

DISCURSO DEL DOCTORANDO

PROF. DR. ROBERT HERMAN WAGNER BOON

12 de diciembre de 1985

La Paleobotánica Hullera. sus aspectos
botánicos, estratigráficos y paleogeográficos,
floras neopaleozoicas del SW de España

Excmo. Sr. Rector Magnífico.

Ilmos. Sres. Decanos.

Ilmas. Autoridades.

Queridos compañeros claustales.

Señoras y caballeros:

Ante todo quiero hacer constar mi profundo agradecimiento a la Universidad de Córdoba y a las Autoridades competentes por haberme dispensado tan alto honor. Siento una gran humildad ante tan señalada muestra de confianza y espero obrar de acuerdo con ella haciendo lo posible para contribuir con mi esfuerzo al renombre de esta Universidad. Aunque la Universidad en sí sea de creación reciente, su ubicación en la ciudad milenaria de Córdoba influye para ser consciente de la continuidad histórica del esfuerzo humano.

En esta encrucijada y al unirme a la Universidad de Córdoba no quiero olvidar que mi primer vínculo con esta Universidad es por mediación del Jardín Botánico de Córdoba, cuya creación y éxito se debe a la colaboración estrecha entre científicos de esta Universidad y el Excmo. Ayuntamiento de la ciudad de Córdoba. Es altamente positivo que la ciudad y la Universidad aunan esfuerzos para lograr una mayor calidad de vida.

Al venirme como Paleobotánico y Geólogo a la Universidad de Córdoba, donde se me ha acogido de esta forma cariñosa, debo definirme en cuanto al significado de la disciplina que represento. La Paleobotánica está a caballo entre la Botánica Sistemática y Evolutiva, y la Geología Histórica y Paleontología. Efectivamente, entre los Paleobotánicos hay Botánicos y Geólogos, cada uno con las cualidades y los defectos de la formación universitaria clásica que encasilla a los practicantes de las distintas ramas de la Ciencia, y que no se presta fácilmente al ejercicio de una especialidad que se nutre de ramas diferentes. Siendo Geólogo he tenido ocasión de percatarme de mis deficiencias en el conocimiento de la Botánica, y mis colegas de procedencia botánica han tenido que luchar para adquirir suficiente nivel geológico. Estoy convencido que estas deficiencias solamente se eliminan mediante el trabajo en equipo entre Botánicos y Geólogos. Nunca he trabajado con más ilusión que haciendo investigación paleobotánica en colaboración con colegas botánicos. Espero encontrar estos colegas en Córdoba a través del Departamento de Botánica de esta Universidad.

Agradezco profundamente al Catedrático de Botánica, Dr. E. Domínguez Vilches, su espléndida acogida al apadrinar este doctorado, así como su simpático discurso que me ha hecho recordar mis orígenes tropicales, tan apropiados al estudio de las floras carboníferas de la franja paleoecuatorial, a la que perteneció España hace unos 300 millones de años.

En los capítulos siguientes enfocaré los distintos aspectos botánicos y geológicos de la Paleobotánica Neopaleozoica.

ASPECTOS BOTANICOS

El detalle que se necesita para estudiar los aspectos botánicos de los fósiles vegetales requiere en primer lugar una preservación esmerada y luego unas técnicas especiales y, a veces, sofisticadas. Infiere el tipo de fosilización ya que a veces se preservan los detalles más mínimos de la anatomía de la planta fósil, mientras que otras veces solamente se preserva su contorno.

Reseñando rápidamente los distintos modos de fosilización, llegamos a reconocer (1) permineralizaciones, (2) moldes y contramoldes, (3) improntas y compresiones, y (4) momificaciones. Cada tipo de preservación de los fósiles vegetales permite el estudio de aspectos distintos de lo que puede ser una sola planta. Las permineralizaciones se dan cuando los tejidos vegetales están impregnados por una materia mineral que generalmente, puede ser silíce o carbonato cálcico (a menudo con algo de magnesio). Esta materia mineral circulaba disuelta por agua en los mismos ambientes donde vivía o se pudría la planta. A veces se dan casos asombrosos de la preservación en detalle de los tejidos vegetales impregnados por la materia mineral. Incluso tejidos tan perecederos como las células del gametofito han podido preservarse de este modo. Por tanto, está claro que el proceso de la impregnación de los tejidos por la materia mineral que se precipita de una solución puede efectuarse muy rápidamente. A veces da la sensación que la célula viva fue impregnada, ya que de otro modo se hubiera podrido antes.

Sin embargo, los tejidos preservados más frecuentemente son los menos perecederos, sobre todo los tejidos leñosos. Existe una literatura paleobotánica muy extensa sobre la paleoxilología que se ha constituido en una especialidad netamente diferenciada de la Paleobotánica.

Los estudios especializados sobre los vegetales permineralizados del Período Carbonífero han tenido un auge especial en los EE.UU. donde la cuenca epicontinental de Illinois se ha revelado como un área privilegiada para la preservación esmerada de los fósiles vegetales de las antiguas turberas de hace unos 300 millones de años. El material estudiado ha sido tan abundante que no solamente ha servido para la reconstrucción de las plantas de este período sino también para dar cuenta de las asociaciones sucesivas de plantas que vivían en el ambiente palustre. En este sentido cabe citar, en primer lugar, los trabajos realizados por T. L. Phillips, de la Universidad de Illinois en Urbana. En cuanto a la reconstrucción de los fósiles vegetales en sí, con todo lujo de detalles acerca de su anatomía y juntándose los distintos órganos dispersos para dar el



porte y la afinidad botánica de las diferentes plantas carboníferas, hay que citar a numerosos autores, tales como T. N. Taylor, G. Rothwell, B. Stidd, D. Eggert, etc.

Los moldes y contramoldes dan mucho menos información botánica. Enseñan la forma externa y, a veces, el interior (molde interno) de algún tronco con médula parenquimática que ya se había podrido en la vida del árbol y que, por tanto, había dejado un hueco a rellenar. También se dan casos de hojas encrustadas por travertino que luego se pudrían y que dejaban huecos que serían como moldes.

Los fósiles vegetales más corrientes en los estratos carboníferos (y de otras edades) son las improntas y compresiones. La impronta es simplemente la impresión de la hoja, del tallo, de la semilla o de cualquier órgano de la planta. Muchas veces le acompaña la materia vegetal que corresponde a la planta misma, carbonizada y, a veces, con la cutícula preservada. Si el grado de carbonización no resulta demasiado fuerte, la cutícula se preserva con su composición química original y puede ser recuperada y esclarecida por mediación de un tratamiento por ácido nítrico sin o con cloruro de potasio añadido. La cutícula refleja fielmente la forma de las células epidermales así como las estomas. En muchos casos sirve para afinar la clasificación de las hojas, hasta tal punto que el estudio de la cutícula es absolutamente imprescindible para las Angiospermas. Para los fósiles vegetales del Carbonífero no resulta tan imprescindible, aunque sí bastante útil a nivel de familia y subfamilia, llegando en algún caso a tener valor a nivel genérico.

Los detalles epidermales incluso llegan a definirse en las improntas y sin que haya cutícula preservada. En este caso hace falta que la hoja esté impresa en un sedimento muy fino, de tipo arcilloso, lo cual puede ser el caso en un sedimento lacustre. Haciendo un molde artificial que se presta al estudio por microscopio electrónico de barrido o incluso utilizando la misma impronta en cámara ambiental, se puede llegar a ver todo el detalle de las células epidermales. Últimamente, en un trabajo publicado por Hill et al. (1985) sobre un helecho del Pérmico de Arabia Saudí (es decir de sedimentos

formados hace unos 250 millones de años, aproximadamente), se han hecho fotos por SEM (microscopio electrónico de barrido) mostrando no solamente todo el detalle epidermal sino también de las esporas dentro de sus esporangios, siendo así que hasta la ornamentación de las esporas resultó impresa en el sedimento fino con el detalle necesario para que se vea esta ornamentación después de fotografiarla mediante el microscopio electrónico. Evidentemente, para lograr una preservación tan buena hace falta que los tejidos blandos no estén corrompidos, es decir que el transporte en un medio acuático sea mínimo y que las hojas se impriman en el sedimento en un estado aún muy fresco. El caso del yacimiento en el Pérmico de Arabia Saudí es muy llamativo, ya que se trata de hojas de helecho impresas en un sedimento lacustre donde, normalmente, las esperaría una maceración prolongada con la corrupción correspondiente de los tejidos blandos. El caso es aún más sorprendente, ya que las arcillas portadoras de las improntas de fósiles vegetales han sido impregnadas por óxido de hierro (limonita y hematita) en una etapa temprana de la diagénesis del sedimento. Ha robustecido a la arcilla, haciéndola resistente a la meteorización (un factor muy importante en el clima desértico de la Arabia Saudí). Así se han podido recoger ejemplares de gran tamaño en este yacimiento. Figuramos aquí unas fotos logradas por el Dr. C. R. Hill, del Museo Británico de Ciencias Naturales (Londres), sobre estos materiales (*láminas 1 y 2*). La reconstrucción de este helecho de características muy próximas a las del género actual *Marattia* se reproduce en la *Fig. 1*.

Desde luego, que las improntas no dan siempre el detalle primoroso que muestran estos ejemplares. Normalmente muestran solamente los contornos de las hojas así como su nerviación. Las improntas de tallos y troncos rara vez dan una información exacta, aunque el dibujo de los cojinetes (pulvínulos) de las licofitas suele estar representado. Muchas veces se ven también los detalles de la cicatriz foliar y de los tejidos especiales (lígula, parichnos) asociados a la cicatriz foliar y al pulvínulo. Esta información suele ser suficiente para poder determinar correctamente el género y aún las especies de licofita.

La gran cantidad de improntas que se pueden recoger de los

yacimientos carboníferos permite apreciar las asociaciones de flora (y la sucesión de asociaciones) del biotopo palustre y semipalustre, lo cual ayuda en el estudio de los paleoambientes. Es una faceta botánica que se solapa con el interés geológico, ya que el estudio de las distintas facies sedimentarias se complementa por el estudio de la asociación paleoflorística.

Las momificaciones se refieren a la preservación de la cutícula o de la pared de las esporas (o polen), sea de modo preferente sea en exclusiva. Este tipo de preservación es muy corriente en todos los sedimentos que encierran restos de vegetales con un grado de carbonización moderado, ya que depende de la estabilidad química de la cutina, es decir de las cutículas y de la pared de las esporas/polen. Los ejemplos más llamativos se encuentran en los carbones constituídos casi exclusivamente por las cutículas (los llamados 'paper coal'), habiéndose degradado todo lo demás de los restos vegetales. Aunque no son muy frecuentes se conocen varios casos de capas constituídas por cutículas. Además, todos los sedimentos con un grado de evolución determinado de la materia vegetal encierran esporas y/o polen que pueden ser liberados mediante una oxidación, sea por ácido nítrico sea por disolver la parte silíceo con ácido fluorhídrico antes de esclarecer los restos vegetales dispersos con ácido nítrico o una mezcla de cloruro de potasio y ácido nítrico (Mezcla de Schulze). Así se preparan las muestras de Palinología, la rama de la Paleobotánica que se ocupa de los microfósiles vegetales dispersos en los sedimentos, tanto los esporomorfos como el microplankton y las cutículas.

El empleo del microscopio electrónico de barrido y de transmisión permite ver hasta la ultraestructura de la pared de los esporomorfos con todo el detalle de su ornamentación así como los detalles de las cutículas.

La Palinología tiene una aplicación masiva en la exploración geológica, además del interés botánico que se deriva del estudio especializado de la estructura de estos restos microscópicos.

