

# EL ÁMBAR Y LA HISTORIA EVOLUTIVA DE LOS INSECTOS

ANALÍA A. LANTERI (\*)  
SILVANA P. DURANTE (\*\*)  
SONIA M. SUÁREZ (\*\*\*)



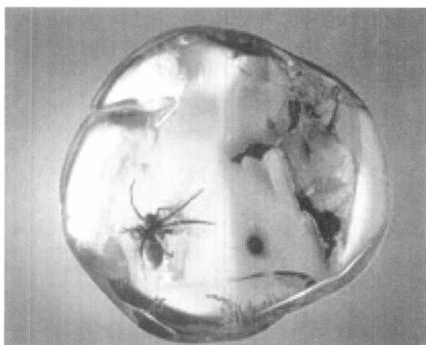
**E**l ámbar es una resina fosilizada de belleza inigualable, empleada desde hace más de 10.000 años en objetos de arte, decoración y joyería. Su importancia para las ciencias biológicas, sin embargo, no es menor que su valor arqueológico o artístico, pues de los organismos incluidos en esta gema orgánica no sólo es posible obtener datos sobre la evolución de sus estructuras morfológicas, sino también secuencias de ADN.

## ¿Qué es el ámbar?

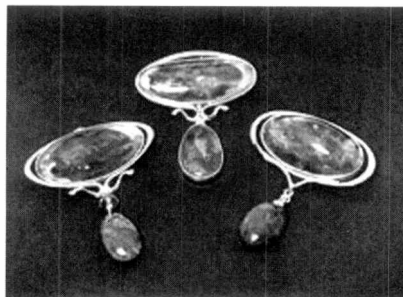
El ámbar es una gema orgánica de aspecto vítreo y generalmente dorado, que se ha formado a partir de la resina de varias especies de árboles prehistóricos, principalmente coníferas. Al cabo de millones de años, la resina líquida que brota del tronco y las ramas de dichos árboles se transforma en ámbar, gracias a la evaporación de sus elementos químicos volátiles, y a procesos de polimerización, isomerización y oxidación, en los cuales participan bacterias.

No toda resina endurecida es considerada ámbar. El "copal", que se encuentra en algunos países de América, es una resina de aspecto similar al ámbar pero de menor dureza y antigüedad (menos de un millón de años). En África, América y Nueva Zelanda es posible encontrar resinas endurecidas al contacto con el aire, en las grietas de los troncos o en el suelo, alrededor de los árboles, que son contemporáneas o de menos de 250 años de antigüedad.

El hombre ha empleado el ámbar como elemento de decoración, ornamento y amuleto para la buena suerte o la salud, desde el período Neolítico (8000-7000 años a.C.), de allí que su uso se asocia con las costumbres y mitologías de los pueblos de las naciones donde se encuentran sus principales depósitos (Alemania, Dinamarca, Ucrania, Rusia, Lituania, República Dominicana, etc.). Numerosas piezas de ámbar se exhiben en Museos de Arte o de



2. Pieza de ámbar con inclusiones de insectos y otros artrópodos.



1. Elementos de joyería tallados en ámbar.

Arqueología de dichos países, donde es posible apreciar manufacturas de figuras antropomorfas y zoomorfas, esculturas de todo tipo, aros, pulseras, collares y los más variados elementos decorativos y de joyería (Fig. 1).

Nuestro especial interés en el conocimiento del ámbar, sin embargo, no se relaciona con el arte sino con la ciencia y, en particular, con la entomología, ya que muchas piezas de ámbar contienen inclusiones de fósiles de insectos con un estado de preservación excepcional (Figs. 2, 3, 4). La resina líquida que luego se transformará en ámbar, arrastra en su camino hacia el suelo una multitud de insectos que viven en asociación con coníferas o que suelen posarse sobre sus troncos y ramas, así como otros pequeños animales y trozos de plantas. De ello deriva la importancia científica de la gema.

