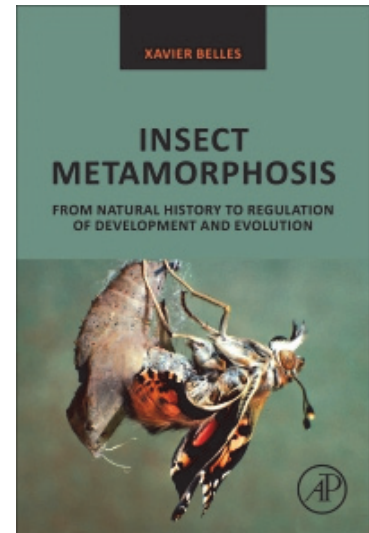


## Insect Metamorphosis From Natural History to Regulation of Development and Evolution

Xavier Bellés

Elsevier. Academic Press.  
ISBN: 978-0-12-813020-9  
304 pp. 17-03-2020  
<https://www.elsevier.com/books/insect-metamorphosis/belles/978-0-12-813020-9>  
102 US\$



Xavier Bellés es uno de los entomólogos más reputados de nuestro país; es profesor de investigación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), ha sido fundador y primer director (2008-2016) del Instituto de Biología Evolutiva (CSIC-Universidad Pompeu Fabra), en Barcelona, donde trabaja y ha publicado numerosas obras (más de 300, incluidos 11 libros) en diferentes campos relacionados con la biología, que van desde estudios de endocrinología de frontera a síntesis del conocimiento. Además ha demostrado grandes inquietudes por la historia de la ciencia (especialmente la Entomología), como claramente demostrará un vistazo al buscador de nuestras publicaciones, pues hemos tenido la suerte de contar con sus aportaciones a lo largo de los años. También se ha ocupado de temas tan interesantes como la vida cavernícola, la fauna ibérica o, especialmente, uno de los asuntos más misteriosos y apasionantes de la biología: la metamorfosis de los insectos, al menos de algunos de ellos, tema al que ha dedicado varias décadas de su vida e investigaciones de laboratorio punteras.

El desarrollo de los insectos y concretamente el de los llamados holometábolos es un fenómeno sorprendente en el ámbito de la teoría de la evolución por selección natural. Charles Darwin y algunos otros seguidores posteriores ya se lamentaron de ello: ¿cómo explicar que un blando organismo con aspecto agusanado y vida confinada a un pequeño fruto, un agujero en tierra o a lo más profundo de la madera de un árbol caído en descomposición sea lo mismo, tras apenas unos días de inmovilidad, que una mariposa de enormes alas y colorido hipnótico dedicada a vagar vivamente de flor en flor? ¿Hay mayor contrasentido en el mundo animal?

La evolución se mueve por pasos, cortos o largos, rápidos o lentos, pero en un aparente proceso continuo. No hay auténticas brechas ni brincos discontinuos más allá de unos ciertos límites estrechos (en cada 'salto'). Pero la metamorfosis es una innovación tan drástica, tan 'impredicible' e inesperada que parece un milagro, algo inexplicable. Hace unos años, en 2013, con ocasión de una reseña sobre otro libro de Xavier Bellés (La metamorfosis de los insectos) decía:

*<Que una ballena sea el descendiente de un animal terrestre parecido a un lobo grande comedor de plantas y pequeños animales, el cual a su vez proviene de otro grupo de animales marinos ancestrales, etc., parece una historia de ciencia ficción, pero si se van viendo las piezas del puzle, se ponen en orden cronológico y se miran secuencialmente, todo parece un continuo 'razonable', posible, justificable y hasta a veces predecible. Ahora bien, ¿Cómo puede explicarse que de una larva ávida y casi sin apéndices sensoriales, que vive en el interior de un fruto o de un tronco, pueda resultar, de forma casi instantánea, a través de una metamorfosis y de procesos químicos casi milagrosos, un escarabajo volador florícola? >*