Es evidente, pues, la gran variedad de datos biológicos que se pueden obtener de los restos vegetales con varios modos de preservación, cada uno de los cuales requiere una técnica diferente para su estudio. Para obtener el máximo de la información botánica de cada ejemplar se necesita escoger el método más adecuado. Hoy día no hay muchos laboratorios de Paleobotánica donde exista todo el equipo físico y humano para estudiar todas las facetas de los restos fósiles vegetales. En el laboratorio se pasa desde la lupa binocular (y la lupa de mano para la primera determinación en el campo) hasta el microscopio electrónico, desde el martillo y cincel hasta el torno de dentista para preparar las improntas cubiertas parcialmente por el sedimento inorgánico. También se necesita el laboratorio químico adecuado para preparar las muestras palinológicas así como las láminas delgadas y los 'peel' que se preparan de las permineralizaciones. El microscopio óptico, con aumentos de hasta 2.000, es el instrumento diario para el estudio palinológico.

Todo esto que se apunta requiere una especialización y ya no existe el paleobotánico universal que domine todos los campos señalados y que maneje de forma adecuada la literatura copiosísima que se ha generado sobre los distintos temas paleobotánicos desde principios del siglo pasado y, sobre todo, en los últimos treinta años.

Además de los distintos modos de fosilización que llevan consigo, unos enfoques y métodos de estudio distintos, hay que considerar que la flora fósil remonta a más de mil millones de años de edad, y la flora continental a unos 450 millones de años como mínimo. La flora terrestre se ha renovado ya muchas veces, haciéndose cada vez más variada y más especializada, con la adaptación a distintos nichos ecológicos. Por tanto, el Paleobotánico tampoco puede abarcar el conjunto de la flora fósil de todas las épocas. Personalmente, me dedico a las floras carboníferas y pérmicas, es decir las que existían en el intervalo de tiempo entre los 350 y 230 millones de años antes de la era actual. En estos 120 millones de años del Neopaleozoico hubo modificaciones importantes en la composición de las floras terrestres, ofreciendo, por tanto, un campo bastante amplio para la investigación.

ASPECTOS GEOLOGICOS

Sin querer, ya hemos tocado de vez en cuando el tema de la aplicación geológica de la Paleobotánica al mencionar los distintos tipos de preservación de los fósiles. Evidentemente, los dos aspectos, el botánico y el geológico, se complementan cuando se trata de hacer un estudio de la flora fósil. No se puede utilizar los elementos de la flora fósil para fines geológicos sin saber lo que se tiene entre manos como entidad botánica. Por otra parte, tampoco conviene menospreciar el entorno geológico, ya que interesa situar a la entidad botánica en su paleoambiente y en su tiempo geológico.

Las varias facetas de la aplicación geológica pueden resumirse así:

1. La datación de los estratos geológicos mediante el análisis de asociaciones sucesivas de restos vegetales;
2. La información paleoambiental que se deriva de los restos vegetales y que sirve de complemento al análisis paleoambiental sedimentario;
3. La información paleogeográfica y paleoclimática que se deduce de la distribución de floras en distintas épocas y en distintas partes del globo terrestre.

DATAACION ESTRATIGRAFICA

El uso que se ha hecho de los fósiles vegetales para datar los estratos sucesivos en la historia de la Tierra viene de muy antiguo. La correlación estratigráfica de los sedimentos continentales se ha hecho tradicionalmente mediante las improntas de fósiles vegetales (hojas y fragmentos de hoja sobre todo, aunque también se han utilizado tallos y troncos en algunos grupos de vegetales). Estas abundan en los sedimentos correspondientes a las zonas encharcadas de la llanura de inundación de los ríos, existen también en los sedimentos lacustres y se conocen casos de fósiles vegetales de este tipo,

todavía clasificables, en los sedimentos marinos que corresponden a facies someras y tranquilas.

Más modernamente y con gran éxito, desde la década de los cincuenta, se han empleado los elementos palinológicos, es decir las esporas y los granos de polen de los vegetales terrestres, así como el microplankton vegetal del ambiente marino. La palinología se ha revelado como un arma sumamente eficaz para la correlación estratigráfica, es decir la determinación de la equivalencia en el tiempo de estratos distintos portadores de asociaciones paleoflorísticas parecidas. Puesto que se trata de microfósiles resultan muy útiles para la identificación de los estratos que se sacan como «ripio» de los sondeos. Todas las grandes compañías petrolíferas disponen de laboratorios de Palinología para poder identificar rápidamente las edades geológicas de las unidades estratigráficas perforadas por los sondeos. Incluso las empresas de consultoría suelen ofrecer la Palinología como una técnica predilecta de identificación de los estratos. La gran ventaja geológica de los microfósiles vegetales está en su profusión, el tamaño pequeño del polen y de las esporas (que se mide en micras), su resistencia a la alteración química, y su capacidad de ser distribuidos ampliamente por el agua y el viento, llegando a depositarse estos microfósiles continentales incluso en el mar. Luego, presentan la posibilidad de determinarse el grado de «madurez» de la materia vegetal por el color de la pared de las esporas. Esto es de gran importancia para la exploración petrolífera, ya que así se determina si hay posibilidad de haberse formado petróleo en los estratos correspondientes.

La única desventaja de los esporomorfos (polen y esporas) está en su capacidad de reciclaje, por lo cual elementos de una microflora más antigua pueden mezclarse a la más moderna correspondiente al estrato que se investiga. Sin embargo, en estos casos el grado de madurez de la pared polínica es diferente para los esporomorfos reciclados que normalmente se distinguen de los no reciclados por su color más oscuro.

La composición de la microflora polínica puede variar en función del paleoambiente, siendo así que las turbas, lignitos y carbones

suelen tener microfloras con predominio de ciertas formas. Los sedimentos con aportaciones de lejos suelen tener una microflora más variada que refleja la procedencia variada de los esporomorfos. Sin embargo, en ciertos casos puede haber predominio de ciertas formas. Un ejemplo muy claro lo constituye el sedimento asociado a un manglar donde predomina netamente el polen del manglar. Si se identifica este ambiente, resulta de mucha utilidad geológica, ya que permite trazar el avance y el retroceso de la costa. En este caso no se trata de la correlación estratigráfica, sino de la identificación de un paleoambiente que se utiliza para comprender mejor la forma y la historia de la cuenca de sedimentación.

Volviendo a la correlación estratigráfica y la datación por las improntas de hojas y tallos de la flora carbonífera, de hace unos 300 millones de años, se nota que este tipo de fósiles vegetales ha permitido la identificación de 16 biozonas como mínimo para un intervalo de tiempo que corresponde a unos 75 millones de años aproximadamente (ver Figuras 2, 3 y 4). Esto quiere decir que cada biozona ocupa un intervalo de tiempo equivalente a unos 4 a 5 millones de años. Si no parece que esto sea una precisión muy grande, hay que pensar que la evolución de la vida es muy lenta y que mucho depende, además, de la precisión con que se pueden definir los taxones fósiles. La duración de cada biozona de fósiles vegetales en el Carbonífero es comparable a la que se puede esperar de las biozonas basadas en los fósiles animales, con la excepción, tal vez, de los Ammonoideos que ocupan un lugar privilegiado por tratarse de nekton con caracteres mensurables en la forma y suturación de las conchas.

El éxito indudable que han tenido las biozonas basadas en las improntas de hojas y tallos de la flora palustre en el Carbonífero, se debe a que se trata de floras que han evolucionado en un solo ambiente principal y dentro de la franja paleoequatorial, es decir dentro de unas paleolatitudes determinadas. La franja paleoequatorial de los tiempos carboníferos se extendía desde Norte y Centro-América (y aún parte del norte de Suramérica) a través de Europa, buena parte del Oriente Medio y Asia Central a la China. Es el ámbito amerosinio. Dentro de este ámbito se conoció un clima húme-

do que, asociado a las tendencias regresivas de la época, dio lugar a grandes extensiones de terreno con facies palustres, es decir un ambiente principal único. Luego ayudó que esta época vio el gran desarrollo de las hojas compuestas aplanadas (megafilas), con un desarrollo evolutivo bastante rápido sobre todo dentro del grupo de las pteridospermeas (los llamados helechos con semillas). No cabe duda de que el predominio de un solo ambiente principal es fundamental para que los cambios en la composición paleoflorística sean evolutivos y, por tanto, generalizados. Los cambios locales que obedecen a un cambio en el paleoambiente, pueden ser más bruscos y, por tanto, más llamativos, pero no tendrán el valor regional que pueden tener los cambios evolutivos. Son los cambios evolutivos que permiten la correlación estratigráfica.

Otro factor a favor de una correlación estratigráfica que se lleva a cabo con éxito, es el hecho de que las floras carboníferas de la franja paleoecuatorial proceden casi invariablemente de las cuencas de sedimentación a poca altura geográfica. Floras de tipo «alpino» existirían ya (aunque también es verdad que la adaptación a los nichos ecológicos muy especializados parece ser más bien de épocas posteriores), pero las cuencas de sedimentación a cierta altura no suelen preservarse en el registro geológico, sino que se prestan a una erosión casi inmediata. Las floras carboníferas clásicas son las que vivían en cuencas costeras o intramontanas a escasa altura. Tanto el paleoambiente como la situación paleogeográfica (paleolatitud) se mantenían más o menos constantes, así que la correlación estratigráfica puede basarse en los cambios evolutivos. Tratándose de la franja paleoecuatorial, con un clima tropical a subtropical, la flora se encuentra diversificada, habiendo varios grupos en pleno desarrollo evolutivo. En cuanto a las improntas de hojas de pteridospermeas, que constituyen una parte importante del conjunto paleoflorístico pennsylvánico (Carbonífero medio y superior), se nota que este grupo estaba en su apogeo durante el Carbonífero medio. Más adelante, en el transcurso del Carbonífero superior, los helechos pecopterideos son los que se desarrollan más ampliamente. La correlación estratigráfica por las improntas de fósiles vegetales se basa fundamentalmente en las hojas de estos dos grupos de plantas en los estratos de edad carbonífera.

INFORMACION PALEOAMBIENTAL

El aspecto paleoambiental de los fósiles vegetales del Carbonífero ha despertado el interés de muchos paleobotánicos últimamente. Existen tres tipos de asociación paleoflorística con respecto a la sepultura de los restos vegetales, es decir las alóctonas, hypoaútóctonas y autóctonas. La aloctonía implica un transporte más o menos lejano y los ambientes sedimentarios correspondientes son los marinos, lacustres y semilacustres. Dentro de los sedimentos marinos formados en ambientes de sedimentación tranquila resulta relativamente frecuente encontrar restos flotados de plantas terrestres. Suelen ser troncos flotados y fragmentos macerados de tallos y hojas representando los tejidos más resistentes a la corrupción. En general, son briznas vegetales procedentes de los tejidos leñosos. El tamaño de estas briznas se relaciona con su procedencia más o menos lejana. Entre las briznas vegetales se encuentran a veces fragmentos de hojas aún clasificables. En este caso se trata de una sedimentación tranquila sin grandes corrientes de agua capaces de desmenuzar el fragmento vegetal, después de su maceración por el agua y la correspondiente corrupción de los tejidos blandos. Las asociaciones totalmente alóctonas ofrecen una mezcla de plantas que vivían en ambientes variados. Esta mezcla es muy evidente en el caso de las plantas preservadas en sedimentos marinos, pero se hace notar asimismo en los lacustres y, en menor grado, en los semilacustres. En todos estos sedimentos se nota que la preservación de los fósiles vegetales aún clasificables depende de su coherencia después de haberse corrompido los tejidos blandos. Se nota que las hojas (o pínulas) con una nerviación reticulada tienen más probabilidades de conservarse más o menos enteras que las de nerviación no reticulada. La presencia de una cutícula fuerte también juega un papel en la coherencia de la hoja. Por tanto, hay una selección por la resistencia a la desintegración del resto vegetal. Las asociaciones alóctonas evidentemente no sirven para determinar el paleoambiente original de los restos vegetales componentes de la asociación. La proporción entre los restos clasificables y las briznas vegetales puede dar un criterio del grado de aloctonía.