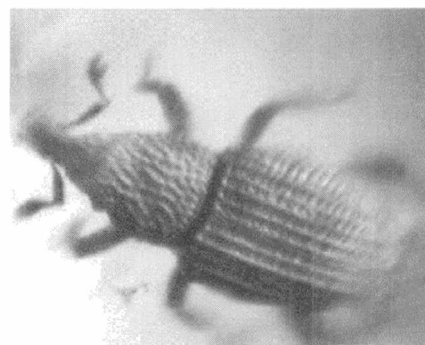
### Depósitos y tipos de ámbar

La mayoría de los grandes depósitos de ámbar datan del período Terciario o Cenozoico (65 a 1,6 millones de años) y se hallan dispersos en todos los continentes menos en la Antártida, pero también se conocen depósitos más antiguos, del Mesozoico (Fig. 5). La antigüedad del ámbar se determina por las rocas y sedimentos en que se encuentra incrustado (arenas, arcillas, turba, lignito). Durante su transporte desde los bosques en que tuvo su origen hasta los actuales depósitos, suele sufrir los efectos

del sol, el pulido de la arena, la erosión del mar o la presión de los glaciares, por eso algunas piezas de ámbar tienen una forma perfectamente redondeada.

El ámbar exhibe una gran diversidad en cuanto a edad geológica, árboles que le dieron origen, colores, composición química, dureza, transparencia, concentración de burbujas, tipo de inclusiones orgánicas, etcétera. Por ejemplo, el ámbar del Báltico procede de una conífera de la especie *Pinites succinifer*, que creció extensamente en el norte y centro de Europa cuando esta región estaba bajo la influencia de un clima subtropical, en el Cenozoico temprano (Eoceno). Se lo conoce también como succinita, por el contenido de ácido succínico, ausente o en escasa proporción (menos del 3%) en otros tipos de ámbar. El mismo tipo de resina se ha encontrado en Ucrania, centro de Alemania, Siberia y América del Norte. El ámbar procedente de las costas del Mar Báltico es uno de los más apreciados a nivel arqueológico y artístico, pues ha sido extraído y utilizado para fabricar elementos decorativos desde hace 10.000 años. También es uno de los mejor estudiados a nivel científico.

El ámbar de la República Dominicana fue producido por un árbol de la familia de las leguminosas (algarrobos) del género *Hymenaea*. Se formó principalmente en el Cenozoico medio, Oligoceno-Mioceno, 30 a 23 millones de años (Ma) y es rico en inclusiones de insectos, muchos



3. Gorgojo en ámbar (Coleoptera, Curculionidae).

de los cuales tienen representantes actuales. Es de menor dureza que el ámbar del Báltico y presenta una gran diversidad de colores: amarillo dorado o casi transparente, verde esmeralda, azul fluorescente, rojo rubí, nacarado, pardo claro y diferentes tonos de negro.

Otro depósito de ámbar muy importante a nivel científico en el continente americano es el de la región de Simojovel, estado de Chiapas, México, cuya edad se sitúa también en el Oligoceno-Mioceno. Este ámbar contiene numerosas especies de insectos, próximas a las que viven actualmente en México, América Central y América del Sur. La evidencia de esta entomofauna fósil ha sido uno de los argumentos esgrimidos por el biogeógrafo Gonzalo Halffter, para sustentar la hipótesis de la dispersión masiva de muchos insectos sudamericanos hacia el Norte, a partir del Terciario.

Los depósitos de ámbar del Cretácico (140 a 65 Ma) son especialmente importantes para el estudio de los insectos, ya que a partir de entonces se produjo la gran diversificación de este grupo de organismos, y a través de los especímenes encrustados en ámbar es posible conocer las formas ancestrales de los linajes que actualmente habitan la tierra. Especímenes en ámbar del período Cretácico se pueden encontrar en los depósitos del norte de Rusia, el Medio Oriente (Líbano), Japón (Kuji), y los Estados Unidos de América (New Jersey).

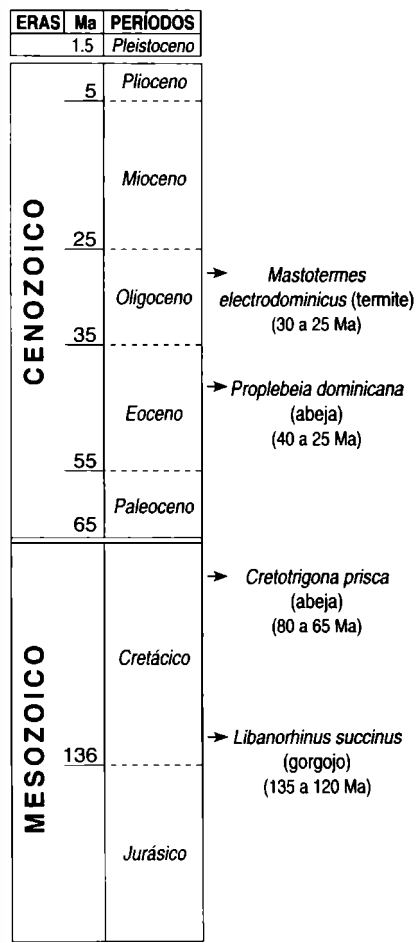
### Fósiles y ámbar

Durante los últimos cincuenta años del siglo XX se han efectuado numerosos hallazgos sobre insectos fósiles incluidos en ámbar y realizado aportes científicos que abarcan la mayor parte de los grupos taxonómicos. El excepcional grado de preservación de las estructuras morfológicas permite realizar detalladas descripciones de las especies,



