Perfil actual y perspectivas de la paleobotánica en México.

REINHARD WEBER Y SERGIO R. S. CEVALLOS-FERRIZ

Departamento de Paleontología, Instituto de Geología, UNAM., Circuito de la Investigación, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, 04510 México, D.F.

Resumen. Como ciencia interdisciplinaria, la paleobotánica coopera con la geología y la botánica. El número de yacimientos con fósiles vegetales en sentido amplio en México supera en mucho el número - insuficiente - de paleobotánicos del país. En orden de su antigüedad, se caracterizan siete tafofloras mexicanas, aludiendo el estado y la problemática de su estudio. Estas son las floras de las Formaciones Matzitzi (Pérmico), y Santa Clara (Triásico Tardío), del Grupo El Consuelo (Jurásico Medio), las Formaciones Cerro del Pueblo y Olmos (Cretácico Tardío), de la localidad Ahuehuetes y de la Formación El Cien (Terciario). La paleobotánica es insustituible para el entendimiento cabal de las plantas, su historia evolutiva y las extinciones, pues aporta información sobre diversidad, distribuciones e interacciones que trasciende los resultados de las extrapolaciones posibles a partir de las plantas y los ecosistemas actuales. México tiene un potencial grande y una ubicación geográfica suficientemente peculiar para poder aportar información paleobotánica esencial en las grandes síntesis a nivel mundial.

Abstract. As an interdisciplinary science, paleobotany -deals with geology and botany. The number of outcrops with fossil plants, in a wide sense, in Mexico surpasses significantly the number -insufficient - of paleobotanist in the country. Following a stratigraphic sequence seven Mexican fossil floras are characterized underlying their research and problematic status. These floras correspond to those of the Matzitzi (Permian) and Santa Clara (Late Triassic) Formations, the Consuelo (Middle Jurassic) Group, the Cerro del Pueblo and Olmos (Late Cretaceous) Formations, and the Ahuehuetes locality and El Cien Formation (Tertiary). Paleobotany has no substitute for the complete understanding of plants, their evolutionary history and extinctions. It gives information about diversity, distribution and interactions that override results obtained on extrapolations based on observations of extant plants and ecosystems. Mexico has a great potential and peculiar geographic location to contribute important paleobotanical information essential for the large synthesis of plant history at a world-wide level.

INTRODUCCIÓN

En el transcurso de 150 años, se ha descubierto en México un número de floras fósiles que, si bien no es muy elevado, supera en mucho el de los paleobotánicos del país activos en investigación. Las publicaciones antiguas sobre esas floras fósiles son obsoletas en mayor o menor medida, y las recientes son muy variadas tanto en intensidad como en profundidad. Sin embargo, resulta evidente el significado y la importancia que tienen los resultados de algunas investigaciones para las grandes síntesis que la ciencia paleobotánica persigue más allá de las fronteras geográficas y en cooperación interdisciplinaria con la botánica y la geología.

De las rocas con estromatolitos del Proterozoico de Sonora a las diatomitas del Terciario marino de Baja California y las dulceacuícolas, que son frecuentes desde el Terciario Tardío hasta el Cuaternario a lo largo del Eje Neovolcánico, se ha registrado una gran cantidad de depósitos con microorganismos que tradicionalmente son estudiados por paleobotánicos. Ejemplos adicionales a esto son las dinofíceas, los silicoflagelados, los coccolitofóridos y las charáceas, que con alguna frecuencia se encuentran en una gama de formaciones sedimentarias marinas o de agua dulce. Asimismo, se tiene conocimiento de localidades con restos de algas calcáreas marinas, entre rodofitas y clorofitas sifonales (dasicladáceas y codiáceas), sobre todo en el Cretácico

de Chiapas y de Veracruz. Todos estos microorganismos y algas macroscópicas fósiles, así como los estromatolitos, se excluyen de esta reseña, la cual se limita al conocimiento actual de los megafósiles de las plantas vasculares. Esto quiere decir que tampoco haremos el intento por resumir la información palinológica, y sobra decir que menos aun disponemos del espacio necesario para abarcar la arqueobotánica.

FLORAS FÓSILES DE MÉXICO CON PLANTAS VASCULARES

Pérmico. La flora de la Formación Matzitzi, Puebla

Entre las floras del Paleozoico de México, distribuidas entre Hidalgo y Chiapas, resalta por su abundancia la que se encuentra en la Formación Matzitzi, al sur de Tehuacán, Puebla (Silva-Pineda, 1970). En esta formación que carece de yacimientos de carbón, se conocen numerosas localidades con plantas fósiles. Hasta la fecha no se han recuperado palinomorfos ni animales fósiles, lo cual da a la megafiora una importancia bioestratigráfica inusitada. Su gran abundancia, sin embargo, no se equipara con su diversidad, que es relativamente baja. Se estima que no sobrepasa las 25 especies, las que desde el punto de vista taxonómico están todavía pobremente comprendidas.

Entre estas especies destacan y predominan los helechos eusporangiados (Magallón-Puebla, 1991). Una característica peculiar de la flora es la presencia de material fértil en prácticamente todos los helechos, cuyo estudio detallado es difícil debido a su preservación. En toda regla se trata de meras impresiones, sin residuos de materia orgánica.

Después de su descubrimiento a fines del siglo pasado (Aguilera y Ordoñez, 1896), y debido a la falta de estudios especializados, durante unos 70 años esta flora fue considerada como mesozoica, por analogía con la flora jurásica de la Mixteca Alta de Oaxaca. La determinación de su edad variaba entre Triásico Tardío y Jurásico Medio, hasta que Silva-Pineda (1970), con base en el primer y hasta la fecha único estudio sistemático, la asignara al Pensilvánico. La revisión de las identificaciones publicadas por Silva-Pineda y las recolecciones nuevas, realizadas por varios autores y grupos, que aportaron un número suficiente de géneros con distribución estratigráfica pérmica, llevaron paso por paso a la decisión que la edad de la Formación Matzitzi es pérmica, a pesar de que algunas de las especies registradas tienen un alcance estratigráfico más amplio que incluye el Pensilvánico Tardío (Weber, *et al.*, 1989).