Las asociaciones hypoaútóctonas son las más comunes, además

de ser las más útiles para la datación y correlación estratigráficas. Se trata de fósiles vegetales transportados a distancias cortas y, generalmente, por un mecanismo de transporte en masa que conserva con bastante fidelidad la asociación primitiva según el habitat. Estas asociaciones presentan un porcentaje pequeño de briznas maceradas y una proporción alta de hojas con tamaños que varían generalmente entre varios centímetros y decímetros. Los clásicos yacimientos de improntas vegetales en el Carbonífero productivo de Europa y de Norteamérica pertenecen a la categoría de las asociaciones hypoa autóctonas. Se suelen encontrar en el techo de las capas de carbón y corresponden a la vegetación palustre que vivía en las zonas encharcadas de la llanura de inundación de los ríos. En épocas de crecida de los ríos, cuando se movilizaron los sedimentos no consolidados del cauce y, sobre todo, de los diques, se produjeron corrientes densas de lodo mezclado a limo que arrasaron a raíz a la vegetación, incorporándola al sedimento que se iba depositando. Los ejemplares preservados por este mecanismo son, a veces, de gran tamaño, y se presentan con aspecto fresco. Puesto que la corriente densa es capaz de desmembrar, los ejemplares grandes se encuentran más bien en la parte proximal del depósito sedimentario, disminuyendo los tamaños medios cuanto más alejado esté el resto vegetal de su lugar de origen.

También se conocen asociaciones hypoa autóctonas en sedimentos lacustres, dándose casos de ejemplares de gran tamaño en depósitos lacustres formados cerca del lugar de origen. Los sedimentos lacustres, pues, pueden encerrar asociaciones hypoa autóctonas y asociaciones alóctonas, siendo esencial el cómputo de la proporción entre briznas vegetales y los restos clasificables, así como el tamaño medio de los restos clasificables. Con una mayor aloctonía disminuirá el tamaño medio y aumentará la proporción de briznas.

Las asociaciones autóctonas son menos frecuentes. El caso más claro lo constituyen los suelos de vegetación mostrando las raíces *in situ*. Los bosques sepultados en posición de vida por venidas en masa de arena fina y limo movilizados por el rompimiento de diques de los ríos constituyen también asociaciones autóctonas. En todas las cuencas hulleras se conocen casos de árboles sepultados de pie

con alturas de hasta 5-6 metros, aunque normalmente se los encuentra con menos altura. Los árboles con mucha madera suelen mostrar la forma cónica como resultado de la corrupción del tronco del que queda solamente la parte basal. Los troncos de los árboles suelen encontrarse envueltos por sedimentos arenosos depositados a poca distancia de su origen, generándose a menudo un depósito masivo de varios metros de espesor. La madera de los árboles se pudría a continuación, dejando huecos (moldes) que luego se rellenaban por otro sedimento venido posteriormente. En los terrenos carboníferos es frecuente encontrar moldes internos «de pie» de los **Calamites** arborescentes, y moldes de licofitas (**Lepidodendron**, **Lepidophloios**, **Sigillaria**, etc.) (ver lámina 3). El espaciado de los troncos permite darse idea del tamaño (circunferencia) de la copa de los árboles, ya que el clima húmedo permitiría la máxima densidad de árboles, es decir la distancia mínima entre los componentes del bosque hasta tocarse las copas de los árboles formando una canopia perfecta.

Los estudios paleoecológicos de restos vegetales se llevan conjuntamente con el estudio sedimentológico, ya que así se entiende mejor el paleoambiente y el tipo de asociación paleoflorística. Ilustramos aquí algunos ejemplos descritos últimamente por Iwaniw (1985) que estudió paleoambientes carboníferos de una región de la provincia de León, en la Cordillera Cantábrica. Las figuras 5 a 8 muestran asociaciones paleoflorísticas en función del ambiente sedimentario y el tipo de cuenca de sedimentación. En este caso son paleovalles con un relieve importante. La movilidad tectónica de esta región hizo que la sedimentación fuera muy rápida, lo cual dio lugar a varios subambientes dentro de un contexto general de clima tropical húmedo.

Los casos más interesantes de una preservación *in situ* los constituyen las asociaciones florísticas preservadas por una permneralización de las plantas que vivían en el lugar donde las alcanzaron las aguas cargadas de sílice o carbonato disuelto. La materia mineral se precipitó en el interior de las células conservando su forma y evitando la compactación posterior. Los ejemplos clásicos son de las permneralizaciones parciales de turberas, en cuyo caso los

restos vegetales ya estaban descompuestos en mayor o menor grado antes de efectuarse la permineralización. Sin embargo, también se dan casos de permineralización de tejidos perecederos, lo cual hace pensar en la fosilización instantánea de plantas viviendo *in situ*.

Los famosos «coal balls» de la literatura paleobotánica inglesa constituyen el ejemplo clásico de la permineralización de una acumulación de restos vegetales en un ambiente generador de carbón. Son objetos elipsoidales de constitución calcárea que se encuentran dentro de algunas capas de carbón. Son muy frecuentes en la cuenca de Illinois en los EE.UU. y se han encontrado en muchos países, aunque mucho más raramente. En España se conoce solamente una localidad de coal balls, en el Westfaliense B-C de Truébano, en la provincia de León. La formación de los coal balls se discute todavía, pero puede haber sido de distinta manera según la localidad que se investiga. Stopes y Watson, en un estudio clásico publicado en Inglaterra, postularon que la transgresión marina que siguió a la acumulación de restos vegetales que iba a constituir la capa de carbón de la localidad de Burnley, Lancashire, penetraría la parte superior de la capa impregnándola de forma irregular con el carbonato cálcico con algo de magnesio que rellenaba las células de las plantas aún sin compactar. Por otra parte, los estudios recientes realizados en la cuenca de Illinois, EE.UU., indican que la permineralización puede ocupar toda la altura de una capa de carbón y que se presenta en cuerpos de forma sinuosa. Esto ha sugerido a los investigadores americanos que la permineralización está relacionada con antiguos cursos de agua en una región pantanosa.

En el caso célebre de la turbera devónica de Rhynie, en Aberdeenshire, Escocia, hubo una penetración de los tejidos vegetales por sílice que se precipitaba en capa. En este caso la presencia de sílice disuelto en cantidad se debía, probablemente, a efectos volcánicos. Permineralizaciones parciales o enteras también pueden efectuarse mediante la lluvia de cenizas volcánicas, facilitando sílice para disolver en las aguas pantanosas. Un caso de este tipo lo conocemos del Carbonífero superior de Puertollano (Ciudad Real), donde las células de los tejidos leñosos de la sifonostela de la licofita *Sporangiostrobus* se encuentran rellenas por sílice procedente de

una toba ácida que encierra estos fósiles. La toba se intercala en una capa de carbón cuyo contenido en esporas indica que proviene en gran parte de los árboles portadores de la fructificación **Sporangiostrobus**. Por tanto, la lluvia de cenizas fosilizó una asociación florística representativa del ambiente palustre que dio lugar a la capa de carbón. Esto implica una cierta autoctonía. Sin embargo, los ejemplares de **Sporangiostrobus** y otros restos vegetales que se encuentran en la misma toba, se disponen prácticamente paralelos a la estratificación. La toba no encierra ningún árbol en posición de vida y es evidente que los restos vegetales incorporados en la toba llegaron a esta parte de la zona pantanosa por flotación desde el lugar donde vivían las plantas correspondientes. El ambiente fosilizado por la lluvia de cenizas era, pues, un ambiente acuático fuera de la zona donde crecieron los árboles portadores de la fructificación **Sporangiostrobus**. Por otra parte, los ejemplares de **Sporangiostrobus** preservados en la toba, tienen un tamaño bastante considerable y han mantenido una cierta coherencia, a pesar de presentar señales de desintegración y de tener los tejidos parcialmente corrompidos. **Sporangiostrobus** (láminas 4 y 5) es la parte terminal de troncos o ramas principales de árboles probablemente no muy altos, con la anatomía normal de una rama (son ramas fértiles más bien que estróbilos). Están revestidas por esporofilos y esporangios dispuestos en espiral y con una lámina distal que solapa ampliamente a las demás. Se puede deducir que estas ramas fértiles perderían su parte terminal con esporangios (mega y micro-esporangios mezclados por zonas) al madurarse las esporas y que estas partes fructificadas flotarían en la lámina de agua existente en la zona pantanosa. Es evidente por las distintas etapas de desintegración en que se encuentran los ejemplares recogidos (ver láminas 4 y 5), que esta planta dependía de la desintegración paulatina para la diseminación de sus esporas. Por tanto, a pesar de encontrarse los ejemplares flotados, debe considerarse la asociación hypoaútóctona y casi autóctona, ya que el transporte debe haber sido mínimo al encontrarse tantos ejemplares de gran tamaño (hasta 60 cm de largo) y con un grado de desintegración tan poco avanzado. Por otra parte, los tejidos blandos (parenquimáticos) están siempre corrompidos y sustituidos por la toba que invadía los huecos dejados por la corrupción de los tejidos. Se ha podido deducir que, después de

desprenderse la parte fértil de las ramas o tronco del árbol, se separaban primeramente las láminas distales de los esporofilos y, acto seguido, los esporangios, quedando la parte horizontal de los esporofilos adheridos a la rama (*lámina 4, figura 4, lámina 5, figura 3*). En el material recogido son raros los ejemplares con las láminas distales preservadas, muy comunes los que muestran aún los esporangios, y raros los que solamente preservan las partes horizontales de los esporofilos. Es evidente que el transporte fue en una distancia muy corta. Por tanto, aunque la agrupación de fósiles encontrados en la toba de la Capa III de Puertollano representa un material flotado, se aproxima a una asociación autóctona.

Asociados a los *Sporangiostrabus*, que forman el grueso de la agrupación de fósiles en este yacimiento, se encuentran restos de frondes de helecho (*Pecopteris, Scoleopteris*) y de Calamitáceas (*Annularia, Asterophyllites, Calamites*). También estos restos vegetales están dispuestos paralelos a la estratificación, notándose además que los restos de fronde de pecopteridea (helechos) son relativamente grandes, lo cual confirma el transporte en distancia corta. Todo apunta, pues, a una asociación hypoaúctona que se asemeja a la autóctona, la cual se puede interpretar como formada por grupos de licofitas y de Calamitáceas en la orilla de la región lacustre/pantanososa, con los helechos arborescentes detrás en tierra algo más seca.

Las asociaciones florísticas autóctonas e hypoaúctonas del Carbonífero reflejan generalmente ambientes palustres con plantas higrófilas. También se conocen en las asociaciones hypoaúctonas y alóctonas plantas mesófilas que habitaban áreas con mejor drenaje, sea dentro de la cuenca de sedimentación sea en el borde de la cuenca. La diferencia que se ha notado en la composición de la flora fósil de las cuencas costeras (parálicas) y las intramontanas (limnias) obedece a la mayor proporción de plantas higrófilas en las cuencas costeras que, por tanto, tienen una flora más variada. Aunque no suelen ser más variadas, los registros de plantas mesófilas son más comunes en las cuencas intramontanas. Un caso aparte lo constituyen las coníferas que prácticamente no se encuentran en las cuencas costeras y que, a partir del Carbonífero superior más

moderno, se encuentran muy a menudo en las cuencas intramontanas. Son plantas que probablemente vivían en suelos con un drenaje muy bueno, fuera del ambiente palustre que dio lugar a las capas de carbón y que ha proporcionado la inmensa mayoría de los registros de flora fósil del Carbonífero de la franja paleoequatorial tropical y subtropical.

