

## La Micropaleontología, un pasado y un presente.

Micropaleontology: Its past and present.

R.Gío-Argáez, P. Melgarejo Damián y M.L. Machain-Castillo.

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM. e-mail: raul@icmyl.unam.mx, machain@icmyl.unam.mx

### RESUMEN

La Micropaleontología ha transitado por tres principales etapas: la del reconocimiento de los distintos grupos de microorganismos que están comprendidos en su estudio, su aplicación práctica en la industria, y –la más reciente- la de su colaboración en el monitoreo y evaluación del impacto ambiental. Estas etapas se traslapan en el tiempo y el espacio para hacer de esta rama de la Paleontología una herramienta de gran importancia en la determinación del rumbo de nuestro planeta en un futuro cercano.

**Palabras clave:** Micropaleontología, microfósiles, estratigrafía, micropaleontología taxonómica y sistemática, micropaleontología industrial, petróleo, micropaleontología ambiental, ecosistemas.

### ABSTRACT

Micropaleontology has passed through three basic stages: the recognition of the different groups of organisms included in its study, its practical application in the industry, and – the most recent- its role in the monitoring and evaluation of environmental impact. These stages are overlapped in time and space to make of this discipline a greatly important tool in the of the fate of our planet in a short term future.

**Key words:** Micropaleontology, microfossils, stratigraphy, taxonomical micropaleontology, industrial micropaleontology, petroleum.

### DEDICATORIA

Don Enrique Rioja Lioblanco decía que *recordar es hacer pasar por la memoria lo que quedó grabado en el corazón*. El presente artículo lo dedicamos a la memoria de Don **Eucario López-Ochoterena** quien, con sus enseñanzas, ejemplo y observaciones crítico-propositivas, nos hacía apreciar la realidad y ayudaba a buscar soluciones a los problemas e interrogantes que se presentaran.

### INTRODUCCIÓN

Preguntas tan dispares como: «¿cómo es que se localiza el petróleo en la corteza terrestre?», «¿cómo eran los ambientes en la Tierra antes de que la poblaran los seres humanos?» y «¿cómo es que podemos ayudar a prevenir los cambios ambientales?» pueden contestarse a la luz de la Micropaleontología, una disciplina que posee una historia y desarrollo sin par y sobre todo, una gran trascendencia en el presente y futuro de los habitantes de este planeta.

En las últimas décadas, la Micropaleontología ha cobrado una gran importancia. La razón por la cual este interés ha ido creciendo radica en sus múltiples aplicaciones, tanto en la ciencia como en la industria.

Esta rama de la Paleontología tuvo un gran auge en la segunda mitad del siglo pasado, no solo por sus métodos de colecta y estudio, sino también por el reconocimiento a nivel mundial que hasta la fecha tiene su aplicación en la búsqueda de recursos energéticos.

Actualmente, y de manera paralela a dicha función, la Micropaleontología abarca un terreno mucho más amplio y diverso al participar entre otras aplicaciones, en la determinación ambiental, en las predicciones del cambio climático, en la rehabilitación de los ecosistemas y su contribución a los estudios arqueológicos, entre los más destacados.

Una de las razones es el hecho de abarcar distintos tipos de organismos que a su vez, ocupan diferentes

tipos de ambientes y alcances, tanto en el tiempo como en el espacio. Lo anterior ha sido posible gracias a una interesante historia, rica en sucesos y descubrimientos que han ido modelando el curso de su desarrollo.

Esta disciplina guarda estrechas relaciones de retroalimentación, por un lado con las ciencias geológicas tales como la estratigrafía y la sedimentología, y por otro, con las ciencias biológicas tales como la zoología, la botánica, la sistemática, la paleontología y la biogeografía, entre otras.