Las floras del Wolfcampiano del sur de los Estados Unidos de América, son ricas en helechos pecopterídicos, pteridospermas medulosáceas y esfenofitas, acompañadas por coníferas, *Taeniopteris* y pteridospermas del tipo de *Autunia* (antes *Callipteris*). En general, semejan las floras del Pensilvánico Tardío (DiMichele y Hook, 1992). A diferencia de ellas, la flora de la Formación Matzitzi carece de la mayoría de estas formas y otras las presenta en mucho menor proporción. A la vez, contiene un representante de las gigantopteridales que en el sur de los Estados Unidos aparecieron a principios del Leonardiano (Mamay, com. pers.). Una especie de hojas de las ginkgoales, *Ginkgoites* o *Baiera* sp., y una especie de *Pterophyllum*, son elementos de la flora pérmica, desconocidos hasta la fecha en los Estados Unidos (Mamay, com. pers.). En este lugar es importante señalar que el primer autor de esta reseña ya no sostiene la identificación de una glosopterid, publicada anteriormente (Weber, Magallón-Puebla y Sour-Tovar, 1989). Esta planta, a reserva de hallazgos de material mejor preservado y de órganos reproductivos, se relaciona ahora tentativamente con *Sphenophyllum* (cf. Zenteno, 1994), y en particular con un grupo de especies características del Pérmico. Además, los helechos pecopterídicos de la Formación Matzitzi, tienen un aspecto general Pérmico, a diferencia de los que se han registrado en el Wolfcampiano de los Estados Unidos. Tentativamente, y después de una revisión amplia de material leonardiano de Texas, en el Museo Nacional de Historia Natural de Washington, se propone que la flora de la Formación Matzitzi tiene edad leonardiana.

Una de las facetas más importantes de esta flora pérmica mexicana es la presencia de varias especies que la relacionan claramente con las floras de Cataisia o de Gigantopteris. Entre ellas sobresale la gigantopterid antes mencionada, además de un helecho pecopterídico, *Fasciapteris*

sp. (Wagner, com. pers.; Magallón-Puebla, 1991) y el posible representante de *Sphenophyllum*, que puede pertenecer al grupo de *Sph. thonii*, frecuente en el Pérmico de Gondwana y de Cataisia. Por lo anterior, la flora de la Formación Matzitzi representa un eslabón fitogeográfico importante entre las floras del Pérmico del sur de los Estados Unidos de América y el Norte de América del Sur. En los Andes venezolanos, existe también una flora pérmica con gigantopteridales (Odreman y Wagner, 1979). Con este dato, se resalta la importancia de la flora de la Formación Matzitzi que se tendrá que correlacionar con las demás floras paleozoicas de México y pérmicas de Cataisia, mediante estudios sistemáticos exhaustivos. Según criterios modernos, la flora de Cataisia corresponde a un cinturón de climas cálido-húmedos (Wagner, com. pers., 1990). En contraste, el primer autor de esta reseña ya no apoya que la flora pérmica de Gondwana se relacione con la de la Formación Matzitzi, pues se descartó la presencia de una glosopterid en esta última.

En el aspecto paleoecológico existen sólo observaciones esporádicas y preliminares. Carrillo y Martínez (1981) observaron tallos de *Calamites* en posición vertical con respecto a la estratificación, sepultados *in situ*, lo cual está respaldado por el hallazgo de secuencias de paleosuelos en muchas de las secciones de la Formación Matzitzi revisadas por el primer autor. En algunas localidades, estos suelos contienen bases de troncos de árboles no identificados, algunos posiblemente de helechos, con amplios sistemas de raíces que indudablemente se encuentran *in situ*. Además, en muchas localidades se observan raíces o bases de troncos de licofitas arbóreas *in situ*. Estos datos desmienten en definitiva una interpretación previa de la Formación Matzitzi como una secuencia de flysch, que es un tipo de rocas sedimentarias francamente marinas. Al contrario, se trata de rocas fluviales del tipo «braided», depositadas en una planicie cercana a la línea de costa que se supone se encontraba hacia el occidente de la actual área de afloramiento de la formación (Morán-Zenteno, 1987).

Triásico. La flora de la Formación Santa Clara, Sonora

La primera flora fósil con restos de plantas vasculares descubierta en México, fue la de la Formación Santa Clara, del Centro de Sonora (Newberry, 1876). Los estudios sobre esta flora triásica tardía están relativamente avanzados, ya que se encuentra asociada con yacimientos de grafito, de gran importancia económica, y con yacimientos de carbón. Al parecer, es la flora regional más diversa de esta edad en Norteamérica (Weber, 1985 a). Con los estudios iniciados (Weber, datos no pub., 1973) comenzó una etapa de prolongadas e intensas recolecciones que incrementaron el registro de especies conocidas, de las aproximadamente 20 que se tenían en 1961 (Silva-Pineda, 1961) a unas 70. Ocasionalmente, en la Formación Santa Clara se encuentran invertebrados fósiles que coadyuvan a la determinación de la edad de la flora. El metamorfismo de contacto de la formación, que está

compuesta principalmente por areniscas, excluye estudios palinoestratigráficos complementarios.

La flora está constituida por esfenofitas, unas 15 especies de helechos (Weber, 1985b, c), y varias pteridospermas y ginkgoales; el grupo más diverso es el de las cicadofitas, con dos o tres cicadales y al menos 15 benetiales. Una especie de estas últimas, encontrada recientemente, confirma que este último grupo presentaba en parte ejes delgados, probablemente aunados a una forma de vida arbustiva. El resto de la flora corresponde a coníferas (Weber, 1980) y otras gimnospermas de asignación más o menos incierta o especies de órganos reproductivos. La flora ha aportado hasta la fecha varios géneros o especies nuevos para la ciencia tales como *Laurozamites* y *Sonoraphyllum* (Weber y Zamudio-Varela, datos no pub.; Weber, datos no pub.), y primeros registros para América del Norte, por ejemplo la esfenofita *Phyllothea* sp. (Hernández-Castillo y Weber, en prep.) y la gimnosperma *incertae sedis Chiropteris* sp. Un tipo de hojas semejantes a *Glossopteris* es causa de grandes titubeos de identificación (Ash, 1981).