Resulta evidente que así se ha obtenido una visión muy parcial de la flora carbonífera. De vez en cuando salen registros de plantas que vivían fuera del ámbito palustre y sus inmediaciones. Sin embargo, son raros y presentan generalmente restos muy fragmentarios, ya que fueron transportados fuera de su hábitat. Forman parte de asociaciones florísticas alóctonas. Ya mencionamos que las floras que vivían a cierta altura tampoco tenían registros, ya que las cuencas de sedimentación a alturas de miles de metros suelen erosionarse a poco tiempo (geológicamente hablando) de su formación. Los registros, pues, se limitan prácticamente a floras que vivían a poca altitud.

El estudio paleoecológico de las agrupaciones de plantas fósiles en las localidades carboníferas conoce muchas limitaciones y la reconstrucción de las asociaciones primitivas se hace con muchas reservas y haciendo valer también factores ambientales que se derivan de un estudio sedimentológico de las rocas encajantes (figuras 5 a 8).

APLICACION PALEOGEOGRAFICA Y PALEOCLIMATICA

El grado de diversificación y la distribución de las floras fósiles reflejan el clima y, en términos generales, la paleolatitud, ya que los registros son de poca altura geográfica. En distintas épocas de la historia de la tierra se marcan las zonas climáticas paleolatitudinales con más o menos nitidez. Depende, sobre todo, de la presencia de un casquete de hielo en uno de los polos, ya que esto regula las grandes corrientes oceánicas e influye en la circulación atmosférica. El Carbonífero medio y superior (Pennsylvánico) vio una diferenciación clara de las floras de acuerdo con una distribución paleolatitudinal motivada por el casquete de hielo que se formó en el polo

sur. Se distinguen tres grandes áreas paleoflorísticas para este período. Son la Gondwánica (hemisferio sur), Amerosínica (franja paleoecuatorial *sensu lato*) y de Angará (hemisferio norte). Los climas correspondientes son fríos para Gondwana y Angará (árticos a templados) y más cálidos para la franja paleoecuatorial (tropical a subtropical). Se han descrito asociaciones florísticas comparables a la de la tundra actual (con árboles enanos) para el área gondwánica, mientras que el área de Angará parece haber conocido bosques del tipo taiga. La mayor diversificación de la flora carbonífera corresponde al área amerosínica, donde se desarrollaron varios grupos de plantas que no penetraron en las áreas más frías. Quizá haya como 500 veces más especies vegetales en la franja paleoecuatorial con respecto al área gondwánica, y unas 100 veces más que en la de Angará. Disminuye muy claramente la diversificación de la flora en dirección de los polos.

Los períodos con glaciario suelen caracterizarse por la inestabilidad atmosférica que se traduce en un clima bastante húmedo sobre gran parte de la superficie terrestre. Esto dio lugar a una vegetación espesa sobre casi toda el área paleoecuatorial. Siendo así que la formación de un casquete de hielo implica una bajada fuerte del nivel del mar, dio lugar a la colonización de grandes extensiones de plataforma continental. Eran tiempos muy propicios a la preservación de los restos de flora que vivía en las cuencas de sedimentación costera.

La acusada diferenciación paleoflorística ayuda en la reconstrucción paleogeográfica y la comprobación de las reconstrucciones propuestas por la determinación de la paleolatitud por la medición del paleomagnetismo.

Por otro lado crea grandes problemas para la correlación estratigráfica, ya que la escasa similitud entre las asociaciones paleoflorísticas correspondientes a las distintas paleolatitudes impide la comparación directa. De hecho, el desarrollo evolutivo que tuvo lugar en la franja paleoecuatorial no se reflejó en las asociaciones conocidas de las áreas Gondwana y Angará que cambiaron poco con respecto a la composición florística del Mississippico (Carbonífero inferior).

Es por esta razón que las asociaciones paleoflorísticas del Pennsylvánico en el área gondwánica fueron a menudo datadas como de edad mississippica.

En el Período Pérmico que siguió al Carbonífero pennsylvánico, hubo una mejora general del clima que se tradujo en la expansión del área paleoequatorial con floras termófilas. Además, la diferenciación tan fuerte de las floras con arreglo a su posición paleolatitudinal se iba borrando poco a poco con la introducción de plantas termófilas en las áreas Gondwana y Angará, cuyas asociaciones paleoflorísticas venían a ser más diversificadas. Al mismo tiempo, debía de cambiar algo la circulación atmosférica, dando lugar a una aridización progresiva sobre parte de la franja paleoequatorial y haciendo que la antigua flora amerosínica, de clima húmedo y cálido, cambiase a dos tipos de asociación paleoflorística, uno que seguía siendo de clima húmedo mientras que el otro mostraba características de una flora de ambiente más seco. Estos dos tipos distintos de asociación paleoflorística del Período Pérmico se llaman, respectivamente, Cathaysiano y Euramericano o Atlántico. Antes se pensaba que se trataba de provincias paleoflorísticas y que las diferencias entre ellas se debían a migraciones y barreras paleogeográficas. De hecho, la asociación paleoflorística cathaysiana ocupa sobre todo el área de Asia Oriental que hoy día corresponde a la China, Japón, Corea, Indochina, Indonesia, Tailandia y Malaysia. Tiene un área de transición en Tibet. Sin embargo, el tipo de asociación cathaysiana se ha visto también en el Sur de los Estados Unidos, en Venezuela, y en el Oriente Medio (Arabia Saudí, Iraq y sureste de Turquía). Ultimamente, se han señalado elementos de la flora cathaysiana también en el Sur de España, en la localidad de Guadalcanal (Sevilla). No parece ya probable que sea cuestión de migraciones y barreras paleogeográficas, sino más bien de elementos florísticos adaptados a un clima húmedo y cálido. Por tanto, esta asociación paleoflorística daría fe de unas condiciones climáticas parecidas a las que imperaban en el Carbonífero en la totalidad de la franja paleoequatorial (área amerosínica).

La localidad de Guadalcanal constituye una excepción en Europa Occidental, ya que prácticamente todas las floras pérmicas reconoci-

das en Europa Occidental (y Central) son de tipo euramericano. Están caracterizadas por la presencia de coníferas de tipo **Walchia** y por la pteridospermea **Callipteris**, además de varios elementos mesófilos (pteridospermeas en su mayor parte), pecopterideas (helechos) y esfenofitas más o menos variadas. La flora pérmica euramericana parece haber vivido en áreas con menos precipitación y con el nivel freático más bajo, es decir en áreas con un clima más seco que no se prestaba tanto a las facies palustres.

En el área de Gondwana la flora pérmica tuvo un amplio desarrollo y se caracterizaba fundamentalmente por la presencia de **Glossopteris**, un árbol de baja altura y con hojas linguaeformes mostrando un nervio central y los laterales anastomosados. Llegaron a formarse depósitos cuajados de las hojas de **Glossopteris**, casi siempre con laminación paralela y las hojas dispuestas paralelas a la laminación. Son depósitos lacustres que han sido interpretados como otoñales, ya que la presencia casi exclusiva de las hojas de **Glossopteris** hace pensar en un árbol con hojas caducas que se caerían del árbol en época de otoño. Esto concuerda con restos de madera silicificada con anillos mostrando el crecimiento anual de la misma. Delata la existencia de distintas estaciones del año, lo cual concuerda con la latitud más alta en que estaba el área gondwánica. Resulta muy ilustrativo seguir la disminución paulatina de la diversificación de la flora pérmica del área gondwánica en dirección del polo sur, que coincidía, más o menos, con el actual continente antártico.

Al norte de la franja palaeoequatorial se extendía el área de Angará que coincidió sobre todo con la actual Siberia. El polo norte parece que se encontraba en la parte más nororiental de la placa siberiana. El área de transición entre las floras propias de Angará y las paleoequatoriales, coincide con las floras de tipo Pechora, cuya área tipo está en el norte de los Urales. Dibuja una franja que bordea la placa siberiana y que pasa del norte de los Urales al norte de Groenlandia y a Alaska.

Las partes húmedas de la franja paleoequatorial que se caracterizan por las paleofloras pérmicas de tipo cathaysiano, muestran la

mayor diversificación de especies. Las partes más secas, con paleofloras de tipo euramericano, muestran una menor diversificación. Las paleofloras gondwánicas y de Angará son aún menos diversificadas, en el caso de Gondwana con un predominio claro de un solo grupo de plantas, las glossopterideas. Aunque en ambos casos, tanto en el área de Gondwana como la de Angará, las floras pérmicas de las paleolatitudes más altas guardan un aspecto especial, se nota la presencia de inmigrantes de la franja paleoequatorial. Son, sobre todo, pecopterideas del grupo *Psaronius*. Una inmigración en el sentido inverso es mucho más rara, aunque se conoce el caso de una sola especie de *Glossopteris* en la flora de tipo cathaysiano en el sureste de Turquía. Muestra que las floras empezaron a mezclarse en tiempos avanzados del Período Pérmico. Más adelante, en el Mesozoico, y sobre todo en tiempos jurásicos, la composición de la flora sería ya mucho más uniforme en las distintas paleolatitudes.

La distribución de las paleofloras, sobre todo con respecto al Pérmico, ayuda a fijar la posición relativa de las paleolatitudes y comprobar así las reconstrucciones hechas de las placas tectónicas con la ayuda del paleomagnetismo. La *Fig. 9* nos muestra la posición relativa de los continentes en el Pérmico superior, tomando como base la distribución de las paleofloras.

LAS FLORAS NEOPALEOZOICAS EN EL SW DE ESPAÑA

La constitución geológica del Paleozoico en la Sierra Morena muestra un Precámbrico y Paleozoico Inferior metamórfico y fuertemente estructurado, al que siguen varias sucesiones de edades carboníferas y pérmicas como coberteras sucesivas. Estas se presentan como sucesiones discordantes con una estructuración variable pero siempre mucho menor que los terrenos paleozoicos más antiguos. Estas coberteras carboníferas son en parte de origen continental y en parte marinas. Los estratos continentales contienen restos de flora, a veces en abundancia y con buena preservación, mientras que los marinos son más propensos a contener briznas vegetales indeterminables aunque de vez en cuando existen también restos clasificables, generalmente de tamaño reducido.

La flora carbonífera más antigua que se conoce es de la localidad de Cerrón del Hornillo (Sevilla) y de la cuenca de Valdeinfierno, en el límite entre las provincias de Córdoba y de Sevilla, donde se han recogido muestras de flora de edad tournaisiense. La cuenca de Valdeinfierno es intramontañosa y se formó como una depresión subcircular rodeada de escarpes fuertes que originaron coluvión en masa. Entre las venidas de coluvión depositadas en la cuenca se encuentran estratos lacustres y palustres con impresiones de plantas, a veces de tamaño grande, lo cual prueba su origen cercano. Representan a la flora tournaisiense clásica de Europa Occidental y Central. Aunque ya no es el único lugar en la Península Ibérica donde se ha encontrado la flora carbonífera más antigua, sigue siendo la mejor localidad para muestras de edad tournaisiense (Lámina 6, Figuras 1-2).

La otra localidad de esta edad, en el Cerrón del Hornillo, descubierta recientemente por Robardet y estudiada por un equipo de paleontólogos franceses, muestra estratos continentales y marinos y debe pertenecer a una cuenca de sedimentación más extensa, en su mayor parte marina. Es probable que sea la cuenca que en tiempos viséenses se extendiera desde la dorsal de Beja en el Suroeste hasta más allá del Batolito de los Pedroches en el Nordeste (Figura 10). Esta cuenca, cuya configuración fue esbozada por Quesada y Gabaídón en 1983, perduraría hasta bien entrado el Namuriense. Los sedimentos viséenses de esta cuenca de sedimentación de edad mississippica son generalmente marinos, aunque existen intervalos continentales con suelos de vegetación y alguna capa delgada de carbón. Además, encierran un episodio volcánico-sedimentario que se hace notar en una zona determinada (eje magmático viséense). Las facies marinas son generalmente someras con fauna marina restringida y los intervalos continentales muestran transiciones graduales con los marinos.