### Los Microfósiles

La Micropaleontología se encarga del estudio de los fósiles de organismos o restos de los mismos cuyo tamaño oscila entre algunos nanómetros y los 5 mm (aunque algunas formas llegan a tener unos centímetros de largo); es decir, que en esta categoría se incluyen principalmente restos (en su mayoría partes duras) de animales, protistas, hongos y plantas cuyo tamaño dificulta su estudio a simple vista, por lo que es indispensable el uso del microscopio.

Es necesario mencionar que, y a pesar de que en sentido estricto los microfósiles son *verdaderos* fósiles, la mayoría de las veces se consideran también microfósiles -prematuramente si se quiere- a los esqueletos o restos de los representantes actuales que se encuentran dentro del rango de tamaño de los microfósiles.

Algunos de los ejemplares incluidos en los microfósiles cuyos esqueletos son comúnmente hallados completos son los ostrácodos y los conostráceos -animales clasificados dentro de los Crustáceos-, y protistas tales como los foraminíferos, radiolarios, silicoflagelados, coccolitofóridos y las diatomeas. Por otro lado, las espículas de esponjas, los conodontos y los otolitos y escamas de los peces son ejemplos de microfósiles constituidos de partes aisladas de organismos macroscópicos que pueden ser utilizados como fósiles índice sin necesidad de hacer referencia a los caracteres del organismo completo.

Los palinomorfos, dentro de los cuales se incluyen a las esporas, el polen, los dinoflagelados y acritarcas, son considerados por algunos como objeto de estudio de la Micropaleontología; sin embargo, y debido a que a diferencia del resto de los microfósiles tienen una pared de material orgánico, algunos los incluyen en una rama aparte, la Palinología.

### Microfósiles vs Macrofósiles

Una de las ventajas más sobresalientes que poseen los microfósiles frente a los macrofósiles es su tamaño y abundancia; de manera general, la abundancia de los fósiles es inversamente proporcional a su tamaño: los más pequeños son los más comunes y abundantes, mientras que los de mayor tamaño son escasos y, muchas de las veces, se encuentran además, incompletos y/o fragmentados. Es decir -y por citar un ejemplo-, la probabilidad de hallar un esqueleto completo y articulado de un dinosaurio saurópodo, de un plesiosaurio o de un mamut es muy remota; más aún, los fines a los que pueden destinarse los hallazgos de éstos, son casi en su totalidad de carácter científico-teórico.

En el otro extremo, los microfósiles son hallados generalmente completos y en buenas condiciones, no sin mencionar el gran número de ellos que puede encontrarse en tan solo unos cuantos gramos de sedimento. Así, basta una muestra de poco volumen obtenida de cada estrato para proporcionar ejemplares suficientes que permitan obtener una edad aproximada y realizar un análisis acerca del ambiente de depósito y el uso de métodos estadísticos para su comprobación.

La razón por la cual los microfósiles son hallados en mejores condiciones, es que los delicados y pequeños esqueletos calcáreos, fosfáticos y silíceos de que están revestidos los microorganismos frecuentemente sufren menos daño por el roce de las arenas, la acción de los depredadores, el ataque de las bacterias y el peso de los sedimentos suprayacentes: factores que afectan en mayor proporción a los macrofósiles, tanto marinos como terrestres.

### Usos e importancia de los microfósiles

En el curso de su historia, la Micropaleontología ha ido cobrando importancia y versatilidad en cuanto a usos a distintos niveles y en varios campos de acción, de la mano de las inquietudes científicas y las necesidades de la sociedad. Es así como se vuelve una herramienta en la búsqueda del petróleo.

Actualmente, sus aportaciones son también de gran ayuda para otros campos de la ciencia tales como, por un lado, la biología evolutiva, proporcionando datos para el análisis de las tendencias evolutivas y la realización de las filogenias, y por el otro, la paleoecología, rama de la Paleontología que, auxiliada

por el actualismo biológico, hace aproximaciones de las relaciones biota-ambiente del pasado.