La asignación estratigráfica de la formación al Triásico Tardío fue poco controvertida desde un principio (Newberry, 1876; Silva Pineda, 1961). En la literatura y en algunas cartas geológicas, se difundió insistentemente la asignación al Triásico-Jurásico. Sin embargo, la evidencia paleontológica en que se basó este margen amplio, no se confirmó en trabajos geológicos recientes (Abadie, 1981). Los restos vegetales muestran semejanzas significativas con las floras cárnicas del este de los Estados Unidos de América y de Europa, pero la presencia de una serie de géneros o especies conocidas de otras partes del mundo en floras más jóvenes, incluyendo el Jurásico Temprano, hace suponer que además del Cárnico, la Formación Santa Clara puede incluir estratos de edad nórica. No obstante, se descarta la posibilidad de que la Formación Santa Clara se extienda hasta el Jurásico.

El Cárnico y el Nórico son ricos en floras fósiles en muchas partes del mundo, y ya se ha realizado un estudio fitogeográfico piloto sobre ellas (Amozurrutia-Silva, 1985). Los resultados tienen que revisarse después del estudio sistemático completo de la flora de la Formación Santa Clara, y con base en criterios taxonómicos y listados florísticos uniformes para una parte representativa de las floras de estas épocas. Una de las preguntas abiertas en el contexto fitogeográfico es si en el Triásico Tardío se puede diferenciar todavía una flora tropical de climas húmedos, como la flora pérmica de Cataisia.

Además, la flora de la Formación Santa Clara es la primera en México, en la que con base en megafósiles se ha intentado reconstruir paleocomunidades vegetales mediante métodos paleoecológicos (Weber *et al.*, 1980a, b; Zambrano-García y Weber, 1985). Como resultado de esto, se tiene que varias de las especies frecuentes en la flora son indicadores paleoambientales, y que existen algunos grupos de especies recurrentes con significado ecológico. La continuación y el refinamiento de estos estudios será posible con base en el conocimiento sistemático definitivo de la flora y, a la par, con

estudios sedimentológicos de detalle sobre la formación y en especial, los estratos fosilíferos. Una de las interpretaciones más interesantes de la Formación Santa Clara ha sido propuesta por Stewart y Roldán (1991). De acuerdo con ellos, la secuencia portadora de la flora se depositó en la parte extrema suroccidental de un sistema de fosas tectónicas que se formaron en el Triásico Tardío (y hasta en el Jurásico Temprano, en el este de Norteamérica), como antecedente de la separación de la placa continental africana de la americana.

Jurásico. La flora del Grupo Consuelo, Oaxaca

Las formaciones del Jurásico Inferior y Medio de México contienen flora fósil en varios estados del país, de Tamaulipas a Guerrero. Sin embargo, los materiales mejor conocidos desde Wieland (1914; cf. Person y Delevoryas, 1982; Silva-Pineda, 1984), provienen de varias formaciones de la Mixteca Alta de Oaxaca, donde desde principios del siglo se realizaron exploraciones de yacimientos de carbón sin importancia económica. A principios del siglo, estas formaciones fueron asignadas al Liásico, pero hoy en día se consideran de edad jurásica media, gracias al hallazgo de invertibrados marinos. Hasta la fecha no se han obtenido resultados palinológicos sobre estas rocas.

A diferencia de la flora triásica de Sonora, la flora jurásica de la Mixteca Alta (y de México en general) es pobre en helechos y coníferas (Weber, 1980). El componente predominante son las cicadofitas, tanto cicadales como benetiales. Estas últimas están representadas por los órganos reproductivos en una proporción muy alta (Wieland, 1914). Un ejemplar permineralizado de *Williamsonia*, junto con otros, preservados como compresiones o impresiones, han permitido un avance considerable en el conocimiento de estos órganos (Delevoryas y Gould 1973; Delevoryas, 1991). Una especie foliar, semejante a *Glossopteris* se ha asignado al género *Mexiglossa*. La suposición anterior de Wieland (1914) de que pertenezca a la glosopteridales se ha visto debilitada no sólo por la costilla media foliar masiva, sino también porque en una localidad las hojas se recolectaron en asociación con *Perezlaria*, que es un género de órganos reproductivos muy diferentes de los que pertenecen a las glosopteridales (Delevoryas y Gould, 1971; Delevoryas y Person, 1975).

El conocimiento de las floras jurásicas se limita a la florística y a algunos aspectos morfológicos y taxonómicos, y todavía no repercute en estudios de índole estratigráfico o paleoecológico. La importancia de ésta y de las demás floras jurásicas de México, reside en la escasez de floras de este periodo en Norteamérica al norte de México, lo cual a su vez dificulta enmarcarlas en un cuadro fitogeográfico. Sin embargo, la literatura sugiere relaciones de la flora jurásica de México con la de la India. Esta impresión radica probablemente en un sesgo bibliográfico. En este momento no existe el personal de investigación necesario para un nuevo estudio profundo de estas floras, o para plantear problemas más allá del registro florístico y la morfología.

Cretácico. Los frutos y semillas de la Formación Cerro del Pueblo, Coahuila

La Formación Cerro del Pueblo, que aflora al occidente de Saltillo, se hizo famosa recientemente por el descubrimiento de restos de dinosaurios. No menos importante es la presencia en la misma formación de una flora fósil peculiar, que está constituida casi exclusivamente por numerosos conos, frutos y semillas permineralizados de una conífera y de siete angiospermas diferenciadas hasta la fecha. Gracias a su buena preservación, este material permite la aplicación de técnicas anatómicas sofisticadas y la observación de rasgos estructurales finos que sólo en ocasiones se logran en macrofósiles vegetales (Rodríguez de la Rosa y Cevallos-Ferriz, 1994). Con base en el trabajo anatómico es posible evitar los errores de identificación usuales en el estudio superficial de la forma externa, y llegar así a interpretaciones morfológicas y taxonómicas de gran alcance.