4. Abeja en ámbar (Hymenoptera, Apoidea).

inclusive de rasgos a nivel celular. A partir de la década del ochenta se comenzaron a publicar trabajos donde se estudiaban conjuntamente especies de insectos actuales y extinguidos (sólo conocidos a través de fósiles incluidos en ámbar) a fin de obtener árboles filogenéticos o



5. Escala de tiempo geológico de fines del Mesozoico y Cenozoico o Terciario, en millones de años, con los reportes de insectos en ámbar más significativos.

cladogramas, es decir, esquemas de relaciones de parentesco sobre los cuales plantear hipótesis sobre su evolución. Sin embargo, hubo que esperar hasta la última década del siglo XX, para que el estudio de los organismos conservados en ámbar arrojara uno de los resultados más sorprendentes de la historia de la biología: a partir de ellos fue posible recuperar ADN y, por lo tanto, conocer parte de la información genética de especies extinguidas (Pääbo, 1994).

### Reportes de ADN antiguo en insectos en ámbar

El filme de ciencia ficción Jurassic Park, comienza cuando un biólogo molecular es capaz de dar vida a los dinosaurios que dominaron la tierra durante el Mesozoico, a partir del ADN de la sangre ingerida por un pequeño insecto incluido en ámbar. Poco después del estreno del famoso filme, los especialistas Cano *et al.* (1992) lograron recuperar ADN de una abeja fósil, *Proplebeia dominicana* del ámbar de la República Dominicana, datada en 40 a 25 Ma (Eoceno-Oligoceno); DeSalle *et al.* (1992) obtuvieron ADN de un fósil de termita, *Mastotermes electrodominicus*, del Oligoceno-Mioceno, también de la República Dominicana, y Cano *et al.* (1993) recuperaron ADN de un gorgojo del Cretácico preservado en ámbar del Líbano, *Libanorhinus succinus*, de 135 a 120 Ma. Aunque los resultados obtenidos hasta el presente no sean totalmente confiables, los reportes de ADN antiguo en varios grupos de organismos vegetales y animales, han generado una gran expectativa en el campo de la paleontología molecular.

Los científicos consideran que algunas sustancias químicas del ámbar contribuyen a preservar el material biológico, pues permiten la deshidratación de los tejidos y matan las bacterias que degradan

el ADN. Por esta razón, de todos los hallazgos de ADN antiguo, los que proceden de organismos incluidos en ámbar son los que registran mayor antigüedad, dado que esta resina fósil provee condiciones excepcionales de preservación para el material genético.

Las técnicas que se emplean para extraer, amplificar y secuenciar ADN (Lanteri & Confalonieri, 2001) de material momificado o fosilizado son similares a las que se utilizan para estudiar el ADN de especies vivientes, cuyos tejidos han sido adecuadamente preservados en alcohol al 100% o en freezer a 70 u 80 °C bajo cero, inmediatamente después de su muerte. Sin embargo, el estudio de ADN antiguo es muchísimo más laborioso, pues con el transcurso del tiempo se fragmenta en pequeñas piezas cuya secuencia se debe armar como si fuese un rompecabezas.

A pesar de la enorme repercusión de los hallazgos de ADN antiguo, algunos autores dudan de que se pueda preservar ADN por más de 100.000 años, y sospechan que las secuencias obtenidas a partir de fósiles de millones de años corresponderían a material contaminante, por ejemplo hongos manipulados en el momento de realizar la extracción del ADN. Su principal objeción se fundamenta en el hecho de que algunos de los hallazgos reportados no se han podido reproducir independientemente en distintos laboratorios.