Al buscar en los organismos actuales semejanzas y relaciones de parentesco con los dejados por el registro fósil, es posible realizar correlaciones que permiten inferir morfología, fisiología, hábitos y, en algunos casos, características de su entorno. Con este fin, existen diversos métodos basados en organismos recientes tales como el polen y esporas, los esqueletos de ostrácodos y foraminíferos, entre otros más.

La Micropaleontología, a través de estudios palinológicos, puede realizar aportaciones también a la arqueología. Por citar un ejemplo: en un examen microscópico de las herramientas utilizadas por civilizaciones pasadas se pueden encontrar restos orgánicos -incluyendo granos de polen- que ayuden a determinar las plantas cortadas con dichas herramientas y así tener una idea de las plantas de que se alimentaba la población o bien las que empleaban en sus rituales.

En el aspecto geológico, los microfósiles resultan de gran ayuda en el momento de organizar columnas estratigráficas y mapas e interpretar y datar los estratos y facies sedimentarias por ser la mayoría de estos organismos fósiles índice.

Y, así como esta rama de la Paleontología contribuye al conocimiento de distintas áreas de la ciencia, ésta también recibe colaboración de las mismas para su propio enriquecimiento. Por ejemplo, es posible realizar escalas del tiempo de la evolución de los foraminíferos basadas en una combinación de datos tanto moleculares como fósiles.

Más aún, la Micropaleontología actual ha ido adquiriendo un lugar especial en el ámbito de lo ambiental, aportando información acerca de las condiciones previas y posteriores a los disturbios, proponiendo también soluciones para la remediación y/o restauración de los mismos.

En cuanto a la importancia relativa de los diversos tipos de microfósiles, el primer puesto corresponde a los foraminíferos, protistas marinos dotados de un caparazón normalmente calcáreo. Estos abundan en las formaciones postpaleozoicas. El segundo puesto de importancia se podría discutir entre los ostrácodos y las esporas y el polen.

A diferencia de los foraminíferos, los ostrácodos, adaptados a un espectro ecológico muy variado, se pueden presentar en aguas dulces o salobres, además de las marinas; las esporas y el polen predominan en sedimentos terrestres, aunque en algunas ocasiones se extienden también hacia las regiones costeras, hallándose a veces incluso en sedimentos de mares someros.

### Orígenes y avances de la Micropaleontología

Los microfósiles se conocen desde épocas muy remotas, sin embargo, no es hasta la invención del microscopio que se inicia su estudio de manera sistemática.

Entre los primeros fósiles descritos por los filósofos naturalistas griegos, se encuentran los foraminíferos de forma aplanada -*Nummulites* (término que significa monedas pequeñas)-, los cuales son constituyentes de la roca caliza del Eoceno (hace 45 millones de años) empleada en la construcción de las pirámides de Gizeh, en Egipto. Strabo, al observarlos esparcidos en las bases de las pirámides, concluyó que los *Nummulites* eran restos petrificados de lentejas dejadas allí por los trabajadores egipcios durante la construcción de las pirámides.

No fue sino hasta 1660 cuando la invención del microscopio por Anton Van Leeuwenhoek condujo a un examen detallado de los pequeños caparzones fósiles encontrados en varios sedimentos europeos; no obstante, estos eran siempre considerados como diminutos gusanos, cefalópodos o gasterópodos.

En sus respectivos trabajos, C. Linneo con su clasificación de plantas y animales *Systema Naturae* (1758), y J. B. de M. Lamarck en *Cours de Zoologie* (1812), incluyeron en sus clasificaciones muchos de los microfósiles descritos en años anteriores, asignándoles nombres genéricos y específicos -algunos válidos en la actualidad-. La tendencia seguía siendo el clasificarlos dentro de los cefalópodos e inclusive en los corales.