La Formación Cerro del Pueblo consiste en areniscas y lutitas, y hasta la fecha no ha arrojado fósiles marinos. Su edad campaniana se determinó con la ayuda de invertebrados marinos de las formaciones supra y subyacentes.

Por lo pronto, se han identificado en el material paleobotánico dos tipos de frutos de las zingiberales (Rodríguez de la Rosa y Cevallos-Ferriz, 1994). En uno de ellos, la identificación se logró sólo después de un análisis comparativo de los caracteres anatómicos de los representantes fósiles y modernos asignados a este orden. Las semillas de las musáceas, de este orden, tienen características muy peculiares que en conjunto las hacen únicas entre las plantas fósiles y actuales; sobre todo, presentan collar micropilar, opérculo funcional y cámara chalazal (Manchester y Kress, 1993). La comparación de los tegumentos de las semillas fósiles y actuales del grupo, revela también notables diferencias. Los tegumentos de las musáceas actuales estudiadas tienen una estructura anatómica semejante entre sí, y en las fósiles muestran otra, que a su vez las unifica entre ellas (Rodríguez de la Rosa y Cevallos-Ferriz, 1994). En el Cretácico pueden diferenciarse dos grandes grupos de zingiberales, uno que recuerda a las musáceas y otro que todavía no puede relacionarse con alguna familia del orden, pero que guarda paralelismo con la organización anatómica de las semillas de zingiberales cretácicas. Es interesante notar que los miembros cretácicos de este orden se han considerado como géneros distintos a los actuales, mientras que unas semillas del Eoceno de Norteamérica se asignaron a *Ensete*, aunque aparentemente su estructura tegumentaria corresponde con la de los representantes cretácicos (Rodríguez de la Rosa y Cevallos-Ferriz, 1994). Estas observaciones ejemplifican los problemas que a menudo se encuentran en el intento de identificar las angiospermas cretácicas con los taxa actuales. Muchas veces las dificultades son insuperables, porque en los fósiles las combinaciones de los caracteres se contraponen a las que se encuentran en los taxa actuales emparentados.

El material de Coahuila muestra que existen diferencias en la biología reproductiva entre las plantas fósiles y

actuales. Las semillas de las zingiberales actuales tienen en general un arilo, auxiliar en la zoocoria, y la capa mecánica de la semilla se localiza hacia la zona interna del tegumento externo. No se ha demostrado de manera convincente la presencia de un arilo en las semillas del Cretácico, y la capa mecánica se ubica en la zona más externa de la testa. Por tanto, las semillas cretácicas deben haber presentado dispersión y germinación diferentes respecto a las zingiberales actuales (Rodríguez de la Rosa y Cevallos-Ferriz, 1994).

Por primera vez en México, en este material se realizan estudios sobre interacciones entre plantas y animales fósiles. Uno de los frutos que se ha comparado con el de las pandanáceas, muestra en su interior pequeños canales o celdas que contienen coprolitos, presumiblemente depositados por insectos. Además, junto con los frutos se recolectaron coprolitos libres de tamaño mayor, que contienen semillas y otros restos de plantas. Esta evidencia permite enfocar algunos aspectos de la organización de las cadenas tróficas en las que los frutos representados por bayas y cápsulas, entre otros, eran una fuente de energía al menos para dinosaurios, tortugas, y aves.

Cretácico. La flora de la Formación Olmos, Coahuila

Aunque la minería de carbón en Coahuila tiene una historia antigua, la flora fósil que generó estos yacimientos se recolectó apenas a partir de 1971 (Weber, 1972), lo cual es un síntoma de la tradicional desvinculación entre el sector minero y los paleontólogos de las instituciones de educación superior de México. Los fósiles de la flora de la Formación Olmos incluyen, por un lado, restos de madera silicificada (Weber, 1972; Cevallos-Ferriz, 1992), que por su abundancia se utilizan como material decorativo en la construcción. Un ejemplo de ello es la fuente en la plaza central de Melchor Múzquiz, que está totalmente incrustada con fragmentos de madera fósil. Por otro lado, se encuentran compresiones de toda clase de órganos vegetales, sobre todo hojas de coníferas y angiospermas, cuya recolección en mayor escala es posible sólo en el interior de las minas de carbón (Weber, 1972). La roca que las contiene se desintegra a la intemperie a tal grado y profundidad, que los afloramientos naturales no son propicios para recolecciones. La edad de la flora se ha determinado como maastrichtiana temprana, con base en invertebrados marinos de las formaciones sub y suprayacentes, y con estudios micropaleontológicos y palinológicos.

La flora está constituida en primer lugar por algunos helechos, entre los cuales sobresalen dos géneros acuáticos, *Salvinia* y *Dorfiella*. *Salvinia coahuilensis* está preservada con sus esporocarpos, y es una de las especies fósiles más antiguas de este género (Weber, 1973). *Dorfiella* es un género extinto (Weber, 1976) redescubierto por Rothwell y Stockey (1994), quienes describieron una especie distinta del Cretácico de Canadá con el nombre genérico *Hydropteris*. Este último trabajo mostró que los órganos interpretados por Weber (1976) como flotadores, eran en realidad los esporocarpos del helecho, lo cual no excluye que colateralmente puedan