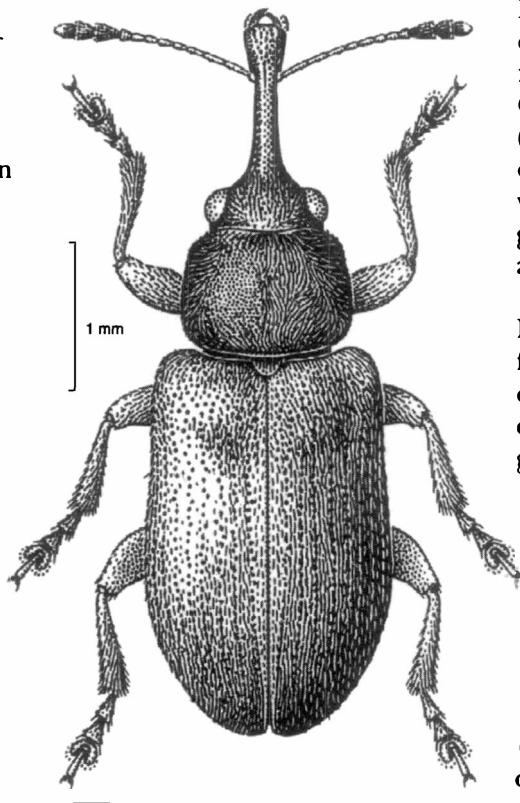
Las discusiones sobre la autenticidad del ADN antiguo continúan, sin embargo, las investigaciones en este campo no cesan. El desafío de obtener material genético de organismos que habitaron la tierra en la era de los dinosaurios es demasiado grande. La ciencia tratará por todos los medios de que la ciencia ficción se convierta en realidad.

## Ámbar, ADN y filogenia de los insectos

El hallazgo de insectos en ámbar y la posibilidad de estudiar tanto sus características morfológicas como su ADN, ha tenido un gran impacto en la reconstrucción de la filogenia de varios grupos, entre ellos las abejas (Hymenoptera, Apoidea), los gorgojos o picudos (Coleoptera, Curculionoidea) y las termitas u hormigas de la madera (Isoptera). A continuación nos referiremos más extensamente a los estudios sobre gorgojos y abejas, dado que son objeto de nuestras investigaciones en entomología.

### A. Gorgojos y evolución de sus hábitos de alimentación

Los insectos vulgarmente llamados gorgojos o picudos se reconocen por la presencia de una proyección anterior de la cabeza denominada rostro, en el extremo del cual se ubica el aparato bucal