Entre los años 1826 y 1852, Alcide d'Orbigny elaboró los primeros esquemas de una clasificación de los foraminíferos tanto fósiles como vivientes, describiendo y figurando numerosas especies, considerándolos en sus primeros trabajos como cefalópodos microscópicos. Fue Dujardin, en 1835, el primero en reconocer a los foraminíferos como protistas en el

trabajo titulado *New Observations on the microscopic Cephalopods*, concepto que d'Orbigny aceptó sin reservas.

En 1854 C. G. Ehrenberg publica *Mikrogeologie*, un estudio donde incluye investigaciones acerca de las actividades de los ostrácodos, foraminíferos y varios flagelados en sus hábitats, y en particular, el papel que juegan en la formación de las rocas. Es en este periodo donde surge un interés más allá de lo taxonómico.

La Micropaleontología comercial o aplicada utilizada en las investigaciones estratigráficas comenzó en 1877 cuando se determinó la edad de los estratos en un pozo de agua cerca de Vienna, Austria (Mioceno medio), mediante el uso de los foraminíferos. Sin embargo, fue en 1919 cuando se instituyó como una herramienta estratigráfica regular en las compañías petroleras *Humble* y *Río Bravo*.

En la actualidad, muchas compañías petroleras poderosas incluyendo a *Humble Oil Refining Company*, *Shell Oil Company*, *Richfield Oil Company* y *Standard Oil Company of California*, cuentan con laboratorios dedicados a la micropaleontología y a la microestratigrafía.

Más aún, en años recientes, resulta significativo que muchas organizaciones con laboratorios micropaleontológicos estén empleando, además de foraminíferos y ostrácodos, polen y esporas, escamas de peces, y algas marinas como herramientas estratigráficas e indicadores ambientales.

### **Micropaleontología industrial**

La Micropaleontología como una disciplina aplicada ha sido reconocida mundialmente y de tiempo atrás por sus contribuciones a la industria petrolera, lo cual le ha dado un gran auge, permitiendo su acelerado desarrollo, sobre todo en el campo de la Paleocología y la Bioestratigrafía; sin embargo, hoy en día, ha ampliado sus horizontes, dando pie a la aparición de nuevos métodos de explotación de los recursos naturales, antes inimaginados.

### **Los microfósiles y el petróleo**

El petróleo y sus derivados han ido adquiriendo una gran importancia en las actividades humanas a lo largo de la historia; ésta importancia es debida a las múltiples aplicaciones que se le han dado a los mismos como combustibles, en lubricantes, insecticidas, básicos para

farmacología y perfumería, impermeabilizantes y asfaltos, principalmente. Su presencia en la vida cotidiana es imprescindible, sin embargo, pocos saben cómo es que se origina el petróleo y mucho menos son conocidos los procesos de búsqueda del mismo; es aquí donde toma parte la Micropaleontología.

El petróleo se forma cuando los restos de organismos, ya sea marinos o (en menor proporción) terrestres, son sometidos a grandes temperaturas y presiones en capas profundas de la corteza terrestre. Este, al ser menos denso que las rocas, se filtra hacia arriba hasta encontrarse con una roca impermeable que le impida el paso; es allí donde se forma el yacimiento.

Así pues, con el fin de encontrar petróleo, deben realizarse los llamados trabajos de reconocimiento, los cuales permiten interpretar las condiciones geológicas generales del área para estimar sus posibilidades de contener hidrocarburos; posteriormente, y en las áreas seleccionadas, se realizan los trabajos en detalle. Toda la información obtenida es procesada y analizada para localizar los sitios a ser perforados para establecer los pozos. Las muestras de roca cortadas por estos pozos son después estudiadas por geólogos y micropaleontólogos para posteriormente definir las capas del subsuelo que contienen hidrocarburos y de las cuales puede extraerse el petróleo.

En el pasado, dichos trabajos se realizaban más bien al azar, resultando muchas de las veces en largas e infructuosas búsquedas que traían como consecuencia grandes pérdidas de dinero. El uso de microfósiles marcó la diferencia disminuyendo los radios de búsqueda al indicar con su presencia los lugares más propicios para encontrar hidrocarburos.