haber funcionado como flotadores o estabilizadores. Los demás helechos son terrestres, pero no están identificados de manera definitiva. Luego siguen las coníferas con cuatro especies: las monocotiledóneas, representadas por hojas de palmeras de los géneros forma *Sabalites* y *Phoenicites*, algunas maderas silicificadas y una inflorescencia de la misma familia y una aráceas acuática, semejante a *Pistia*. Las dicotiledóneas son bastante diversas, pero son pocas las formas que se han identificado con certeza. Incuestionable es la presencia de hojas de una magnoliácea, similar a *Liriodendron*, que en la literatura antigua recibió el nombre de *Liriodendron alatum*, y de una laurácea, cuyas hojas trilobadas se comparan con *Sassafras*, pero que son opuestas. Estos dos caracteres se encuentran ocasionalmente en el género actual *Litsea*; de modo que el material fósil se considera como próximo a *Litsea* y *Sassafras*, sin dar una identificación genérica forzada. Para la determinación de la gran mayoría de las hojas de dicotiledóneas son indispensables los caracteres de la venación y la estructura anatómica de las cutículas con los estomas. Sobre todo estos últimos nunca están preservados en el material de la Formación Olmos, que proviene de varias minas de carbón diferentes, debido al grado de madurez del carbón y a la destrucción por calcita. A pesar de las grandes dificultades prácticas y teóricas consecuentes, el estudio detallado de esta flora es importante, sobre todo para la fitogeografía del Cretácico Tardío de Norteamérica. No se puede avanzar actualmente en este objetivo por falta de personal de investigación.

La Formación Olmos está constituida por areniscas finas y medias de color beige y lutitas gris claro, las cuales, cerca de la base de la formación, contienen el carbón explotado en las minas mencionadas. La secuencia sedimentaria de la Formación Olmos, junto con las sub y suprayacentes, corresponde a un paleodelta. Los mantos de carbón indican la presencia de una cubierta de vegetación bajo la cual se acumulaba turba, en tiempos cretácicos. Estas turberas del contexto deltáico reciben el nombre de «back-swamp». Además, en el régimen sedimentario correspondiente, había lagunas del tipo deltaico o costero, y cauces de ríos, que están representados por areniscas. En el aspecto paleoecológico, fueron de particular interés las recolecciones realizadas en el interior de la mina Nueva Rosita No. 6, donde se encontraron en el techo de un cañón grandes sistemas de raíces de árboles *in situ*, expuestos en la lutita de color gris claro, encima del carbón, que son testigos de una selva asfixiada por hundimientos y la subsecuente sedimentación terrígena (Weber, 1972). En los mismos estratos, se encontraron remanentes de una comunidad de hidrófitas dulceacuícolas *in situ*, entre ellas los helechos acuáticos ya mencionados y varias angiospermas. Todas estas plantas son incuestionables indicadores de sedimentación en agua dulce estancada. Estas observaciones son, desde luego, puntuales y cualitativas. Las difíciles condiciones de recolección en las minas y la escasez de localidades bien muestreadas son limitantes poderosas para el estudio ecológico. Por otro lado, gracias

a la palinología, la paleoecología de la Formación Olmos está más avanzada de lo que se desprende de los megafósiles.

Oligoceno (?). La localidad Los Ahuehuetes, Puebla

En la región de Tepexi de Rodríguez, Puebla, se ha descubierto en años recientes una gama de localidades fosilíferas cuya edad varía entre el Cretácico (Albiano: Formación Tlayua) y el Plio-Pleistoceno (Formación Pie de Vaca). En posición estratigráfica intermedia entre éstas, se encuentra un yacimiento de cenizas volcánicas con flora, cuya edad se estima como del Oligoceno, sobre todo con base en un análisis palinológico preliminar (Martínez-Hernández, 1994). La flora fósil de esta unidad que carece todavía de un nombre estratigráfico formal, consiste en hojas, flores, frutos y semillas de angiospermas, acompañados por un hongo del género *Geastrum* (Magallón-Puebla y Cevallos-Ferriz, 1993), todos preservados como compresiones e impresiones. El número de especies foliares se estima en al menos 30.

Entre los frutos se identificó a varias leguminosas. Sobresale la presencia de *Lysiloma*, un género actualmente endémico de México, una Mimosa que de acuerdo a las comparaciones realizadas, no es idéntica con *M. arenosa*, y *Sophora*. Actualmente este último género tiene distribución amplia; asimismo se encontraron frutos de leguminosas que aparentemente representan plantas extintas (Magallón-Puebla y Cevallos-Ferriz, 1994c). También está extinto el género *Cedrelospermum*, de las Ulmaceae, con clara afinidad boreal (Magallón-Puebla y Cevallos Ferriz, 1994a). De particular interés resulta *Eucommia*, cuya distribución actual se restringe a China y que tiene su representante fósil más septentrional en Puebla (Magallón-Puebla y Cevallos-Ferriz, 1994b).

La buena preservación del material fósil permite inferir que la flora fósil no sufrió transporte a mayor distancia antes de quedar sepultado en la ceniza. Entre las especies foliares predominan formas de dimensiones pequeñas y de textura resistente. Esto sugiere que provienen de una vegetación regional de chaparral. Las hojas grandes y delicadas son más escasas y posiblemente corresponden a un bosque en galería local de la época. El estudio taxonómico completo de la flora está en proceso, y verificará o no estas suposiciones.

Oligoceno-Mioceno. La Formación El Cien, Baja California Sur

En el curso de estudios paleontológicos centrados en tiburones, realizados en la Formación El Cien (Applegate, 1986), se obtuvo también una colección muy grande de maderas silicificadas, importantes por su buena preservación y elevada diversidad, sobre todo de angiospermas arbóreas. La Formación El Cien es marina en su base, pero hacia la cima contiene intercalaciones continentales costeras. La presencia de las maderas acusa un cambio notable del clima

y la vegetación del Oligoceno-Mioceno en esta región de México que hoy se encuentra cubierta de matorral xerófilo. Una de las preguntas que motivan el estudio exhaustivo de las maderas, se refiere a la ubicación actual en el territorio de México del tipo de vegetación al que corresponden estos fósiles.