6. Vista de una especie actual de Nemonychidae (Coleoptera, Curculionoidea).

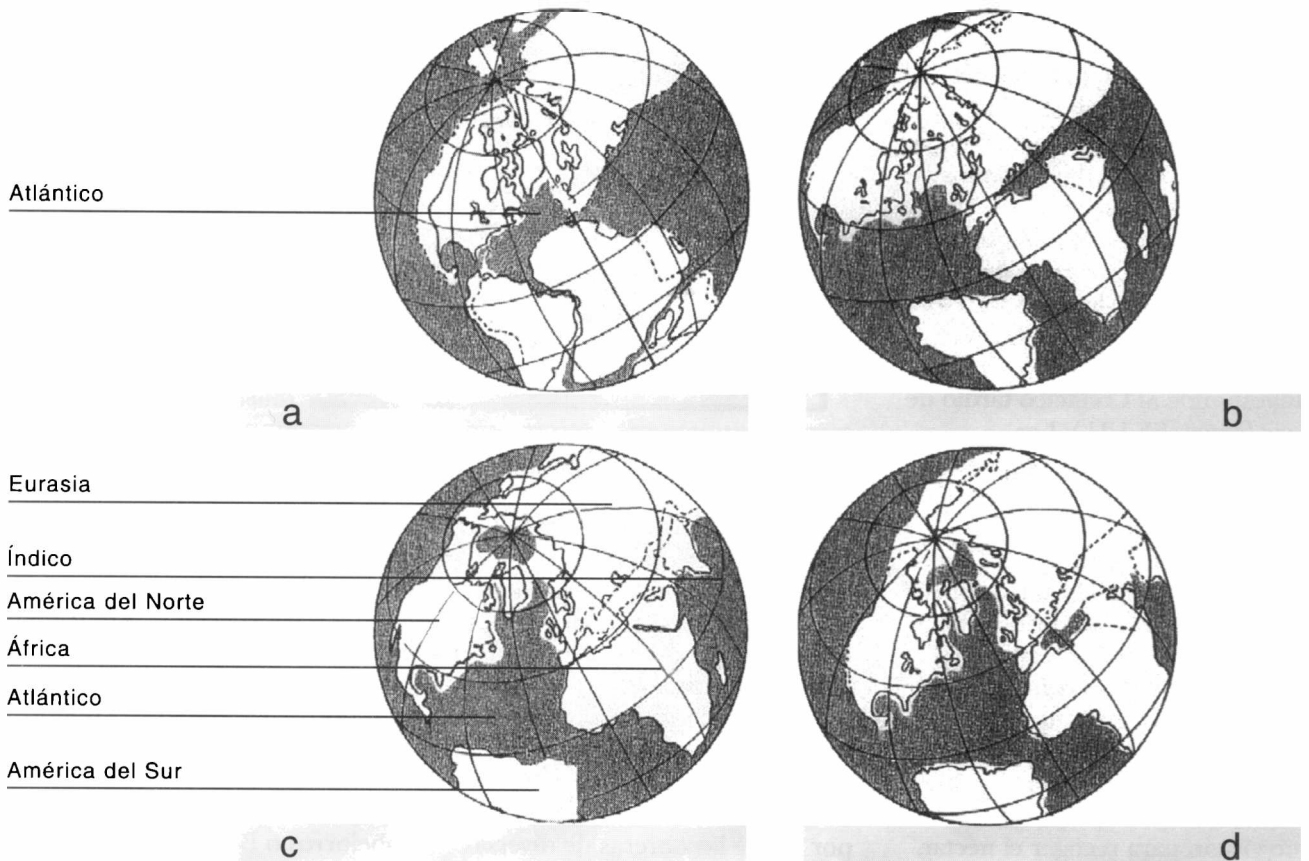
masticador (Fig. 6). Este grupo es el de mayor diversidad de los seres vivos (57.000 especies y 6000 géneros). La mayoría de las especies se alimenta sobre diferentes órganos de las plantas con flores (hojas, brotes, flores, frutos, semillas) y un número reducido de las mismas se desarrolla sobre coníferas, helechos, y otras plantas inferiores. Se supone que la radiación de los gorgojos habría ocurrido a partir del Cretácico, acompañando la gran diversificación de las plantas con flores (angiospermas).

La hipótesis de mayor consenso sobre la evolución de las familias de gorgojos vivientes, indica que las formas más primitivas serían aquellas que se desarrollan sobre coníferas. En efecto, los estudios filogenéticos realizados, señalan que la familia más primitiva, Nemonychidae (Fig. 6), incluye varias especies que se alimentan principalmente sobre araucarias, pinos y otras gimnospermas.

Esta hipótesis se vio reforzada cuando se descubrió la subfamilia Eobelinae (Nemonychidae), que comprende únicamente formas fósiles del Jurásico de Medio Oriente (Líbano) y de Asia Central (Kasajistán, Karatau), cuyos depósitos contienen una gran variedad de coníferas y otras gimnospermas, pero no angiospermas.

Otro dato que sugiere que Nemonychidae sería una de las familias más primitivas de gorgojos, es su distribución actual discontinua en distintas regiones geográficas del planeta. Este tipo de distribución, denominada disyunta o relictual, representa los fragmentos de una distribución pasada continua, que data del tiempo en que los continentes actuales estaban conectados formando una sola masa continental (Fig. 7). En el mapa (Fig. 8) se observa la distribución disyunta de las tres subfamilias vivientes de Nemonychidae.

El hallazgo que finalmente terminó por avalar las ideas previas



7. Disposición de los continentes desde fines del Mesozoico hasta el Cenozoico temprano: a, Cretácico temprano (125 Ma); b, Cretácico tardío (65 Ma); c, Eoceno (50 Ma); d, Oligoceno (25 Ma).

sobre cuál es la familia más primitiva de gorgojos, fue el descubrimiento de la especie *Libanorhinus succinus* (Nemonychidae, Eobelinae) en los depósitos de ámbar del Líbano. Estos depósitos de 135 a 120 Ma de antigüedad, están formados principalmente por resinas de araucarias. El material genético de esta especie, sería el más antiguo conocido para un ser vivo.