Un principio muy importante de la estratigrafía es que las rocas sedimentarias -único tipo de rocas donde puede formarse el petróleo- se encuentran dispuestas en capas geológicas o estratos, las más antiguas en una posición inferior y las más modernas o recientes en la superior. Al respecto, es necesario apuntar que estas capas, a lo largo del tiempo geológico, se encuentran caracterizadas por distintos tipos de microfósiles con particularidades específicas. Dichas particularidades proporcionan información acerca de la edad de la roca (bioestratigrafía), dependiendo del estrato en el que se encuentren, permitiendo también una correlación entre los mismos estratos de distintos lugares, y de las condiciones ambientales en que se depositó la misma (análisis paleoambiental) debido a la

sensibilidad de los organismos a los cambios en el medio y a la capacidad de algunos de ellos de añadir el material circundante a sus conchas.

Así, al estudiar la morfología y composición de los microfósiles obtenidos a partir de las perforaciones de pozos, se puede conocer si el sitio es propicio o no para la búsqueda de petróleo. Esto es, puesto que los hidrocarburos sólo pueden formarse en determinados ambientes, bajo condiciones especiales de temperatura, profundidad y niveles de oxígeno del agua, entre otras características, y dado que los microfósiles registran las características de su ambiente, estos serán indicadores definitivos de la presencia o ausencia de los mismos.

Los tres grupos de microfósiles con una importancia especial en la exploración de hidrocarburos son los foraminíferos, los nanofósiles calcáreos (e.g. coccolitofóridos) y los palinomorfos. Los foraminíferos bentónicos, por su poca o nula movilidad, proporcionan información acerca del ambiente que habitaron; los foraminíferos planctónicos y los nanofósiles calcáreos, al tener una mayor dispersión que los bentónicos, permiten correlacionar y fechar los estratos en un mismo sitio o incluso entre distintos mares.

Los palinomorfos, a pesar de que no pueden brindar mucha información acerca del ambiente de depositación, sí pueden contribuir al conocimiento de los climas en el pasado. Más aún, debido a que los químicos orgánicos que constituyen a los palinomorfos se obscurecen al entrar en contacto con altas temperaturas, se puede conocer cuando las rocas en las que se encuentran fueron sometidas a un aumento de calor en el momento de entrar a la corteza terrestre, condiciones propicias para la formación de petróleo de los depósitos ricos en materia orgánica.

#### Otros usos comerciales

Además de la obtención de hidrocarburos, existen otros usos comerciales de la Micropaleontología industrial (los cuales utilizan sin embargo el mismo principio de la búsqueda de petróleo). Estos incluyen la exploración en busca de depósitos mineros marinos y las prospecciones hidrogeológicas para buscar aguas potables subterráneas a grandes profundidades.

Dos ejemplos de depósitos mineros marinos son los de hierro -los cuales se encuentran en forma de estratos de oolita de hierro- y los de fosfato -base de la industria de los fertilizantes-, los cuales están ampliamente desarrollados en sedimentos marinos. Sus muy característicos fósiles permiten correlacionar las formaciones que contienen tales minerales de manera práctica.

Por otro lado, además de ser herramientas útiles en la búsqueda de minerales, algunos microfósiles son los constituyentes principales de yacimientos con aplicaciones comerciales especiales; tal es el caso de la llamada 'tierra de diatomeas' o diatomita, la cual está constituida de sílice secretado por las algas *Crisophytas* llamadas comunmente diatomeas, además de pequeñas proporciones de otros esqueletos de organismos que están conformados por sílice opalino. Este tipo de rocas tiene una gran variedad de usos industriales, dentro de los que se incluyen la fabricación de filtros especiales en las industrias cervecera y vitivinícola, de la cerámica, los abrasivos, pastas dentales y en la calibración de microscopios.