La flora tournaisiense de la localidad El Cerrón del Hornillo es idéntica a la que se presenta en la cuenca intramontana de Valdeinfierno. Sin embargo, los ejemplares son más fragmentarios, lo cual demuestra un transporte más lejano. La flora viséense encontrada es pobre, lo cual se explica por el hecho de que se trata generalmente

de ejemplares flotados y depositados lejos de su lugar de origen. Por tanto, predominan los restos de tallos y ramas, tal como la licofita **Lepidodendron losseni** Weiss (*Lámina 7*) y la esfenofita **Archaeocalamites scrobiculatus** (Von Schlotheim). La presencia predominante de **Lepidodendron losseni** en estratos marinos (restos flotados) y estratos continentales costeros induce a pensar en un paleoambiente de tipo manglar.

Estratos de edad namuriense (pertenecientes al Namuriense inferior) y que, probablemente, forman parte de la cuenca generalmente marina del Tournaisiense y Viséense, se encuentran en una franja que aflora en unos 150 km de longitud desde Matachel en su parte noroccidental hasta cerca de Adamuz, en su parte suoriental. Los contactos de esta franja namuriense con otras formaciones geológicas son siempre tectónicos. Por tanto, no se ha podido comprobar la continuidad de estos estratos namurienses con los viséenses que los preceden en el tiempo. Sin embargo, hay una prueba indirecta de que los estratos namurienses formaron parte de la misma cuenca de sedimentación, ya que los sedimentos arcillosos del Namuriense inferior encierran olistolitos de caliza viséense que se presentan a menudo como grandes masas deslizadas de tamaños inmensos, tal como, por ejemplo, la caliza en que se asienta el Castillo de Belmez, en la Sierra de Córdoba. Se trata de sedimentos más antiguos formados dentro de la misma cuenca y deslizados por un talud submarino de edad namuriense.

Los varios retazos de esta cuenca marina de edades tournaisiense, viséense y namuriense antiguo se extienden en un área considerable (*Fig. 10*), cubriendo partes de las provincias de Córdoba, Sevilla y Badajoz. No están bien correlacionados entre sí, ya que los restos de megaflores son más bien escasos y los estudios de la microflora (esporas) todavía son incidentales. Sin embargo, es la microflora que ha podido probar la presencia de la totalidad de la Serie Viséense en la Sierra Morena.

Los restos de megaflores encontrados en estratos del Namuriense inferior son más numerosos y, sobre todo, más variados que los viséenses. No han sido estudiados con detalle todavía, pero resulta

evidente que Sierra Morena se inserta como uno de los pocos lugares en Europa Occidental y Central donde la flora del Namuriense inferior está bien representada. Se han obtenido ejemplares bastante bien preservados (*Lámina 6, Figura 3*) y de tamaños relativamente grandes en los estratos asociados con capas de carbón y suelos de vegetación en los intervalos de facies costera, donde sedimentos marinos alternan con los continentales formados en la parte superior de un delta. Luego se han recogido ejemplares más fragmentarios en sedimentos marinos de grano fino. Representan a ejemplares flotados y depositados fuera de su lugar de origen. Aunque generalmente de tamaño reducido, se encuentran a menudo impresos con un detalle finísimo gracias al grano muy fino de los sedimentos arcillosos depositados en un ambiente marino muy poco enérgico. El conjunto de la flora namuriense inferior de Sierra Morena se compara bien con las megaflores descritas de los estratos continentales de la misma edad en la cuenca de la Alta Silesia en Polonia y parte de Checoslovaquia (Moravia). Dentro de la Península Ibérica la banda namuriense de Matachel a Adamuz es única en cuanto a su flora fósil, ya que las demás localidades del Namuriense inferior en la Península presentan facies marinas no aptas para la preservación de restos vegetales clasificables. El conjunto de las especies encontradas hasta ahora suma unas treinta especies, lo cual contrasta favorablemente con la flora viséense, mucho más pobremente representada.

Después de un hiato en el tiempo que puede cifrarse en unos 15 millones de años, no representados en Andalucía, se formó la cuenca hullera de Villanueva del Río y Minas (Sevilla), de edad Westfaliense A. Los sedimentos correspondientes son continentales en su totalidad. Encierran una flora fósil abundante aunque muy poco estudiada. Sus componentes son idénticos a los que se presentan en las floras de la misma edad en el Norte de Europa (Inglaterra, Bélgica, Francia, Holanda, Alemania, Polonia), lo cual indica una paleolatitud comparable.

El siguiente intervalo representado en el Sur de España es el Westfaliense B, piso que está ampliamente desarrollado en la cuenca carbonífera de Peñarroya-Belmez-Espiel, en la provincia de Córdoba. Esta cuenca, de antiguo conocida por su importancia industrial, se

formó como un graben local con una longitud apreciable (más de 50 km que es lo que da su afloramiento actual —menor que el primitivo, desde luego—) y escasa anchura (unos pocos kilómetros). La orientación del graben es WNW-ESE y sigue las grandes líneas estructurales de la zona de Ossa-Morena, formándose la cuenca de sedimentación como consecuencia de una reactivación de las grandes fracturas del zócalo estructurado en tiempos pre-Carboníferos. Los restos de flora son abundantes y variados (*Lámina 8*), habiendo del orden de 90 especies reconocidas. La inmensa mayoría de estas especies son idénticas a las descritas del Norte de Europa, y las especies nuevas son muy pocas. Las diferencias más notables con respecto a la flora clásica del Westfaliense inferior y medio del Noroeste de Europa interesan a las pteridospermeas, sobre todo los géneros **Neuropteris** y **Alethopteris**. No hay más de tres especies reconocidas del género **Neuropteris** en Peñarroya-Belmez, y una sola de **Alethopteris**. Ambos géneros muestran una variedad mucho mayor en el resto de Europa. Hay que preguntarse si esto se debe al hecho de que la cuenca de Peñarroya-Belmez-Espiel es intramontañosa y que, por tanto, se encontraba un poco aislada geográficamente en tiempos del Westfaliense B. Es posible que muchas de las especies de pteridospermeas desarrolladas en otras partes de Europa, sobre todo en la gran cuenca parálida de Inglaterra, Mar del Norte, Países Bajos, Alemania, Norte de Francia y Polonia, no fueron capaces de migrar a este graben local en el Suroeste de la Península Ibérica.

El estudio de las improntas de flora fósil en la cuenca de Peñarroya-Belmez-Espiel está relativamente avanzado, pero falta todavía una descripción completa de las asociaciones florísticas encontradas. Sin embargo, ya se ha empezado con la descripción de una especie nueva, **Neuropteris guadiatensis** Wagner (*Lámina 8, Figura 4*) y existe un álbum de las distintas especies reconocidas hasta ahora. Hay una colección importante de los fósiles vegetales del Westfaliense B de Peñarroya-Belmez-Espiel, que se está estudiando en la actualidad.

También se ha emprendido el estudio de la microflora del Westfaliense B (¿y parte más alta del Westfaliense A?) de la zona de

hullas de llama larga en la cuenca carbonífera de Peñarroya-Belmez-Espiel por parte de la Universidad de Lille, Francia.

La composición mega- y microflorística del Westfaliense B de Peñarroya es tan parecida a la del Noroeste de Europa (Inglaterra, Francia, Países Bajos, Alemania) que su situación paleogeográfica debe haber sido cercana. Por tanto, algunas reconstrucciones paleogeográficas hechas en base del paleomagnetismo y que muestran una situación de la Península Ibérica distante del resto de Europa Occidental, no pueden ser correctas. El solar hispano siempre formaba parte de Europa Occidental.

Hay que subrayar la gran diferencia que existe entre la cuenca predominantemente marina del Tournaisiense, Viséense y Namuriense, de gran extensión geográfica, y las cuencas locales, intramontanas, del Tournaisiense de Valdeinfierno, del Westfaliense A de Villanueva del Río y Minas, y del Westfaliense B de Peñarroya-Belmez-Espiel. Las cuencas intramontanas son, por definición, de formación local, con asociaciones florísticas más restringidas que las encontradas en cuencas costeras, con influencia marina. Cada cuenca intramontana tiene su historia particular, y como su formación depende de la reactivación de fallas que hacen bajar parte del zócalo en lugares determinados y durante un lapso de tiempo determinado, resulta probable que cada cuenca funcionaba de un modo particular y durante un tiempo válido para esta cuenca solamente. Aparentemente, la etapa de las cuencas intramontanas en la Sierra Morena es, sobre todo, del Westfaliense A-B. Después del Westfaliense B de la cuenca de Peñarroya-Belmez-Espiel ya no hay registros carboníferos en el ámbito de la Sierra Morena. Sin embargo, en la prolongación de este área, es decir, dentro de la Zona de Ossa-Morena, existe una cuenca local del Westfaliense D superior en la vecindad de Santa Susana, al Este de Alcaçer do Sal, en Portugal. En territorio español hay que subir a la Zona Centro-Ibérica, en las estribaciones septentrionales de la Sierra Morena y ya dentro de La Mancha, para encontrar otra cuenca local carbonífera. Es la cuenca carbonífera de Puertollano, en la provincia de Ciudad Real, donde se encuentra una sucesión estratigráfica del Estefaniense superior. Puesto que el Estefaniense superior dista unos 15 millones de años del West-

faliense B de Peñarroya-Belmez, faltan registros de un lapso muy considerable de tiempo. Subraya la forma incidental en que se encuentran los testigos de la flora fósil neopaleozoica en el Suroeste de la Península Ibérica. En efecto, la flora carbonífera de Puertollano es totalmente diferente de la encontrada en Peñarroya-Belmez-Espiel.

La cuenca intramontana de Puertollano muestra un importante paleorrelieve en la primera etapa de su formación (un rasgo característico de las cuencas intramontanas que también fue detectado en la cuenca Westfaliense B de Peñarroya-Belmez-Espiel). Después se desarrolló como una cuenca lacustre. Se han descrito 40 especies megafiorísticas en la cuenca de Puertollano, entre las que se encuentran dos especies nuevas. También en este caso la mayoría de las especies son las clásicas de las cuencas estefanienses de Europa Occidental. Se le nota a esta cuenca su calidad de intramontana por la presencia de *Walchia piniformis* (Von Schlotheim), una conífera que indica suelos con mejor drenaje. Probablemente, esta conífera creció en los bordes de la cuenca de sedimentación, mientras que el resto de la flora vivía en las áreas palustres del régimen lacustre-deltáico en el interior de esta cuenca de sedimentación local. Queda todavía en tela de juicio si la cuenca de Puertollano enlazaba con una cuenca más amplia hacia el Este, preconizando la cuenca mesozoica en la parte oriental de La Mancha. El paleorrelieve de Puertollano parece enlazarse con un postpaís hacia el Oeste y ¿Noroeste? coincidente en parte con los actuales Montes de Toledo.

