamativos colores y

muchos aspectos de su ciclo biológico. Desde un punto de vista taxonómico son heteróceros adaptados al vuelo diurno. Pertenecen al orden Lepidoptera Linnaeus, 1758, suborden Ditrysia Börner, 1925, familia Zygaeninae Latreille, 1809, género *Zygaena* Fabricius, 1775.

Cuando para matar rápidamente a los insectos recolectados se empleaba el clásico “frasco matador”, constituido por un bote de boca ancha en cuyo fondo se depositaban unas bolas de cianuro potásico fijadas con una lechada de escayola, resultaba sorprendente el hecho de que las zygenas permanecían vivas y activas mucho tiempo, estropeándose con el consiguiente aleteo. A la vista de la poca actividad mortal del cianuro sobre las zygenas, este tuvo que ser substituido, en esos frascos, por tetracloruro de carbono embebido en látex de caucho, con el inconveniente –entre otros– de que endurecía demasiado los ejemplares colectados y hacía difícil su posterior preparación, por lo que, en la actualidad, ha sido substituido por el sistema de clavarlos en alfileres mojados en nicotina, que les provoca una muerte prácticamente instantánea.

### Cianogénesis

Se decía, entonces, que las zygenas “aguantaban mucho” al cianuro, pero se ignoraba su causa. Más tarde, entre 1960 y 1970, Frazer, Jones, Rothschild y sus colaboradores demostraron que estos insectos disponían de los glucósidos cianogénicos, decir, productores de ácido cianhídrico, y no solo en su fase de adultos, sino también en la oruga e incluso en

la de huevo. Esto explica su alta resistencia a las atmósferas ricas en cianhídrico de los arcaicos “frascos matadores”. En un primer momento se pensó que disponían de ellos porque los acumulaban procedentes de sus plantas nutricias, como ocurre con tantos otros productos, más o menos tóxicos, que muchos insectos fitófagos acumulan y le sirve de protección frente a depredadores. Y como la *Zygaena filipendulae* (Linnaeus, 1758), con la que se hicieron esas primeras investigaciones, comen plantas de grupo de las fabáceas, se pudiera pensar que de ellas procedían esos cianoglucósidos. Sin embargo, muchas zygenas se alientan de otras plantas que no los poseen y, sin embargo, disponen de ellos, lo que obligaba a pensar que no procedían de su alimentación. En 1979 Davis & Nahrstedt demostraron que los precursores de cianhídrico en las zygenas eran los cianoglucósidos linamarina y lotaustralina.

Incluso en las larvas se acumulan en forma de líquido viscoso, en sus segmentos 1 a 8, en pequeñas cavidades cutáneas, y basta con irritar a la oruga para que aparezca sobre ellas, en forma de gotitas. Estos cianoglucósidos son sintetizados por el insecto a partir de los aminoácidos lisina e isoleucina. Esta increíble conducta es debida a un muy efectivo enzima ( $\beta$ -glucosidasa) que transforma al cianhídrico (bloqueante de la cadena respiratorio de los citocromos) en  $\beta$ -ciano-alanina, el cual puede ser metabolizado y transformado en L-asparragina. Esta inactivación de tan tóxico elemento, transformándolo en  $\beta$ -cianoalanina, como almacenaje atóxico intermediario, difiere significativamente de los mecanismos, mucho menos eficaces, de otros animales, que sólo pueden transformar muy pequeñas cantidades del cianato CN- en SCN (tiocianato), que también puede ser usado como precursor de proteínas. A diferencia de las plantas, las *Zygaena*, tanto adultos como larvas, no sólo impiden el daño que el cianhídrico pudiera causarles en sus tejidos, por la presencia de cianoglucósidos y del enzima  $\beta$ -cianoglucosidasa, en actuación inmediata, sino que también pueden liberar cianhídrico activo, por transformación de los cianoglucósidos linamarina y lotaustralina en cianhídrico y un compuesto carbonílico.