#### La Micropaleontología Ambiental

La presencia de los organismos en un cierto lugar depende de varios factores entre los cuales destacan el clima y la distribución geográfica. El clima es decisivo para muchos seres vivos pues éstos se encuentran limitados a ciertas condiciones. Así, de darse un cambio drástico en el rango de temperatura y/o humedad, pH, (por mencionar algunos) de un sitio, gran parte de la comunidad de organismos que lo afectan correría el riesgo de verse seriamente disminuida en número al no contar con las características necesarias para sobrellevar dicho cambio. El estudio de los microfósiles nos brinda la oportunidad de conocer la composición de una biocenosis y las características del biotopo en el cual vivían.

La interacción de los organismos en un área geográfica determinada, que guarda una independencia relativa y una afinidad considerable, entre ellos y su entorno se considera que cualquier factor ambiental que tienda a frenar el crecimiento potencial de las poblaciones es un Factor Limitante, mientras que aquellos que permiten el desarrollo en un momento y espacio adecuado, son denominados Factores Reguladores.

Debemos recordar que algunos organismos son capaces de tolerar cambios ambientales muy amplios

(euribiontes), mientras que otros tienen poca capacidad para desarrollarse bajo condiciones en donde los factores físicos, químicos ó geológicos presenten variaciones mínimas (estenobiontes).

En Paleoeología es conocido el hecho que las comunidades cambian y regulan sus ambientes físicos a través del tiempo y bajo ciertos límites, ésta modificación de orden temporal ha podido ser documentada y está relación con las etapas iniciales de las tramas tróficas y el continuo cambio de plantas y animales, el aumento de la biomasa, el aumento del número de especies que están en juego, y la disminución paulatina de la productividad y el aumento de la respiración, hasta que se alcanza el clímax del ecosistema ya sea del pasado o del presente.

Así pues, del estudio de los cambios del ambiente a través del tiempo, se puede reconocer la historia de los eventos dados en un área determinada, con el fin de comprender los procesos que hicieron al ambiente evolucionar a sus condiciones actuales.

A este respecto, los microfósiles -tales como los foraminíferos y ostrácodos- ofrecen valiosa información acerca de las asociaciones fósiles en las que se encuentran, resultando ser fundamentales en la determinación de los ambientes que los circundaron por ser además, en el caso de los organismos marinos, muy susceptibles a cambios en la salinidad y temperatura; al localizarse en áreas de parámetros ambientales restringidos, son idealmente útiles porque además sus cortos tiempos de generación les permiten responder de manera rápida a los cambios que se presentan.

Se ha manifestado así una tendencia por estudiar a los microfósiles como componentes e indicadores de los factores marinos y en la reconstrucción de las características de los mares del pasado. Así mismo, puesto que sus preferencias son restringidas, la presencia de los microfósiles en el sedimento puede ayudar a identificar variaciones en el ambiente a través de los ciclos glaciales e interglaciales por los que ha pasado la Tierra.

Aunado al papel que guarda la Micropaleontología en la determinación de ambientes pasados, los microfósiles son indicadores de disturbios ambientales de la actualidad, teniendo así los estudios enfocados a este respecto, importantes implicaciones en la conservación y el manejo de los ecosistemas.

Más aún, el conocimiento de los disturbios pasados, tal vez sus causas y posible periodicidad, aporta información valiosa para realizar predicciones de futuros fenómenos y las posibles consecuencias de los mismos, permitiendo de algún modo, planear y llevar a cabo algunas estrategias preventivas que disminuyan los daños a los ecosistemas y con ello a la misma humanidad.

Una de las razones de más peso por las que los microfósiles resultan tan aplicables en este sentido es que pueden proveer una única perspectiva histórica a los disturbios incluyendo información acerca de las condiciones previas y el inicio y desarrollo del cambio. Lo anterior es posible gracias a la distribución que de ellos presentan y al registro de algunos parámetros ambientales que guardan en sus esqueletos.