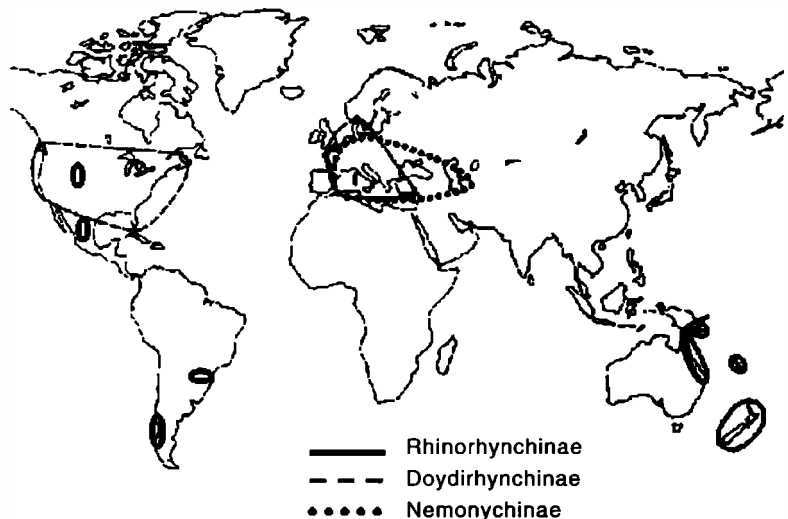
En el árbol filogenético obtenido a partir de secuencias de ADN por Cano *et al.* (1993) (Fig. 9), *Libanorhinus succinus* se relaciona más estrechamente con *Lecontellus pinicola*, también perteneciente a Nemonychidae. Las restantes especies, con relaciones genealógicas más lejanas, corresponden a otros dos coleópteros (*Hypera brunneipennis* y *Tenebrio molitor*) y a dos dípteros (la mosca de la fruta *Drosophila melanogaster* y el mosquito *Aedes albopictus*). Con este árbol filogenético los autores trataron de demostrar que la secuencia de ADN del gorgojo preservado en

ámbar no pertenece a un organismo contaminante, sino a un Nemonychidae.

### B. Abejas y evolución del comportamiento social

Las abejas constituyen el mayor grupo de insectos polinizadores,

con unas 20.000 especies conocidas (Fig. 10). Se habrían originado en el Cretácico temprano (125 Ma) levemente más tarde que las angiospermas, en una región xerófila interior del continente de Gondwana occidental (formado por los actuales continentes australes),



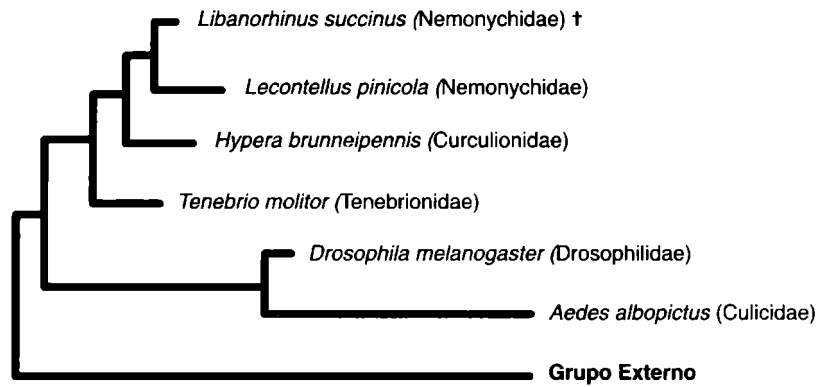
8. Distribución actual de las subfamilias de Nemonychidae: Rhinorhynchinae se distribuye en las regiones Neotropical (América del Sur) y Australiana, con un género Neártico (USA); Doydirhynchinae ocurre en la región Holártica (Europa y América del Norte); y Nemonychinae se distribuye en la región Paleártica (Europa y Medio Oriente).

donde también habrían surgido las plantas con flores. La evidencia paleontológica resulta crucial para entender la diversidad actual de las abejas e identificar los períodos de mayor diversificación.

El material hallado en depósitos de ámbar pertenece principalmente al Terciario, pero la abeja fósil más antigua conocida, *Cretotrigona prisca*, fue datada en 80 a 65 Ma y corresponde al Cretácico tardío de New Jersey (EE.UU.). Los ejemplares preservados en ámbar pueden ser estudiados con un alto grado de detalle, pudiéndose observar la estructura de sus setas, las piezas bucales, las nervaduras de las alas y otras características de gran valor diagnóstico.

Los especialistas coinciden en que las abejas tienen un antecesor común más próximo en las avispas. El desarrollo de la lengua o glosa, se relaciona con el tipo de flores que visitan para recoger el néctar. Las familias de lengua corta son consideradas más primitivas que las abejas de lengua larga, entre estas últimas encontramos las Megachilidae o cortadoras de hojas y las Apidae o abejas melíferas. En el ámbar de la República Dominicana se hallan representadas tanto las abejas de lengua corta como las de lengua larga; en el ámbar del Báltico, en cambio, predominan las de lengua larga (Fig. 4).