## Consecuencias

Es evidente que estos productos tienen una clara acción protectora frente a los depredadores usuales. Si un pájaro come una larva o adulto de zygena, se encontrará muy mal, aunque no muera. Y tratará en lo sucesivo de no volver a comerlo. Y este recuerdo estará ligado al aspecto del insecto. Las zygenas tienen, por ende, colores llamativos, del tipo de los denominados “colores de alarma”, también conocido como coloración aposemática: rojo+negro, amarillo + negro. Este tipo de coloración de alarma se encuentra también en muchos tipos de animales más o menos tóxicos o venenosos, p. ej., en la serpiente coralillo (*Micruros frontalis*), provista de un potente veneno neurotóxico.

Si muchas especies tóxicas tienen aspecto muy parecido a la defensa se refuerza, ya que basta que un insectívoro se coma a un espécimen de cualquiera de ellas para que rechace la ingestión de todas las que se le parezcan. Quizá por ello en todos los géneros de origen más moderno de Zyganinae sus especies son tan parecidas. Se forma así un círculo

defensivo conocido como “mimetismo de Müller”, descrito por ese autor en 1878, con ejemplos de lepidópteros brasileños. El depredador identifica, por su aspecto, a una especie que en una ingestión anterior, le proporcionó un sabor desagradable o una sensación tóxica, y esta experiencia la extiende a todas las especies de morfología similar. Con ello el número de ejemplares que serán comidos para crear el rechazo se reparte entre las varias especies, que forman una “comunidad de escarmiento” por su similar aspecto, y cada una de esas especies sufrirá un menor número de bajas por depredación. Y este efecto protector es tanto mayor cuantas más especies tengan un aspecto similar, y tanto más cuanto más parecidas sean y puede incluir, incluso a otros grupos diferentes de insectos, como ocurre con el caso de que nos ocupamos. En efecto, algunas zygenas p. ej., *Zygaena (Agrumenia) hilaris* Ochsenheimer, 1808 (Figura 1-A) presentan una acusada similitud con coleópteros cuyo sabor desagradable a los pájaros, p.e., *Trichodes octopunctata* (Fabricius, 1787) (Figura 1-B) y así como a los meloideos, tóxicos e irritantes.

En ciertas regiones *Zygaena (Zygaena) ephialtes* (Linnaeus, 1767) (Figura 2-A) adopta un aspecto muy parecido a *Amata phegea* (Linnaeus, 1758) (Arctiidae: Syntominiinae), (Figura 2-B) con la que allí convive, y que está también protegida por el alcaloide pirrolizina, procedente de su planta nutricia.

Como cabe esperar en un círculo de mimetismo mülleriano, todas las especies de *Zygaena* son de aspecto muy parecido, pero en algunas su morfología es extraordinariamente similar, hasta el punto de que, en algún caso, es necesario el estudio de su genitalia para una correcta determinación. Cabe señalar algunos casos de parecido muy destacado. Entre las zygenas cuyos puntos alares se han fusionado en líneas tenemos p. ej., *Zygaena (Mesembrynus) contaminiei* Boisduval, 1834 (Figura 3-A) y *Zygaena (Mesembrynus) sarpedon* (Hübner 1790) (Figura 3-B). Ambas proceden del centro de dispersión atlántico-mediterráneo. La primera tiene un área de vuelo reducida al norte de España y ambas vertientes de los Pirineos, mientras que la segunda presenta también colonias en Italia. Sólo un estudio detallado de la extensión de las bandas rojas de sus alas, junto con otros detalles mínimos, permite identificarlas con certeza.