En realidad esta comparación solo tiene sentido visual, pero es falsa o engañosa. Con la 'ballena' nos referíamos a toda una serie de organismos emparentados, a una extensa genealogía de seres que han ido cambiando sus formas, comportamientos y hábitats durante millones de años. Con la larva-escarabajo o la larva-

mosquito o la oruga-mariposa (el guión indica unidad, no separación) nos referimos al mismo individuo y a su propio proceso de desarrollo o crecimiento en un ciclo vital temporalmente brevísimo. En definitiva a la compleja existencia de un único Dr. Jekyll + Mr. Hyde sucesivos e inevitables (salvo manipulación experimental, como se verá en el libro). Es cierto que incluso los humanos cambiamos a lo largo de nuestra existencia pero aunque varíemos el tamaño, mantenemos el aspecto (al menos general), la forma y con frecuencia el tipo de vida (¿somos organismos ametábolos como los *Lepismas*? Sin duda).

Por si fuera poco el aparente *milagro* de tan extrema transformación lejos de ser algo excepcional y raro (como debería ser todo milagro) es lo habitual, lo más frecuente. Los insectos son la forma de vida compleja más numerosa, variada y diversa del planeta. Lo son además desde tiempos ancestrales y dominan prácticamente todos los ambientes no marinos. Su elegante fórmula (un cuerpo quitinizado mecánicamente articulado y endurecido e impermeable) les permite llevar el *mar* del que en el fondo proceden y en el que se podría decir que siguen viviendo en parte, a tierra firme, para básicamente conquistarla y aprovechar prácticamente todos sus recursos. Es evidente que un cuerpo endurecido plantea a su vez el reto imposible de cómo crecer. La solución es la muda, la formación de un nuevo exoesqueleto y la eliminación del antiguo. Una solución más "perfeccionada" es la metamorfosis. Algunos insectos solo se desarrollan gracias a mudas sucesivas. En general se trata de los más primitivos, grupos basales en la filogenia de Hexapoda. Por ejemplo, colémbolos, proturos, dipluros e insectos apterigotos. Todos ellos son ametábolos. Pero la mayor parte de los insectos ha combinado el proceso de la muda con otros mecanismos como la metamorfosis, aunque en diferentes grados o escalas. Y son precisamente y de nuevo, estos grupos, los más numerosos y diversos. Los que han tenido mayor éxito. Los insectos hemimetábolos (o con metamorfosis imperfecta o incompleta) incluyen entre otros, a los ortópteros, dictiópteros o a los hemípteros (s.l.) y a todos los insectos que no forman parte del clado Endopterygota. Los holometábolos (o con metamorfosis completa o perfecta) incluyen, formando el citado clado, entre otros menores, a los cuatro órdenes megadiversos: Hymenoptera, Diptera, Lepidoptera y Coleoptera.

El mayor número de formas de vida sobre nuestro planeta practica la metamorfosis y desarrolla de forma exclusiva alas (aunque cierto es que no siempre fue así, pues allá por el Carbonífero hubo excepciones). Este es el esquema de partida seguido en el volumen, aunque existen otras clasificaciones alternativas y quizás no tan felices.

Por lo tanto, de ser la metamorfosis un proceso difícilmente encajable en lo que parece ser la evolución biológica resulta ser al mismo tiempo uno de los hitos más comunes de la vida. Asombroso.

A explicar, analizar y desentrañar esta apasionante paradoja dedica Xavier Bellés su libro *Insect Metamorphosis*. A lo largo de más de 300 páginas se presenta, con claridad y buen ritmo, pero

con un altísimo rigor, el estado actual del conocimiento sobre el origen, la historia natural, la regulación y la evolución conocida de la metamorfosis desde sus múltiples facetas relacionadas: biológicas, fisiológicas, moleculares y evolutivas.