Siguen en el tiempo los depósitos del Pérmico inferior de las pequeñas cuencas aisladas de Guadalcanal y del Río Viar, ambas en la provincia de Sevilla. La mega- y microflora de Guadalcanal fue estudiada con mucho detalle por J. Broutin, de la Universidad de París, y constituye una muestra sumamente interesante de la flora pérmica antigua con representación de elementos correspondientes a distintos paleoambientes. Gracias a la amabilidad del Dr. Broutin podemos figurar algunos de los elementos más destacados de esta flora (*Lámina 9*). La cuenca de Guadalcanal se presenta como un paleovalle de reducidas dimensiones, con paleorrelieves suaves a ambos lados del paleovalle. La sucesión estratigráfica reconocida es muy pequeña (solamente unas decenas de metros) y debe corres-

ponder a una sola edad geológica. Las búsquedas muy detalladas por Broutin han arrojado un total de más de 80 especies de megaflores así como 85 «géneros» de palinomorfos. Muestran un fondo de helechos, esfenofitas y licofitas de ambiente palustre y de aspecto estefaniense-autuniense, a los que se añaden restos de coníferas y ginkgofitas procedentes, con toda probabilidad, de los bordes de la cuenca, y elementos de la flora pérmica conocidas de lugares tan remotos como Siberia (Angará), Oriente Medio (Arabia, Turquía, Iraq) y China (Cathaysia). Son estos últimos elementos que elevan la edad de la localidad de Guadalcanal a la de niveles altos del Pérmico inferior. Estos elementos «exóticos» son considerados por Broutin como inmigrantes, pero parece más probable que representen a una flora desarrollada «in situ» y que corresponde a un clima cálido y húmedo, tal como existió en el Oriente Medio y en China (Área Cathaysiana), mientras que en Europa (Área Euramericana o Atlántica) prevalecía un clima más seco, con las restricciones florísticas que este cambio climático acarrea. Sea cual sea la explicación correcta, la localidad de Guadalcanal tiene un interés patente, ya que muestra asociaciones florísticas de edad pérmica más variadas de las que se dan normalmente en Europa Occidental (incluida la mayor parte de la Península Ibérica).

La flora de la cuenca de Viar (Sevilla), estudiada también por Broutin, muestra las mismas características que la de Guadalcanal, pero es menos completa.

En conclusión, aunque el Sur de España (y Portugal) muestra una sucesión de floras carboníferas y pérmicas que es incompleta, faltando partes importantes del registro geológico, existen representaciones de varias edades, desde el Tournaisiense hasta el Pérmico inferior. A pesar de que no haya una sucesión continua de floras que permita seguir la evolución de las floras neopaleozoicas en territorio andaluz, contiene muestras muy interesantes bajo varios puntos de vista. Es evidente que la flora carbonífera andaluza se parece lo suficiente a las floras clásicas de Inglaterra, Francia, los Países Bajos y Alemania para poder afirmar que las dos áreas no estaban muy distantes entre sí en tiempos carboníferos. En cuanto al Pérmico de Guadalcanal, la composición de la flora de este lugar

sugiere que el clima seco del resto de Europa Occidental no llegó a esta parte de la Península Ibérica que, aparentemente, siguió gozando de un clima más húmedo acorde con el que imperó sobre un área más extensa en tiempos carboníferos.

Es evidente, pues, que Andalucía no solamente tiene un muestrario amplio de las floras carboníferas y pérmicas sino que también tiene un gran significado en el sentido paleogeográfico y paleoclimático. Es un área muy digna de ser estudiada en cuanto a su flora fósil neopaleozoica. El hecho de haberse fundado un centro paleobotánico dentro del Jardín Botánico de Córdoba potenciará estos estudios, dándoles base propia. Esperamos que en los años venideros el Jardín Botánico de Córdoba, en asociación con la Universidad de esta misma ciudad, verá el desarrollo de una investigación paleobotánica que tenga renombre aún más allá de la Autonomía Andaluza.

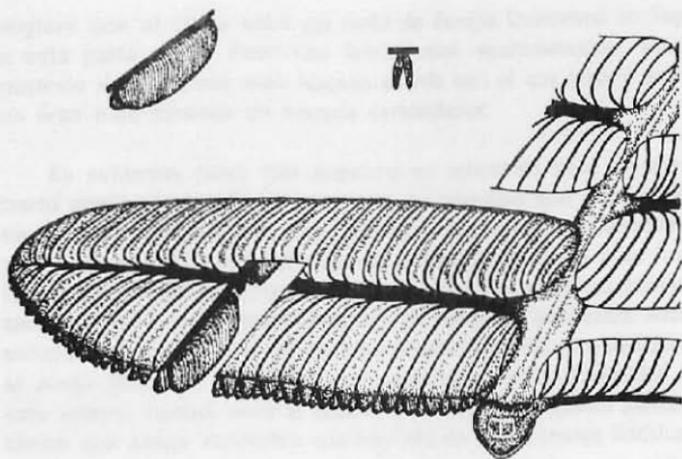


Fig. 1.—*Oasimia schyfsmae* (Lemoigne) Hill, Wagner & El-Khayal, x 4.4. Reconstrucción de pínulas fértiles con sinangios bivalvos colgados de la cara inferior de las pínulas y que se solapan al imprimirse en la roca (comparar lám. 1, fig. 1).

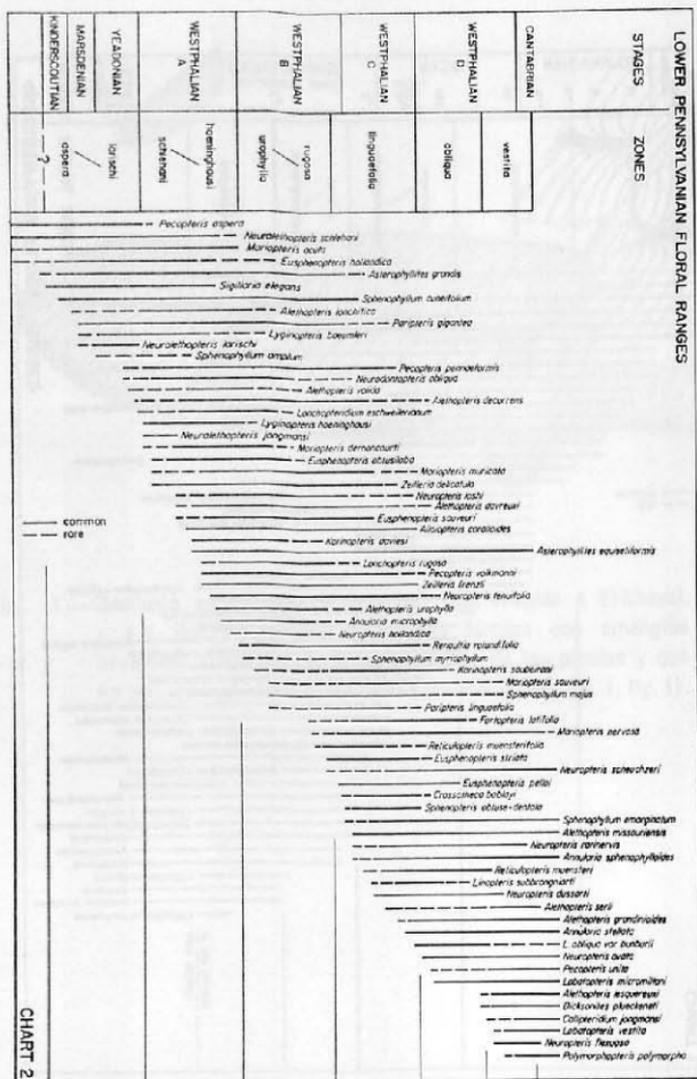


Fig. 3.—Biozonas florísticas y biozones de los taxones más destacados del Pennsylvánico inferior (Carbonífero medio). Según Wagner (1984): Megafioral Zones of the Carboniferous. C.R. 9^e Congrès Carbonifère, Washington & Champaign-Urbana 1979, 2: 109-134.

WELL DRAINED FLOODPLAIN



Fig. 5.—Imagen de la flora higo-mesófila de la llanura de inundación con drenaje adecuado. Los helechos constituyen la cobertura de árboles y las pteridospermeas el matorral. Según Iwaniew (1985): Floral palaeoecology of debris flow dominated valley-fill deposits in the lower Cantabrian of NE León, NW Spain. *Anais Fac. Ciências, Porto, Suppl. Vol. 64* (1983): 283-357.

POORLY DRAINED FLOODPLAIN



Fig. 6.—Bosque higrófilo de la llanura de inundación con drenaje malo y ambiente palustre. Helechos arborescentes en áreas pequeñas elevadas y licofitas con esfenofitas, formando bosquecillos en el ambiente palustre. Pteridospermeas constituyen matorral y trepadoras sobre los árboles. *Sphenophyllum* se encuentra en el ambiente acuático y contribuye al matorral. Según Iwaniew (1985): Floral palaeoecology of debris flow dominated valley-fill deposits in the lower Cantabrian of NE León, NW Spain, *Anais Fac. Ciências, Porto*, Suppl. Vol. 64 (1983): 283-357.



ACTIVE SHEETFLOOD MARGIN

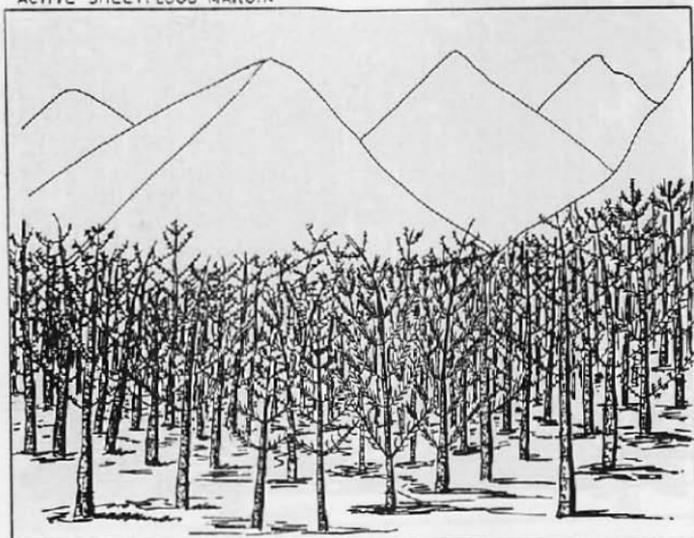


Fig. 7.—Bosque de *Calamites* colonizando areniscas finas, bien lavadas (tipo sheetflood), en la parte distal de un debris flow continental. Según Iwaniew (1985): Floral palaeoecology of debris flow dominated valley-fill deposits in the lower Cantabrian of NE León, NW Spain. *Anais Fac. Ciências, Porto, Suppl.* Vol. 64: 283-357.



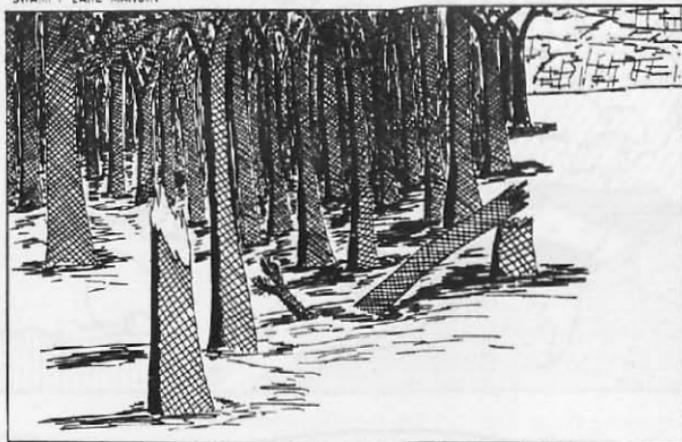


Fig. 8.—Ambiente palustre que corresponde al margen de un lago colonizado por *Lepidodendron*. Según Iwaniew (1986): Floral palaeoecology of debris flow dominated valley-fill deposits in the lower Cantabrian of NE León, NW Spain. *Anais Fac. Ciências, Porto*, Suppl. Vol. 64 (1983): 283-357.