Entre aquellas cuyos puntos permanecen aislados podemos citar a *Zygaena (Agrumenia) carniolica* (Scopoli, 1763) (Figura 4-A) y *Z. (Agrumenia) occitanica* (Villiers, 1789) (Figura 4-B) que tienen formas locales de enorme parecido, donde es necesario fijarse bien en el aspecto de la mancha distal del ala anterior para distinguirlas, ya que es de color blanco en *Z. occitanica* y rojo en *Z. carniolica*. La primera procede del centro de dispersión siberiano, y se expande desde el Asia Central hasta España, estando situadas sus colonias más meridionales en Andalucía (Granada). La segunda procede del centro atlántico-mediterráneo y se ha expandido sólo por España, Portugal, Francia e Italia.

También muy parecidas a estas últimas son *Zygaena (Agrumenia) fausta* (Linnaeus, 1767) (Figura 5-A) y *Zygaena (Agrumenia) youngi* Rothschild, 1926 (Figura 5-B). La primera, procedente del centro atlántico-mediterráneo, se expande por España, Portugal, Francia, Alemania, Italia, Suiza y Marruecos y la segunda, del centro mauritánico, está restringida al Medio Atlas (Marruecos).



Un caso típico español, que presenta alta dificultad taxonómica, es el constituido por la *Zygaena* (*Zygaena*) *trifolii* (Esper, 1783) (Figura 6-A) y la forma hispana de cinco puntos de *Zygaena* (*Zygaena*) *loniceriae* (Scheven, 1777) (Figura 6-B). La primera procede del centro atlántico-mediterráneo y se expande por Túnez, Argelia, Marruecos, España, Portugal, Bélgica, Inglaterra, Dinamarca, Holanda, Italia, Alemania, Chequia y Ucrania. La segunda, en su forma de cinco puntos, parece proceder también de ese mismo centro, y sólo se encuentra en la Península Ibérica (la forma de seis puntos tiene una dispersión mucho más amplia, ocupando todo el resto de Europa y Asia Central). Su parecido es tal que en muchos casos es necesario recurrir al estudio de sus estructuras genitales para diferenciarlas.

Fácilmente se podrían indicar otros muchos ejemplos de especies en extremo parecidas, dentro de la similitud general del género *Zygaena*.

En algunas circunstancias, para poderse adaptar a condiciones climáticas extremas, las zygenas han tenido que variar algo su aspecto, sin perder el aspecto general del género. En alta montaña y en los límites del Círculo Polar, el frío ha condicionado que su cuerpo sea peludo, para conservar el calor y preservarse del frío y son oscuras para absorber mejor el calor solar. Tal es el caso, en España, de *Zygaena* (*Zygaena*) *anthyllidis* Boisduval, [1828] (Figura 7-A) y *Z. (Z.) exulans* (Hohemwarth, 1792) (Figura 7-B). La primera restringida a los Pirineos, y la segunda es especie relictiva de la época glacial, con colonias aisladas en altas montañas de España, Francia, Escocia, Austria, Alemania, Bosnia, Rumania, Macedonia, Kazajistán y Mongolia y casi a nivel del mar en Finlandia, Noruega y Suecia.

Cuando el frío arrecia, deben ser más oscuras, para absorber mejor el calor y por ello el melanismo se incrementa. Evidentemente este hecho aminora el efecto protector de su aspecto, pues entonces sus colores aposemáticos son menos llamativos, lo que se compensa por el hecho de que sólo vuelan en las horas centrales de los días cálidos, permaneciendo el resto del tiempo bajo piedras. En algunas altas montañas hay especies muy oscuras, casi negras, con los puntos del ala anterior muy reducidos y también, incluso, el rojo del ala posterior, por ejemplo *Zygaena* (*Mesembrynus*) *hindukuschi* Kock, 1937 de Afganistán (Figura 8-A) y *Z. (Zygaena) persephone* Zerny, 1934 del Alto Atlas, en Marruecos (Figura 8-B).

Los típicos colores de alarma, que señalan la toxicidad del insecto, están presentes también en las orugas de las zygenas, p. ejm. *Zygaena filipendulae* (Linnaeus, 1758) (Figura 9-A), ya que son poseedoras de cianoglucógenos, mostrando también la típica combinación amarillo+negro o rojo+negro, pero con la particularidad de que, en líneas generales, son tanto más oscuras cuanto que ocupen un biotopo más frío, p. ejm. *Zygaena persephone* (Figura 9-B), por el mecanismo de adaptación antes reseñado.