Además, por suerte para el lector, no se escamotea ninguno de los aspectos implicados. De este modo se nos permite hacer un recorrido histórico por las ideas y avances (especialmente en los últimos años) sobre el tema. Precisamente a ello se dedica el primer capítulo, presentando la 'historia' del conocimiento y estudio de la metamorfosis en insectos, desde Aristóteles y la antigua Grecia hasta la actualidad. Antes incluso, en Egipto, Khepri o Kheper, estaba representado por un escarabajo rodador que fue vinculado con el renacimiento y la resurrección, algo a lo que no fue ajeno precisamente su ciclo biológico. En el siglo XVII se redescubre el tema y durante los dos siglos posteriores se abordará desde perspectivas modernas, sentando las bases de los progresos científicos posteriores. El siguiente capítulo del libro presenta un informe sobre los insectos, sus formas de vida y explotación de oportunidades, así como sobre la importancia de la innovación de la metamorfosis, de las alas y de las diversas formas de desarrollo. Ello sirve de entrada a los capítulos posteriores centrados precisamente en las diferentes formas de desarrollo (insectos ametábolos, hemimetábolos y holometábolos). En cada caso se analizan aspectos tan importantes (y tan relevantes para posteriores capítulos) como la embriología y desarrollo postembrionario en cada tipo de especies (por cierto, no siempre homogénea en cada grupo citado; a pesar del famoso principio de Parsimonia, en realidad la norma es que no hay nada simple en la Naturaleza).

Los ametábolos crecen a partir exclusivamente de mudas, alcanzando un punto crítico en el que consiguen el estado de madurez sexual y reproductiva, pasando de ninfas a adultos, los cuales siguen creciendo y mudando durante toda su vida. Los hemimetábolos tienen una serie de mudas, hasta que en un determinado momento las ninfas alcanzan la madurez y dejan de desarrollarse. Las alas van creciendo durante varias etapas del proceso. Los holometábolos tienen un estado larvario durante el cual atraviesan diversas fases de crecimiento hasta alcanzar el estado de pupa, en el cual se produce un proceso de destrucción seguido de otro de construcción de tejidos y del cual emerge un imago o adulto que, además tiene hábitos y conductas totalmente diferentes, lo que parece ser una ventaja clave en su éxito, ya que desaparece la competencia por los recursos con sus estados larvales. En los dos últimos casos se alcanza la madurez sexual y reproductiva y el desarrollo completo o 'instantáneo' alar tras la última muda (incluyendo, en su caso, la de la pupa). Por cierto que la cosa se complica en presencia de la llamada hipermetamorfosis, que también es tratada.

La metamorfosis está indiscutiblemente relacionada con el proceso de muda. Los mecanismos que controlan el proceso son hormonas, especialmente la que recibe el nombre de hormona de la muda. Junto a ella opera la llamada hormona juvenil, un factor determinante para alcanzar el estado de adulto. En realidad, es su ausencia la que lo determina. Así, si el proceso de muda se da en presencia de la hormona juvenil, el insecto no se transforma en adulto (y ello sucede tanto en insectos ametábolos, como hemimetábolos y holometábolos). Los capítulos 6 a 9 del libro, los más áridos para lectores no habituados a trabajar con conceptos de bioquímica y moleculares, sistematizan y presentan el conocimiento actual sobre la materia, a partir de datos sobre experimentación en diversas especies de insectos, lo cual resulta necesario para alcanzar una adecuada comprensión del proceso, sus matices, variaciones e implicaciones. El capítulo 10 se centra en el desarrollo de cada tipo de insecto desde el punto de vista endocrinológico. Resulta sorprendente ver en los gráficos y entender gracias al texto cómo la acción de la hormona juvenil y la de muda (y de sus vías de señalización genética) se combinan en diferente grado, alineándose, complementándose o 'repeliéndose' según el tipo de insecto para producir mudas 'conservadoras', el estado de pupa o el de adulto. A partir de ello comienzan a percibirse la complejidad pero también las claves del sistema y los mecanismos que aparentemente son capaces de producir en cada grupo de insectos su desarrollo postembrionario y el estado final de adulto sexual.