Las abejas corbiculadas o Apinae, son las que presentan cestillas para la recolección del polen en las patas (corbiculas) y en ellas el comportamiento social



9. Árbol filogenético de cuatro especies de Coleóptera y dos especies de Díptera, construido sobre la base de secuencias de ADN.

alcanza su máxima expresión. Se observa una marcada diferenciación en castas y división del trabajo, sumada a otras características evolucionadas, tales como el altruismo entre los miembros de una misma colonia y una gran complejidad en su comunicación química y a través de la "danza contoneada" (= danza por la que las obreras de diversas especies de abejas melíferas comunican a los otros miembros

de la colonia la localización de los hallazgos alimentarios y los nuevos lugares donde anidar).

La secuencia en la evolución del comportamiento de las abejas corbiculadas sería la siguiente: comportamiento solitario o comunal (en las abejas de las orquídeas o Euglossini); comportamiento social primitivo (abejorros o Bombini) y comportamiento social avanzado (abejas melíferas o Apini, y abejas sin aguijón o Meliponini). Los cladogramas propuestos para las Apinae, postulan dos hipótesis diferentes con respecto al origen del comportamiento social avanzado (Fig. 11). El cladograma basado en caracteres morfológicos, avala la hipótesis de un origen simple o único de este comportamiento, pues Apini y Meliponini son grupos hermanos (Fig. 11a), pero el árbol filogenético basado en datos moleculares (Fig. 11b), sustenta el origen dual de la socialidad avanzada, ya que Apini se halla filogenéticamente más



10. Abeja polinizando una flor.

Ciencia,  
arte y  
tecnología,  
pilares del  
siglo XXI.

**MÁQUINAS EXPENDEDORAS**



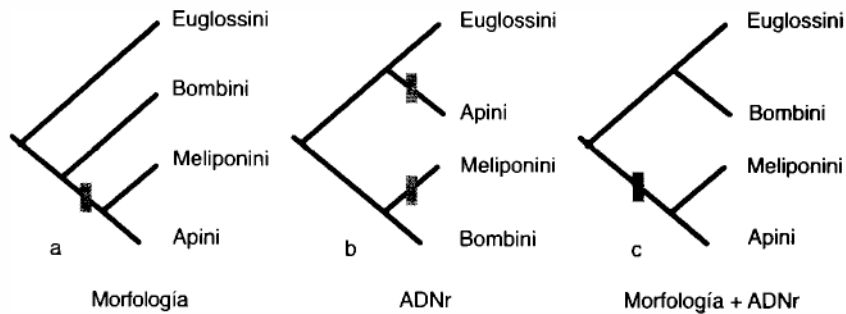
**HANSA S.A.**

Calle 60 N° 513,  
Tel.: (0221) 422-5230  
Telefax: (0221) 482-3028  
1900 La Plata (Bs. As.), Argentina  
E-mail: hansa@netverk.com.ar

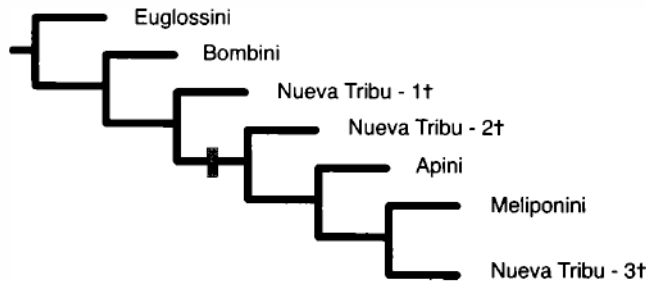


- Café express (molido en el acto)
- Café americano
- Café cortado
- Café con leche
- Chocolate
- Capuccino
- Té
- Leche
- Sopa
- Latas de gaseosas
- Botellas de agua
- Jugos en tetrabrik
- Alfajores
- Chocolates
- Golosinas





11. Cladograma (= árbol filogenético) de las tribus actuales de Apinae: a, cladograma basado en caracteres morfológicos (avala el origen único del comportamiento social avanzado); b, cladograma basado en secuencias de ADN (avala el origen dual); c, cladograma basado en caracteres morfológicos y moleculares (avala el origen único). = Comportamiento social avanzado.