Como sus crisálidas son también tóxicas, sus capullos no se ocultan ni son crípticos, sino que se exhiben descaradamente, con forma ovoide y color blanco (con inclusiones de cristalitos de oxalato, segregados por las glándulas de Malpighio en el último estadio de la oruga) y están cubiertos interiormente de seda, por ej. *Zygaena (Zygaena) occitanica* (Villiers, 1789) (Figura 10-A) o son fusiformes, con cierto aspecto apergaminado p. ej. *Zygaena (Zygaena) trifolii* (Esper, 1783) (Figura 10-B), pero siempre destacan muy

bien. En ambos casos, al salir el imago, queda asomando por un extremo del capullo una parte del exuvio de la crisálida.

Esta defensa química, es muy efectiva frente a pájaros insectívoros, ranas, sapos, camaleones, lagartijas etc. pero no se extiende a todos los posibles enemigos naturales. Incluso el himenóptero *Ectemnius kriebbaumeri* (Kohl, 1879) está especializado en alimentarse de imagos de *Zygaena* y hay múltiples arañas que devoran a las zygenas, con fruición, sin que les cause ningún problema esta comida. Entre ellas destacan *Misumena vatia* (Figura 11-A) y algunas otras arañas, p. ej. *Oxiopes* sp. (Figura 11-B). También varios parasitoides las afectan.

Por ello en regiones donde los pájaros, ranas, etc. son escasos y abundan las arañas, un destacado color aposemático, de alarma, no es de ninguna utilidad sino que, al contrario, disminuye su protección. Y es curioso constatar que en algunas de esas localidades el color de alarma (rojo+negro o amarillo+negro) haya cambiado y se presente, en el ala anterior, una coloración críptica que imita el color de la reseca vegetación del entorno, y esa ala cubre al ala inferior y abdomen, de color rojo intenso, cuando el insecto está en reposo. Tal es el caso de la subespecie *kappadokiae* Junge & Rose, 1979 (Figura 12-A) que difiere fuertemente del aspecto habitual de la polimórfica *Zygaena (Agrumenia) carniolica* a la que pertenece (Figura 12-B).

Con tal aspecto la zygena pasa desapercibida, confundida con el color del entorno, pero ante cualquier agresión abre bruscamente sus alas, con lo cual surge el destello rojo del cuerpo y ala posterior, que estaban cubiertos hasta entonces por el ala anterior. Esto suele causar un momento de indecisión en el depredador (efecto relámpago), que hace posible, en muchos casos, que la *Zygaena* escape volando, salvándose así de ser comida.

## Bibliografía

- DAVIS, R.H. & A. NACHRSTEDT 1979. Linamarin and lotastraulin as the source of cyanide in *Zygaena filipendulae* L. (Lepidoptera). *Comp. Biochem. Physiol.*, **64** (B): 395-397.
- DE FREINA, J. & T. J. UIT 2001. *Die Bombyces und Sphinges der Westpalearktis. Tomo III Zygaenidae*. Ed. Forchung & Wissenschaft Verlag GMBH. Munich (Alemania).
- FERNÁNDEZ-RUBIO, F. 1990. *Guía de mariposas diurnas de la Península Ibérica (Zygenas)*. Ed. Pirámide. Madrid (España).
- FERNÁNDEZ-RUBIO, F. (en prensa): *Zygaenidae ibéricos*.
- FRAZER, J.F.D. & M. ROTHSCHILD 1960. Defense mechanisms in warningly-coloured moths and other insects. *XII Int. Congr. Ent.*, **3** (3/4): 249-256.
- HOFMANN, A & W. G. TREMEWAN 1996. *A systematic Catalogue of the Zygaeninae*. Ed. Harley Books. Colchester (Inglaterra)
- JONES D.A., J. PARSONS & M. ROTHSCHILD 1962. Release of hydrocyanic acid from crushed tissues of all stages in the life-cycle of the species of the Zygaeninae (Lepidoptera). *Nature, Lond.*, **193**: 52-53.
- NAUMANN, C.M., G. M. TARMANN & W. G. TREMEWAN 1999. *The Western Palearctic Zygaenidae*. Ed. Apollo Books. Stenstrup (Dinamarca).
- ROTHSCHILD M., B. P. MOORE & W. V. BROWN 1970. Toxic Lepidoptera. *Toxicon*, **8**: 293-299.