El número de especies representadas por las maderas se estima actualmente en unas quince. Sin lugar a duda, la identificación de las mismas es un trabajo delicado, pues en los caracteres anatómicos de las angiospermas modernas hay frecuentes convergencias entre taxa a veces muy poco relacionados entre sí. En primer lugar se determinó a *Mimosoxylon tenax*, que se entiende como la madera de una planta cercanamente relacionada a *Mimosa*, especialmente a *Mimosa arenosa* (Cevallos-Ferriz y Barajas-Morales, 1994). La semejanza de la especie fósil con *M. arenosa* permite pensar en la posible antigüedad de algunos taxa y en su significado fitogeográfico. La misma especie se había referido anteriormente en Oaxaca como *Acacioxylon tenax* Felix. Posteriormente fue revisada y asignada a *Mimosoxylon* y probablemente es de edad terciaria (?), sin especificar. Además, en el material de Baja California se conocen otras dos maderas de leguminosas y una anacardiácea (Cevallos-Ferriz, 1992; Cevallos-Ferriz y Barajas-Morales, 1994). Una de ella es muy parecida a *Acacia*, sin embargo muestra diferencias que no permiten asignarla a este género. La otra leguminosa es idéntica a la madera de *Copaifera*, género que hoy se encuentra en África y América de Sur. La anacardiácea semeja estrechamente a *Tapiria*, especialmente *T. mexicana*, hoy distribuida únicamente en el sureste de México. Los datos anteriores evidencian que quizás es ilusoria la búsqueda en México de un tipo de vegetación moderno, florísticamente igual al que representan las maderas de la Formación El Cien. De esta manera, la interpretación fitogeográfica de esta flora terciaria se convierte en un reto aun más atractivo.

PERSPECTIVAS DE LA PALEOBOTÁNICA EN MÉXICO

Parafraseando un documento inédito de la Sección Paleobotánica de la Sociedad Botánica de América, la paleobotánica es interdisciplinaria y como tal contribuye a la biología y la geología, abarcando aspectos de biodiversidad en sus modalidades paleoflorística y taxonómica, de morfología y anatomía comparativa y funcional, biología evolutiva, paleoecología y estratigrafía, además de ser auxiliar en algunas áreas de la geología económica. Los ejemplos presentados en el capítulo anterior resaltan atributos de la paleobotánica relacionados con los conceptos de tiempo, interrelación floras fósiles/actuales, paleoecología/ecología, paleoclimatología/climatología, y a la vez ayudan a entender las limitaciones del uniformitarismo.

El estudio de comunidades y organismos fósiles permite comprender la dimensión tiempo, en el margen de escalas que no puede ser abordado con el enfoque neontológico. La paleobotánica posibilita el estudio histórico de diferentes

patrones de los ecosistemas terrestres, así como la búsqueda de los procesos que los controlaron a lo largo de periodos de tiempo que la biología moderna no puede abarcar. La paleobotánica permite también contar con una visión de los organismos más completa que la que se desprende de la biota actual por sí sola, y es fundamental e insustituible en la reconstrucción de la historia evolutiva. El registro fósil constituye una fuente rica en diversidad para los análisis filogenéticos, incluyendo taxa extintos de mayor o menor categoría, taxa transicionales o taxa que presentan mosaicos de caracteres no encontrados en la actualidad. En muchos grupos de plantas, su diversidad actual constituye tan sólo una muestra limitada de cada clado en particular. Asimismo, a la paleobotánica, junto con la paleontología, y sólo a ellas, corresponde el estudio de las extinciones en el pasado geológico.

Además, muchos organismos extintos tenían organización y funcionaban en forma sorpresivamente diferente de sus parientes actuales, por lo que hay un gran potencial para entender la arquitectura e interpretar la estructura de las plantas en términos de su función. El registro fósil puede ilustrar secuencias de cambio en cuanto a la distribución geográfica, grupos de caracteres y adaptaciones específicas de los organismos que sencillamente no pueden ser conocidos con base en las plantas actuales.

En el transcurso de la historia geológica, las plantas evolucionaron en un globo terráqueo cambiante, no sólo en la distribución de las placas continentales y en la composición de su atmósfera y los patrones paleoclimatológicos. La historia de la Tierra no sólo muestra modificaciones paulatinas irreversibles, sino también eventos momentáneos, catastróficos, que por su magnitud provocaron cambios muy profundos en la biósfera. Únicamente la paleobotánica, junto con las demás ramas de la paleontología, puede descifrar estos cambios, que a su vez se ven reflejados en los organismos actuales. En consecuencia, un cabal entendimiento de éstos es imposible sin la investigación paleobotánica.

La República Mexicana posee un territorio muy extenso, de unos dos millones de kilómetros cuadrados. Las exploraciones e investigaciones geológicas realizadas han comprobado que las posibilidades para la paleobotánica son múltiples. Una recopilación bibliográfica de las localidades con algún tipo de fósiles vegetales (incluyendo algas) en las provincias geológicas de Chihuahua, Coahuila y el Noreste documentó más de 100 localidades mencionadas en la literatura paleobotánica y geológica previa (Barrera-Escorcia, 1982). Las recopilaciones de la flora fósil de México, presentadas por Maldonado-Koerdell (1950) y González-Gallardo (1987) son documentos fehacientes de la existencia de numerosas localidades con flora fósil en otras provincias, aunque éstas ya se desglosaron en su mayoría, en los párrafos anteriores.

Las localidades con potencial paleobotánico no se limitan únicamente a las zonas donde afloran secuencias «clásicas» de rocas sedimentarias continentales portadoras de flora fósil, depositadas en planicies de inundación fluvial

y en condiciones deltáicas; incluyen también a las provincias geológicas cubiertas predominantemente por rocas ígneas, que tienen yacimientos de plantas fósiles importantes. Por ejemplo, existen las diatomitas dulceacuícolas antes mencionadas, sobre todo en el Eje Neovolcánico. Aunque las diatomeas fósiles no son tema de esta reseña, las diatomitas continentales en ocasiones contienen megafósiles vegetales. También hay numerosos depósitos de travertino a lo largo y ancho del país, pero con mayor frecuencia en zonas de vulcanismo joven asociado con actividad hidrotermal. Estos travertinos contienen información paleobotánica inagotable sobre plantas geológicamente muy jóvenes. Sumando esta riqueza de yacimientos fosilíferos a los que se asocian con carbón, tradicionalmente mejor estudiados, resulta evidente que en México son ilimitadas las posibilidades para el trabajo paleobotánico. Y si a estos yacimientos que de preferencia permiten la recuperación de fósiles sin estructura anatómica preservada, se añaden aquellos que contienen restos vegetales (sobre todo de madera) permineralizados, y que son muy comunes en México, el panorama se vuelve aun más alentador. Los paleobotánicos activos en investigación con que cuenta el país no pueden agotar los materiales disponibles en el país.