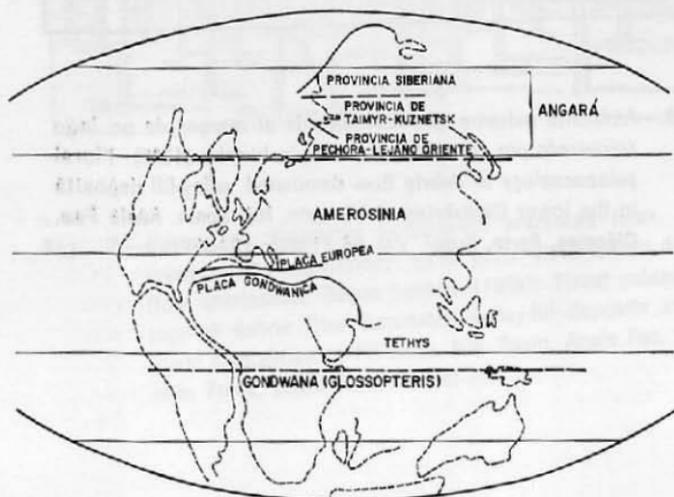
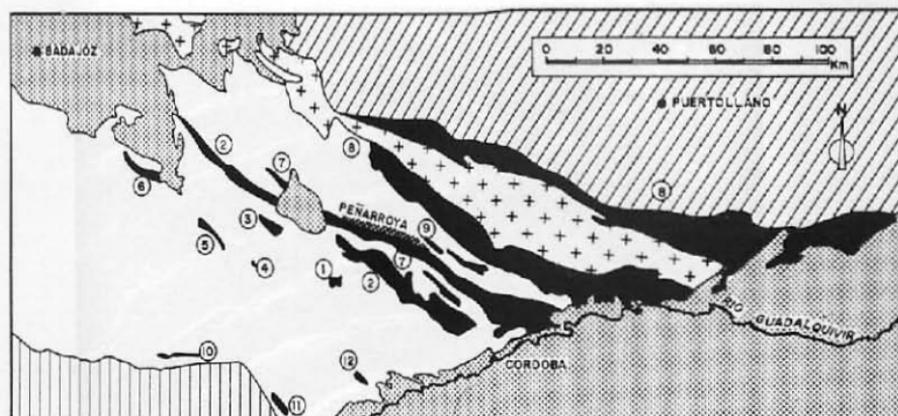
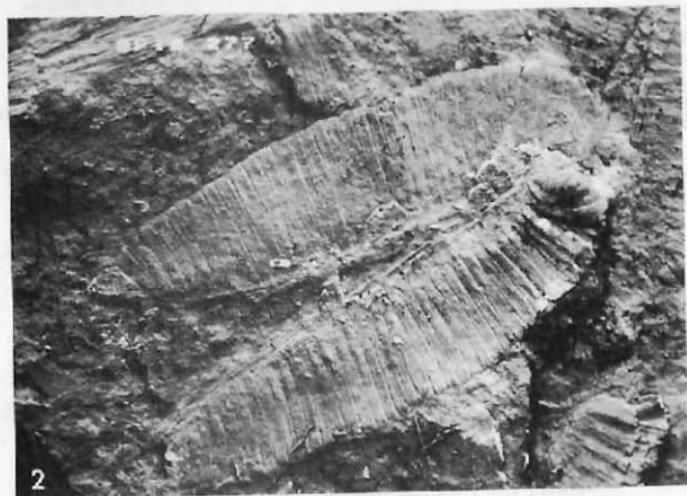
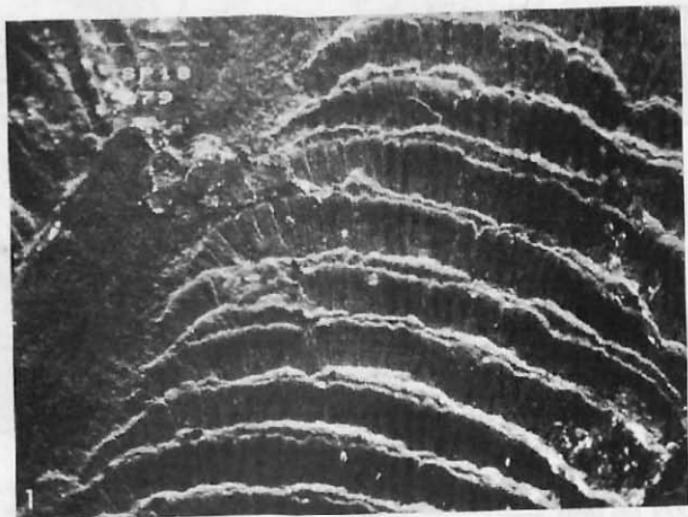


Fig. 9.—Distribución de las tres grandes áreas latitudinales (Angará, Amerosinia, Gondwana) y provincias florísticas de la URSS en el Período Pérmico (hace unos 250 millones de años). E.E. = Este Europeo. El mapa de arriba muestra la posición actual de los continentes, y el de abajo la posición reconstruida de acuerdo con el significado paleolatitudinal de las floras del Pérmico más moderno.



- | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|---|-----------------------|
|  | ZONA SUD-PORTUGUESA | ① | VALDEINFIERNO |
|  | ZONA CENTRO-IBERICA | ② | MATACHEL - BENAJARAFE |
|  | CARBONIFERO INFERIOR (MISSISSIPICO) | ③ | BERLANGA |
|  | WESTFALIENSE B (PEÑARROYA) | ④ | CASAS DE REINA |
|  | BATOLITO DE LOS PEDROCHES | ⑤ | BIENVENIDA |
|  | PRECAMBRICO Y PALEOZOICO INFERIOR | ⑥ | SANTOS DE MAIMONA |
|  | COBERTERA MESOZOICA Y CENOZOICA | ⑦ | GUADIATO |
| | | ⑧ | PEDROCHES |
| | | ⑨ | GUADALBARBO |
| | | ⑩ | SANTA CLALLA DE CALA |
| | | ⑪ | SIERRA TRAVIESA |
| | | ⑫ | CERRON DEL HORNILLO |

Fig. 10.—Mapa del área de Sierra Morena (Zona de Ossa-Morena) y las zonas colindantes Centro-Ibérica y Surportuguesa, mostrando los distintos afloramientos del Carbonífero inferior y medio en el Suroeste de España. Figura modificada de la publicada en el Capítulo VI del libro sobre «Carbonífero y Pérmico de España» (Instituto Geológico y Minero de España).



L A M I N A S

LAMINA 1

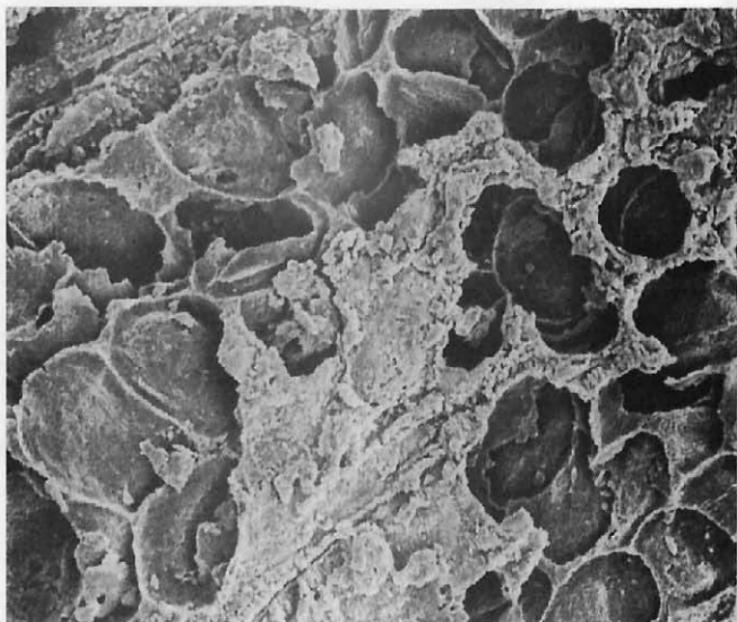
Fig. 1.—*Oasimia schyfsmae* (Lemoigne) Hill, Wagner & El-Khayal, x 15.

Varios sinangios bivalvos solapados por la compresión oblicua a que fueron sometidos. SEM (microscopía electrónica de barrido) de una réplica en latex. Pérmico superior de Unayzah, Arabia Saudí.

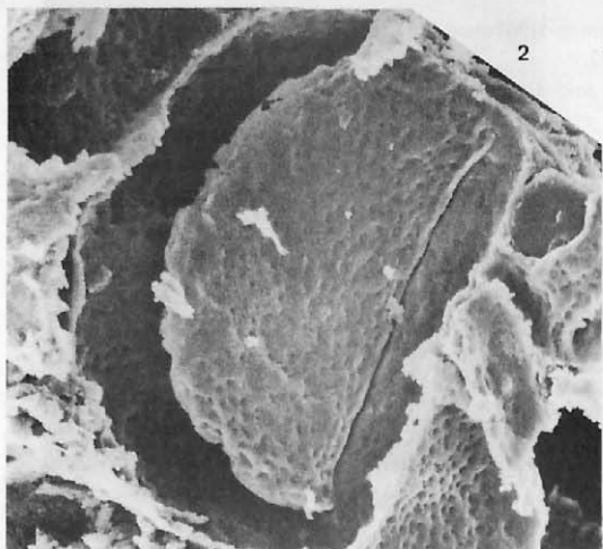
Fig. 2.—*Oasimia schyfsmae* (Lemoigne) Hill, Wagner & El-Khayal, x 12.

Un solo sinangio bivalvo que se imprimió en la roca con las dos valvas extendidas en un solo plano. SEM de una réplica en latex. Pérmico superior de Unayzah, Arabia Saudí.

Ambas fotografías facilitadas por el Dr. C.R. Hill, del British Museum (Natural History), Londres. Corresponden al trabajo publicado por C. R. Hill, R. H. Wagner & A. A. El-Khayal (1985) en *Scripta Geologica*, 79.



1



2

LAMINA 2

Fig. 1.—*Oasimia schyfsmae* (Lemoigne) Hill, Wagner & El-Khayal, x 1000.

Improntas de esporas dentro de algunos lóculos de un sinangio del tipo ilustrado en la lám. 1; fragmento de un fósil montado directamente para SEM (microscopía electrónica de barrido).

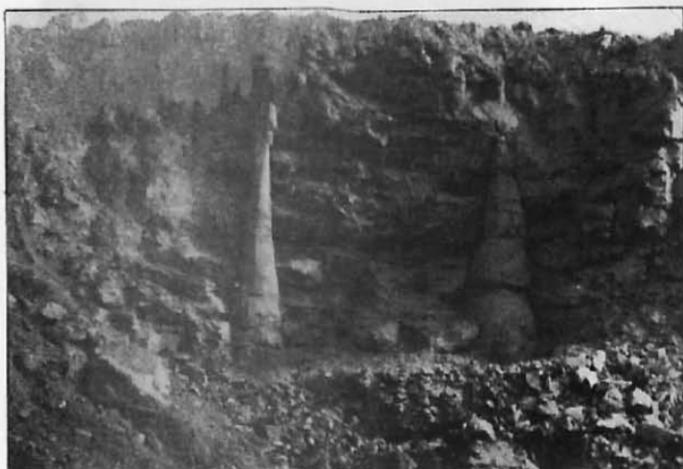
Pérmico superior de Unayzah, Arabia Saudí.

Fig. 2.—*Oasimia schyfsmae* (Lemoigne) Hill, Wagner & El-Khayal, x 3500.

Detalle de una impronta de una espora dentro de un lóculo de un sinangio (como en la Fig. 1); contramolde (réplica) que muestra la ornamentación positiva de la espora así como la marca monolete de contacto.

Pérmico superior de Unayzah, Arabia Saudí.

Ambas fotografías facilitadas por el Dr. C.R. Hill, del British Museum (Natural History), Londres. Corresponden al trabajo publicado por C.R. Hill, R.H. Wagner & A.A. El-Khayal (1985): *Oasimia* gen. nov., an early *Marattia*-like fern from the Permian of Saudi Arabia. *Scripta Geologica*, 79: 1-50 (pls 1-19).