## GLOSARIO DE TÉRMINOS EMPLEADOS

- Alcaloide:** Compuesto orgánico nitrogenado de marcado carácter básico, que se une a los ácidos formando verdaderas sales. Del árabe *al cali* = la sosa y del griego *ειδος* = aspecto.
- Aminoácidos:** Componentes primarios de las proteínas.
- Aposemática (coloración):** combinación de colores que sirven de llamada de alarma (amarillo+negro o rojo+negro). Del griego *ἀποσημαίνω* = yo muestro señales.
- Cardiogluclósidos:** Glucósidos con acción sobre el corazón. Del griego *καρδία* = corazón y *γλυκός* = azúcar.
- Cianogénicos:** Productos que generan ácido cianhídrico. Del griego *κῦανος* = azul (ya que el cianhídrico combinado con hierro produce el azul de Prusia) + *γενής* = engendrar.
- Depredador:** Que caza animales para comer. Del latín *depredare* = apoderarse de.
- Exuvio (de crisálida):** Envoltura rígida de la crisálida que queda al emerger el adulto.
- Fabaceas:** Familia de plantas. Del latín *faba* = haba.
- Fitofagos:** Animales que se alimentan de vegetales. Del griego *φυτον* = planta + *φαγω* = yo como.
- Fusiforme:** Que tiene aspecto de huso. Del latín *fusus* = huso + *forma* = figura, aspecto.
- Glucósidos:** Unión de un azúcar con un ácido o alcohol más una o más moléculas de agua. Del griego *γλυκός* = azúcar y *ειδος* = aspecto.
- Insectívoro:** Que come insectos. Del latín *insectum* = insecto y *vorare* = devorar.
- Malpigio (glándulas de):** Estructura excretora especializada.
- Melanismo:** Oscurecimiento corporal, o tendencia a hacerlo. Del griego *μέλανος* (mélanos), genitivo masculino de *μέλας* = negro.
- Meloideos:** Escarabajos de la familia Meloidae, que tiene efecto vesicante sobre la piel de los mamíferos. Del griego *μέλας* = oscuro y *ειδος* = aspecto.
- Metabolitos:** Productos resultantes del metabolismo animal o vegetal. Del griego *μεταβολή* = cambio.
- Polimorfismo:** Propiedad de adoptar muchos aspectos diferentes. Del griego *πολύς* = mucho + *μορφή* = forma, aspecto.
- Taxonomía:** Ciencia que se ocupa de la clasificación animal o vegetal. Del griego *ταξις* = orden + *νόμος* = ley, norma.

# MONOGRAFÍAS S.E.A.

Sociedad Entomológica Aragonesa



## LOS COLEÓPTEROS ACUÁTICOS DE LA REGIÓN DE MURCIA Catálogo faunístico y áreas prioritarias de conservación

David Sánchez-Fernández, Pedro Abellán,  
Josefa Velasco & Andrés Millán

MONOGRAFÍAS S.E.A. — vol. 10

I.S.B.N.: 84 - 932807- 3 - 4. / Septiembre, 2003.

72 pp., mapas, 3 Lám. Color.

Publicación gratuita para socios SEA (ejercicio 2003).

**Precio de venta al público:** 18 euros (IVA incluido). Gastos de envío no incluidos.  
Solicitudes: SEA.