Si bien nos llenaría de satisfacción el poder incrementar el número de paleobotánicos activos en investigación y en docencia, en México, este incremento tan necesario y deseado encontrará justificación tan sólo en la medida en que, en un futuro, se entienda la importancia de nuestro trabajo para la solución de los problemas científicos de gran alcance, que son un tanto independientes de nuestras fronteras políticas. Paradójicamente, esto sólo es posible si se continua fundamentando que las floras fósiles de México tienen rasgos peculiares regionales o locales, que les dan un lugar insustituible en el panorama paleobotánico mundial. De antemano podemos estar optimistas en que esto es así, ya que el territorio de México es lo suficientemente grande y sus características geográficas son lo suficientemente especiales, para haber permitido siempre, como lo permiten hoy en día, la presencia de una flora regional muy peculiar y altamente endémica.

La importancia de lo que hoy es México en el contexto de los estudios paleobotánicos reside, entre otros aspectos, en que esta parte de la corteza terrestre ha tenido siempre, desde que se desarrollaron los grandes taxa de plantas vasculares existentes en la actualidad, una posición geográfica de charnela, entre las grandes extensiones de tierra firme de los hemisferios norte y sur, aunada a su ubicación, mutatis mutandis, en el cinturón de climas cálidos tropicales. Esto da a México una posición privilegiada para la investigación paleobotánica que debe reflejarse también en los planes de estudios de nuestras universidades.

LITERATURA CITADA

- Abadie VH. 1981. Geology of part of the Sierra de Moradillas, Sonora, Mexico. M. Sc. Thesis. Stanford University.
- Aguilera JG, Ordóñez E. 1896. Bosquejo geológico de México. *Inst. Geol. México. Bol.* 4-6: 1-262.
- Amozurrutia-Silva F. 1985. La taoflora de la Formación Santa Clara y la fitogeografía del Cárnico. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM.
- Applegate SP. 1986. The El Cien Formation, strata of Oligocene and Early Miocene age in Baja California Sur. *UNAM, Inst. Geol., Revista* 6: 145-162.
- Ash SR. 1981. Glossopterid leaves from the Early Mesozoic of Mexico and Honduras. *Palaeobotanist* 28-29: 201-206.
- Barrera-Escorcia G. 1982. Localidades paleobotánicas en tres provincias geológicas del noreste de México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM.
- Carrillo M, Martínez E. 1981 (1983). Evidencias de facies continentales en la Formación Matztitzi, Estado de Puebla. *UNAM, Inst. Geol., Revista* 5: 117-118.
- Cevallos-Ferriz SRS. 1992. Tres maderas de gimnospermas cretácicas del norte de México. *Anales Inst. Biol. Univ. Nac. Autón. México, Ser. Bot.* 63: 111-137.
- Cevallos-Ferriz SRS, Barajas-Morales J. 1991. Fossil woods from the El Cien Formation in Baja California Sur: Leguminosae. *Amer. J. Bot.* 78: 109.
- Cevallos-Ferriz SRS, Barajas-Morales J. 1994. Fossil woods from the El Cien Formation in Baja California Sur: Leguminosae. *IAWA J.* 15: 229-245.
- Delevoryas T. 1991. Investigations of North American Cycadeoids: *Weltrichia* and *Williamsonia* from the Jurassic of Oaxaca, Mexico. *Amer. J. Bot.* 78: 177-182.
- Delevoryas T, Gould RE. 1971. An unusual fossil fructification from the Jurassic of Oaxaca, Mexico. *Amer. J. Bot.* 58: 616-620.
- Delevoryas T, Gould RE. 1973. Investigations of North American Cycadeoids: *Williamsonia* cones from the Jurassic of Oaxaca, Mexico. *Rev. Palaeobot. Palyn.* 15: 27-42.
- Delevoryas T, Person CP. 1975. *Mexiglossa varia* gen. et sp. nov., a new genus of glossopterid leaves from the Jurassic of Oaxaca, Mexico. *Palaeontographica, Abt. B.* 154: 114-120.
- Dimichele WA, Hook RW. 1992. Paleozoic terrestrial ecosystems. En: Behrensmeyer AK, Darmuth JD, eds. *Terrestrial ecosystems through time*. Univ. Chicago Press, Chicago, 205-235.
- González-Gallardo S. 1987. Estado actual del conocimiento de plantas fósiles superiores de México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM.
- Magallón-Puebla S. 1991. Estudio sistemático y biométrico helechos del tipo *Pecopteris* (Marattiales; Pteridophyta) de la Formación Matztitzi (Permo-Carbonífero), Estado de Puebla. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM.
- Magallón-Puebla S, Cevallos-Ferriz SRS. 1993. A fossil earthstar from the Late Cenozoic of Mexico. *Amer. J. Bot.* 80: 1162-1167.
- Magallón-Puebla S, Cevallos-Ferriz SRS. 1994a. Latest occurrence of the extinct genus *Cedrelospermum* (Ulmaceae) in North America: *Cedrelospermum manchesteri* from Mexico. *Rev. Palaeobot. Palynol.* 81: 115-128.
- Magallón-Puebla S, Cevallos-Ferriz SRS. 1994b. *Eucommia constans* n. sp. fruits from Upper Cenozoic strata of Puebla, Mexico. Morphological and anatomical comparison with *Eucommia ulmoides*. *Int. Jour. Plant Sci.* 155: 80-95.
- Magallón-Puebla S, Cevallos-Ferriz SRS. 1994c. Fossil legume fruits from Tertiary strata of Puebla, Mexico. *Can. J. Bot.* 72: 1027-1038.
- Maldonado-Koerdell M. 1950. Los estudios paleobotánicos en México, con un catálogo sistemático de sus plantas fósiles (excepto Thallophyta y Bryophyta). *UNAM, Inst. Geol., Bol.* 55: 1-73.
- Manchester SR, Kress WJ. 1993. A fossil banana, *Ensete oregonense*,