Los capítulos técnicos anteriores son las herramientas que permiten ir un poco más allá e intentar responder algunas preguntas: ¿cómo ha evolucionado la metamorfosis hasta alcanzar su 'estado' actual en insectos holometábolos? El capítulo 11 del volumen está dedicado a la hemimetabolía (a su vez derivada de un estado primitivo ametábolos) y el origen de las alas en insectos. Existe una evidente y profunda vinculación entre estos elementos y

la holometabolía, como aparente expresión evolutiva "perfeccionada" (o al menos derivada) de aquellos. El capítulo presenta mecanismos moleculares, hormonales, y genéticos, que pueden explicar el paso de la ametabolía a la hemimetabolía. La teórica dificultad de la muda en presencia de posibles alas habría condicionado su aparición retardada al estado final de adulto (al menos en su pleno desarrollo). El capítulo 12 aborda la cuestión principal: la aparición y evolución de la metamorfosis holometábolos. Las ventajas en términos ecológicos y competitivos ya han sido mencionadas (y por cierto que ya están presentes en algunos órdenes de hemimetábolos, como Odonata o Plecoptera). La respuesta a la pregunta de qué es una larva es simple: un adulto inhibido. Los ojos compuestos, las alas y los caracteres sexuales están presentes en la larva, aunque enterradas profundamente bajo la epidermis, y preparadas para ser activadas cuando se alcance el momento crítico adecuado: la pupa, la auténtica poción de Jekyll que desencadena a Hyde (aunque en este caso, a diferencia de la novela de Stevenson, y dado el éxito biológico, para bien). Las principales teorías explicativas (actuales) de este fenómeno son presentadas en el capítulo: la proninfa hemimetábolos equivalente a estados larvarios holometábolos (sumada a la equivalente entre ninfas y pupa), y la teoría de la homología directa (habría equivalencia entre estados ninfales y larvales en ambos grupos y la pupa sería en realidad un estado ninfal, el último). A pesar de su 'pobre' aspecto, la evolucionada larva holometábolos es una aparente etapa especializada del organismo en el crecimiento y la alimentación, durante la cual se han inhibido o dormido completamente, enterrándolos en lo más profundo de su anatomía, los caracteres de la etapa adulta (alas, sexualidad...), los cuales solo emergen, explosivamente, en el momento de la última muda, la pupa. El mecanismo de este espectacular cambio sería la hipótesis BROAD-COMPLEX, propuesta por el autor, y testada y explicada en detalle en este capítulo final.

En un honesto epílogo el autor reconoce que tras la lectura de una monografía científica se tiene la tentación de pensar que todo ha sido resuelto y respondido, pero que ello es solo una ilusión. Y tiene razón: en realidad en ciencia nada es verdaderamente definitivo y asuntos tan enjundiosos, complejos y a la par importantes como la metamorfosis de los insectos ha de generar muchos trabajos de investigación futuros, muchos avances y muchísimas nuevas preguntas, aunque las principales vayan siendo respondidas. Es ciencia, y la explicación de la existencia y funcionamiento de la forma más exitosa de vida, teniendo en cuenta las costumbres ya citadas de la naturaleza, no puede ser simple.

El libro de Xavier Bellés es un hito. Recopila, ordena, analiza y explica los datos esenciales de este aparente milagro biológico (que tras la lectura deja de serlo en su mayor parte, aunque nunca pierda su lado maravilloso) y el estado de conocimiento sobre el tema. Hay preguntas por contestar pendientes, pero una gran parte de ellas parecen estarlo satisfactoriamente. Y ello es magnífico. Aunque se presentan en la lectura momentos de una cierta dureza para quien no esté versado en determinados aspectos técnicos, el esfuerzo final merece la pena en forma de enorme gratificación intelectual. Por supuesto, para cualquier interesado o estudioso en estos temas el libro, como puede fácilmente adivinarse, deviene básico e imprescindible.

Antonio Melic  
S.E.A.  
amelic@sea-socios.com