1



2

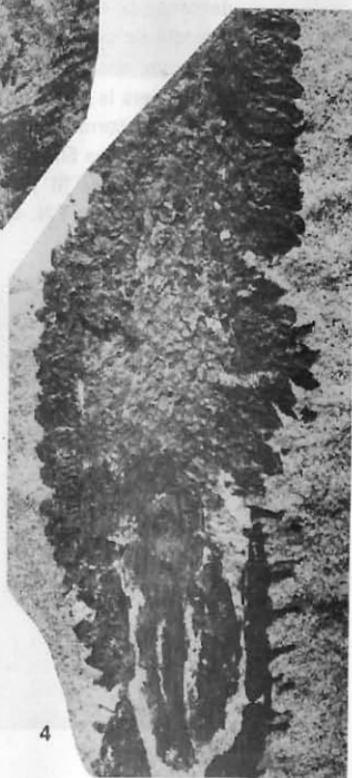
LAMINA 3

Fig. 1.—Rellenos de moldes externos de troncos de una licofita desconocida en posición de vida; alrededor de dos metros y medio de altura, y sepultados por sedimentos arcillosos y limosos que vinieron rápidamente y en masa, ya que de otra manera la parte superior de los troncos hubieran tenido tiempo de corromperse.

Localidad: Mina Emma, Puertollano (Ciudad Real), intervalo entre las capas III y II. Estefaniense superior. Fotografía facilitada por la E.N. Carbonífera del Sur (ENCASUR).

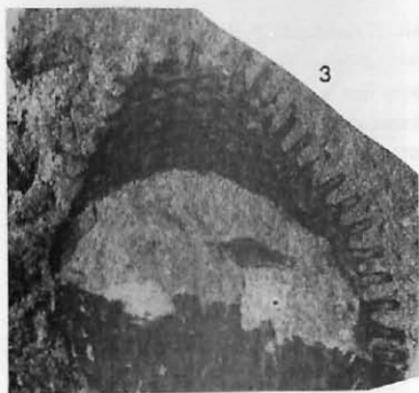
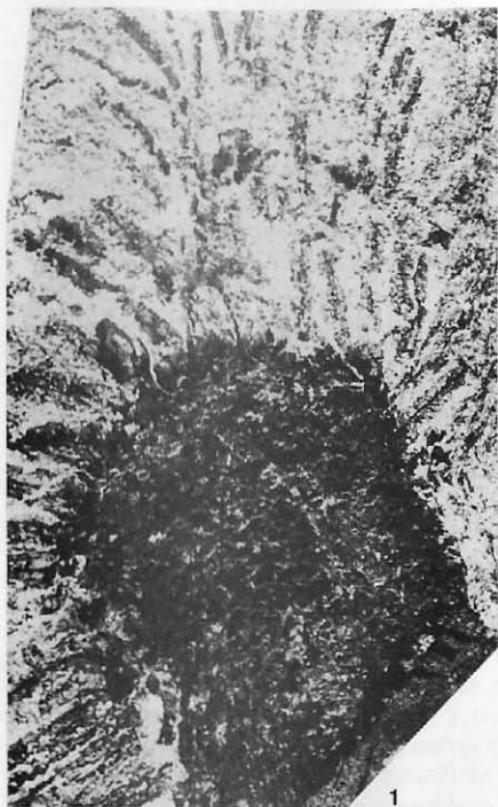
Fig. 2.—Moldes internos (relleno del cilindro vascular) de Calamites en posición de vida. El ejemplar a la izquierda mide 1,50 m. aproximadamente. Preservados en arenisca fina venida como un depósito rápido a una zona palustre.

Localidad: Corta Cervantes, Peñarroya (Córdoba), intervalo a techo de la Capa Cervantes. Westfaliense B.



LAMINA 4

- Fig. 1.—**Sporangioctrobus feistmanteli** (Feistmantel) Nemejc. x 1.
Rama fértil con láminas distales de los esporofilos aún preservadas.
Localidad: Puertollano (Ciudad Real), toba volcánica dentro de la Capa III. Estefaniense superior.
- Fig. 2.—**Bodeodendron hispanicum** Wagner & Spinner, x 1.
Impronta de una rama o de una parte del tronco del árbol portador de la fructificación **Sporangioctrobus**. Muestra los pulvínulos, dentro de los cuales se ve la cicatriz foliar.
Localidad: Puertollano (Ciudad Real), toba volcánica dentro de la Capa III. Estefaniense superior.
- Fig. 3.—**Sporangioctrobus feistmanteli** (Feistmantel) Nemejc, x 1.
Parte de una rama fértil mostrando fragmentos de las láminas distales de esporofilos, esporangios (en la parte inferior del ejemplar) y los lugares de impresión de los esporangios sobre la corteza (parte superior del ejemplar).
Localidad: Puertollano (Ciudad Real), toba volcánica dentro de la Capa III. Estefaniense superior.
- Fig. 4.—**Sporangioctrobus feistmanteli** (Feistmantel) Nemejc, x 1.
Rama fértil en plena desintegración, habiendo perdido las láminas distales de los esporofilos y, en la parte inferior del ejemplar, incluso los esporangios. La parte superior enseña la forma de los esporangios que se presentan casi como individuales. La parte inferior ha perdido los esporangios y, en el lado derecho del ejemplar, se observan los esporofilos insertados perpendicularmente sobre la rama. La banda central de la parte inferior del ejemplar representa a la estela carbonizada.
Localidad: Puertollano (Ciudad Real), toba volcánica dentro de la Capa III. Estefaniense superior.



LAMINA 5

Fig. 1.—**Sporangiostrobus feistmanteli** (Feistmantel) Nemejc, x 1. Parte apical de una rama fértil que conserva las láminas distales de los esporofilos. La parte central del ejemplar muestra los esporangios, ya que las láminas distales fueron arrancadas al romper la roca con un martillo (quedaron en la roca quitada). La forma redondeada, obtusa, es característica de una rama fértil que presenta un aspecto macizo. Localidad: Puertollano (Ciudad Real), toba volcánica intercalada en la Capa III. Estefaniense superior.

Fig. 2.—**Sporangiostrobus feistmanteli** (Feistmantel) Nemejc, x 3. Corte algo oblicuo a través de una rama fértil mostrando la estela aplastada en el centro [cilindro de xilema comprimido por el colapso de las células parenquimáticas en el centro de la sifonostela], el relleno de toba en el área cortical, y el anillo de esporangios que circunda la rama. Localidad: Puertollano (Ciudad Real), toba volcánica intercalada en la Capa III. Estefaniense superior.

Fig. 3.—**Sporangiostrobus feistmanteli** (Feistmantel) Nemejc, x 1. Corte oblicuo de una rama fértil en el último estadio de desintegración. Muestra la estela comprimida en el centro del área cortical sustituida por toba y el molde externo de la rama con la parte horizontal de los esporofilos preservados (se separaron tanto las láminas distales de los esporofilos como los esporangios). Localidad: Puertollano (Ciudad Real), toba volcánica intercalada en la Capa III. Estefaniense superior.



LAMINA 6

- Fig. 1.—*Triphyllopteris collombiana* Schimper, x 1.
Ramita con hojas lobuladas de esta planta perteneciente a las Progymnospermopsida (?). Impronta.
Localidad: Valdeinfierno (Córdoba), parte inferior de la sucesión en esta cuenca intramontana. Tournaisiense superior.
- Fig. 2.—*Rhodeopteridium stachei* (Stur) Purkynová, x 3.
Sistemas axiales (ramas con hojas), repetidamente bifurcados de este posible elemento de las Progymnospermopsida. Impronta.
Localidad: Valdeinfierno (Córdoba), parte inferior de la sucesión. Tournaisiense superior.
- Fig. 3.—*Sphenopteris striatula* Stur, x 3.
Parte de una penna de helecho o pteridospermea. Impronta.
Localidad: A techo de una capa de carbón a unos 500 m. al Sur de Belmez (Córdoba). Namuriense inferior (basal). Este ejemplar fue clasificado por la Dra. Cl. Brousmiche, de la Universidad de Lille.



LAMINA 7

Lepidodendron losseni Weiss, x 3.

Impronta de un tronco de esta licofita mostrando los pulvínulos con la ornamentación característica de rayas transversales en la parte inferior del pulvínulo. La inserción de la hoja fue en el ángulo superior del pulvínulo.

Localidad: Benajarafé, cerca de La Cardenchoza (Córdoba). Viséense.



LAMINA 8

Fig. 1.—*Zeilleria hymenophylloides* Kidston, x 3.

Fragmento de dos pennas consecutivas de este helecho. La lámina de las pínulas está ligeramente disminuída en función de los esporangios inmaduros que se encuentran en el ápice de los lóbulos. Impronta.

Localidad: Canal de la Parrilla, cerca de Peñarroya (Córdoba). Westfaliense B.

Fig. 2.—*Zeilleria hymenophylloides* Kidston, x 3.

Parte de una penna con esporangios maduros, peciolados. Impronta.

Localidad: Canal de la Parrilla, cerca de Peñarroya (Córdoba). Westfaliense B.

Fig. 3.—*Lonchopteris rugosa* Brongniart, x 1.

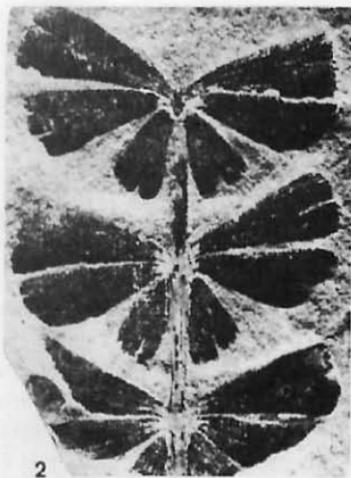
Parte de una penna del último orden que muestra pínulas con la lámina carnosa y unidas por la base. La nerviación es reticulada. Impronta de pteridospermea.

Localidad: Canal de la Parrilla, cerca de Peñarroya (Córdoba). Westfaliense B.

Fig. 4.—*Neuropteris guadiatensis* Wagner, x 3. Paratipo.

Parte terminal de una penna del último orden de este pteridospermea. Impronta.

Localidad: Canal de la Parrilla, cerca de Peñarroya (Córdoba).



LAMINA 9

- Fig. 1.—*Lobatannularia* sp., x 3.
Dos verticilos de hojas mostrando una anisofilia acusada.
Impronta.
Localidad: Guadalcanal (Sevilla), Pérmico inferior.
- Fig. 2.—*Sphenophyllum oblongifolium* (Germar & Kaulfuss) Unger,
x 2.
Tres verticilos de hojas cuneiformes y mostrando anisofilia.
Impronta.
Localidad: Guadalcanal (Sevilla), Pérmico inferior.
- Fig. 3.—*Protoblechnum wongii* Halle, x 1.
Parte de una fronde helechoide (afinidad sistemática desconocida). Impronta.
Localidad: Guadalcanal (Sevilla), Pérmico inferior.
- Fig. 4.—*Rhipidopsis baetica* Broutin, x 1.
Hojas de una ginkgofita. Impronta.
Localidad: Guadalcanal (Sevilla), Pérmico inferior.
- Fig. 5.—*Lobatopteris lamuriana* (Heer) Wagner, x 1.
Pennas de un helecho pecopteroide. Impronta.
Localidad: Guadalcanal (Sevilla), Pérmico inferior.
- Fig. 6.—*Koretrophyllites crassinervis* Broutin, x 2.
Rama con hojas. Impronta.
Localidad: Guadalcanal (Sevilla), Pérmico inferior.

Las fotografías de esta lámina fueron facilitadas por el Dr. J. Broutin, de la Universidad de París, y se reproducen aquí con su permiso. Los ejemplares son de su colección y las clasificaciones corresponden a las publicadas en su tesis doctoral. Agradecemos al Dr. Broutin su colaboración generosa.