- based upon seeds from the Eocene of North America and its biogeographic implications. *Amer. J. Bot.* **80**: 1264-1272.
- Martínez-Hernández E. 1994.** Presencia de *Erdmanipollis* Krutsch 1962, *Aglaoredia* Erdtman 1960 y *Apectidinium* (Costa y Downie 1976) Lentin y Williams 1977 en el Terciario de Tepexi de Rodríguez Puebla y sus implicaciones cronoestratigráficas, fitogeográficas y paleogeográficas. VIII Coloquio Int. Paleobot. Palinol., México, Progr. y Resúmenes, 8.
- Morán-Zenteno DJ. 1987.** Paleogeografía y paleomagnetismo precenozoicos del Terreno Mixteco. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias, UNAM.
- Newberry JS. 1876.** Descriptions of fossils. En: Macomb JN, edr. *Report of the exploring expedition from Santa Fe, New Mexico, to the junction of the Grand and Green Rivers ... in 1859.* Washington, D.C., 137-148.
- Odreman O, Wagner RH. 1979.** Precisiones sobre algunas floras carboníferas y pérmicas de los Andes venezolanos. *Bol. Geol. (Venezuela)*: **13**: 77-79.
- Person CP, Delevoryas T. 1982.** The Middle Jurassic flora of Oaxaca, Mexico. *Palaeontographica, Abt. B.* **180**: 82-119.
- Rodríguez de la Rosa RA, Cevallos-Ferriz SRS. 1994.** Upper Cretaceous zingiberalean fruits with in situ seeds from southeastern Coahuila, Mexico. *Int. J. Pl. Sci.* **155**: 786-805.
- Rothwell GW, Stockey RA. 1994.** The role of *Hydropteris pinnata* gen. et sp. nov. in reconstructing the cladistics of heterosporous ferns. *Amer. J. Bot.* **81**: 479-492.
- Silva-Pineda A. 1961.** Flora fósil de la Formación Santa Clara, (Cárnico) Estado de Sonora. *UNAM, Inst. Geología, Paleontología Mexicana* **11**: 1-29.
- Silva-Pineda A. 1970.** Plantas del Pensilvánico de la región de Tehuacán, Puebla. *UNAM, Inst. Geología, Paleontología Mexicana* **29**: 1-109.
- Silva-Pineda A. 1984.** Revisión taxonómica y tipificación de las plantas jurásicas colectadas y estudiadas por Wieland (1914) en la región de El Consuelo, Oaxaca. *UNAM, Inst. Geol., Paleontología Mexicana* **49**: 1-103.
- Stewart JH, Roldán-Quintana J. 1991.** Upper Triassic Barranca Group; nonmarine and shallow-marine rift-basin deposits of northwestern Mexico. *Geol. Soc. America Special Paper* **254**: 19-36.
- Weber R. 1972.** La vegetación maestrichtiana de la Formación Olmos de Coahuila, México. *Bol. Soc. Geol. Mexicana* **33**: 5-19.
- Weber R. 1973.** *Salvinia coahuilensis* nov. sp. del Cretácico Superior de México. *Ameghiniana* **10**: 173-190.
- Weber R. 1976.** «*Dorfiella auriculata*» f. gen. nov. sp. nov. Un género de helechos acuáticos del Cretácico Superior de México. *Bol. Asoc. Latinoamericana Paleobot. Palinol.* **3**: 1-13.
- Weber R. 1980 (1982).** Megafósiles de coníferas del Triásico Tardío y del Cretácico Tardío de México y consideraciones generales sobre las coníferas mesozoicas de México. *UNAM, Inst. Geología. Revista* **4**: 111-124.
- Weber R. 1985a.** Las plantas fósiles de la Formación Santa Clara (Triásico Tardío, Sonora, México): Estado actual de las investigaciones. En: Weber R, ed. *III Congr. Latinoamericano Paleont. México. Simp. Floras Triásico Tardío*, 107-124.
- Weber R. 1985b.** Helechos nuevos y poco conocidos de la taoflora Santa Clara (Triásico Tardío, Sonora) NW-México. I. Marattiales. En: Weber R, ed. *III Congr. Latinoamericano Paleont. México. Simp. Floras Triásico Tardío*, 125-137.
- Weber R. 1985c.** Helechos nuevos y poco conocidos de la taoflora Santa Clara (Triásico Tardío, Sonora) NW-México. II. Helechos leptosporangiados: Cynepteridaceae y Gleicheniaceae. En: Weber R, ed. *III Congr. Latinoamericano Paleont. México. Simp. Floras Triásico Tardío*, 139-152.
- Weber R, Magallón-Puebla S, Sour-Tovar F. 1989.** La flora Paleozoica de Puebla. *ICYT* **11**: 19-26.
- Weber R, Trejo-Cruz R, Torres-Romo A, García-Padilla A. 1980a (1982).** Nuevas contribuciones al conocimiento de la taoflora de la Formación Santa Clara (Triásico Tardío) de Sonora. *UNAM, Inst. Geología. Revista* **4**: 125-137.
- Weber R, Zambrano-García A, Amozurrutia-Silva F. 1980b (1982).** Hipótesis de trabajo acerca de la paleoecología de comunidades de la taoflora Santa Clara del Triásico Tardío de Sonora. *UNAM, Inst. Geología. Revista* **4**: 138-154.
- Zambrano-García A, Weber R. 1985.** Nuevo ensayo de un panorama de la paleoecología de comunidades de la taoflora Santa Clara (Triásico Tardío, Sonora). En: Weber R, ed. *III Congr. Latinoamericano Paleont. México. Simp. Floras Triásico Tardío*, 153-163.
- Zenteno A. 1994.** Plantas fósiles. 320 millones de años de evolución. *Escala* **4**: 36-48.