12. Cladograma de Apinae, incluyendo las cuatro tribus actuales y tres tribus extinguidas en el Eoceno. = Comportamiento social avanzado.

próxima a Euglossini, y Meliponini más estrechamente relacionada con Bombini.

El análisis simultáneo de caracteres morfológicos y moleculares brindaría una solución definitiva al problema del origen del comportamiento social, ya que de la hipótesis filogenética más plausible se deduce un origen único (Schultz *et al.*, 1999) (Fig. 11c). Un resultado similar obtuvo Engel (2000) al incluir en el análisis, fósiles de ámbar del Báltico pertenecientes a tres grupos extinguidos en el Eoceno (tribus 1, 2 y 3), cuyas características son intermedias entre las que se observan en representantes de grupos vivientes (Fig. 12).

El estudio de los fósiles de abejas en ámbar ha tenido una gran repercusión en la interpretación evolutiva del comportamiento social, pero además ha abierto una gran incógnita: si las abejas fósiles más antiguas conocidas datan del Cretácico o de principios del Terciario y pertenecen a Meliponini (*Cretotrigona prisca* del Cretácico tardío de New Jersey y *Proplebeia dominicana*, del Eoceno-Oligoceno

de la República Dominicana), entonces, ya a principios del Cretácico o con anterioridad a ese período, deberían haber existido los demás grupos de abejas (Euglossini, Bombini y Apini), considerados por la mayoría de los autores como más primitivos (Schultz *et al.*, 1999; Engel, 2000). Hasta el presente, no se han hallado fósiles cretácicos de estos grupos, sin embargo, esto podría deberse a que sus especies eran

poco frecuentes en los bosques que en esa época formaron el ámbar, o a que estas especies todavía no se han encontrado, pues aún resta mucho por explorar y estudiar sobre los depósitos de ámbar.

## Conclusiones

El estudio morfológico detallado de los insectos incluidos en ámbar registra sólo medio siglo, y la extracción y secuenciación de ADN antiguo, tan sólo nueve años. Confiamos en que el milenio que recién comienza deparará importantes descubrimientos relativos al conocimiento de este tipo de fósiles y a la interpretación de cómo han evolucionado sus especies. También esperamos que aquellos que se dedican a la extracción y comercio del ámbar con fines artísticos o de joyería, tomen conciencia de que las piezas que contienen inclusiones de organismos fosilizados, deben ser depositadas en museos de ciencias naturales, a fin de que sean preservadas convenientemente y estudiadas por especialistas, pues su valor científico es incalculable.

\* Departamento Científico de Entomología, Museo de La Plata; investigador del CONICET.

\*\* *Ibid*; auxiliar docente FCNyM.

\*\*\* *Ibid*; Profesional de Apoyo CONICET.

## Lecturas sugeridas

- Cano, R. J., H. N. Poinar, D. W. Roubik & G. O. Poinar Jr. 1992. Enzymatic amplification and nucleotide sequencing of portions of the 18S rRNA gene of the bee *Proplebeia dominicana* (Apidae; Hymenoptera) isolated from 25-40 million year of Dominican amber. *Med. Sci. Res.* 20: 619-622.
- Cano, R. J., H. N. Poinar, N. J. Pieniazek, A. Acra & G. O. Poinar Jr. 1993. Amplification and sequencing of DNA from a 120-135 million year old weevil. *Nature* 363: 536-538.
- DeSalle, R., J. Gayesy, W. Wheeler & D. Grimaldi. 1992. DNA sequences from a fossil termite in Oligo-Miocene amber and their phylogenetic implications. *Science* 257: 1933-1936.
- Engel, M. S. 2000. Fossils and phylogeny: a paleontological perspective on social bee evolution. *En: Anais do IV Encontro sobre Abelhas, Ribeirão Preto, SP, Brasil*, pp. 217-224.
- Lanteri, A. A. & V. A. Confalonieri. 2001. El ADN del pasado. Estudio del material genético de las momias y los fósiles. *Ciencia Hoy* 11 (64): 45-55.
- Pääbo, S. 1994. ADN prehistórico. *Investigación y Ciencia*, enero de 1994: 64-71.
- Schultz, T. R., M. S. Engel & M. Prentice. 1999. Resolving conflict between morphological and molecular evidence for the origin of eusociality in the "corbiculate" bees (Hymenoptera: Apidae): A hypothesis-testing approach. *Univ. Kansas Hist. Mus., Special Publ.* 24: 125-138.