Los ostrácodos, organismos muy utilizados en la determinación de ambientes -por citar un ejemplo-, permiten conocer la temperatura del lugar donde se encuentran debido a que se distribuyen en rangos muy específicos, pudiendo ubicar con su distribución, la temperatura en que se desarrollaban.

Los ostrácodos son también indicadores de salinidad, pues la concentración salina del ambiente produce efectos en su caparazón, determinando con ello su tamaño y forma, espesor, composición, y presencia o ausencia de nódulos fenotípicos, además de que un cambio significativo en las concentraciones provoca modificaciones en los poros de sus canales marginales, por lo que el estudio de su morfología provee de vasta información al respecto. Otros microfósiles proporcionan este tipo de información acerca del ambiente circundante en distintos sitios y momentos de la escala geológica.

Sumado a ello, el estudio de las testas o caparazones de microorganismos recientes tales como los ostrácodos aporta datos acerca de las condiciones del agua con respecto a los contaminantes, pues algunos de ellos son capaces de incorporar partículas del material de sus alrededores en su testa al momento de la formación de esta, con lo cual son capaces de guardar un registro de los cambios paulatinos en el mar debido a dichos contaminantes, considerando que estos microorganismos tienen varias mudas en su ciclo de vida.

De esta manera los microfósiles nos permiten identificar las condiciones imperantes en los estratos o

sedimentos en que se encuentran, nos ubican en el tiempo en el que se efectuó su depósito, por su abundancia nos ayudan a efectuar diversos métodos estadísticos para reconocer el número de individuos y los componentes esenciales de la comunidad con la que están asociados.

### **Micropaleontología en México**

Durante el siglo XIX y hasta las primeras décadas del siglo XX, el estudio de los microfósiles marinos en México fue dominado por compañías petroleras extranjeras. No es sino hasta 1938 cuando Petróleos Mexicanos comienza a establecer la hegemonía de este tipo de investigaciones en nuestro territorio.

En la segunda mitad del siglo XX se funda el Instituto Mexicano del Petróleo, en donde se forma personal altamente calificado y se efectúa investigación básica y tecnológica en el campo de la Micropaleontología.

De los periodos geológicos reportados en las investigaciones micropaleontológicas para México, el que mayormente ha atraído la atención de investigadores mexicanos es el Cretácico. Tal hecho es explicable debido a la relación que este periodo tiene con las rocas que contienen energéticos. En segundo lugar, están los estudios efectuados en el Reciente, principalmente con material contenido de lagunas litorales y zonas marinas; estos alcanzan casi el 43%. El territorio nacional tiene pocos afloramientos del Paleozoico, por consiguiente, las investigaciones efectuadas para esta Era sólo comprenden el 1.36%.

### **Consideraciones finales**

La historia de esta disciplina podría dividirse, aunque algo artificialmente, en tres fases o etapas:

La primera sería la de la Micropaleontología taxonómica y sistemática, de obtención de conocimientos, la micropaleontología de los inicios, del reconocimiento y la curiosidad.

La segunda, abarcaría la Micropaleontología aplicada a la búsqueda de los hidrocarburos, principalmente, además de otros recursos naturales; es decir, la etapa de la Micropaleontología industrial y por último,

La tercera comprendería los nuevos avances en cuanto a las determinaciones ambientales, tanto presentes como pasadas, y su importancia en el

monitoreo y las evaluaciones de impacto ambiental y las políticas de restauración la llamada Micropaleontología Ambiental.

Sin embargo, estas fases no pueden ser consideradas de manera independiente, ni en el tiempo, ni en el espacio. Y es que, a pesar de que los comienzos de la Micropaleontología se enfocaron al reconocimiento y caracterización de los microorganismos, obteniendo valiosa información acerca de los mismos, no fue sino hasta el descubrimiento de su aplicación en la búsqueda de petróleo que surgió una inquietud mayor hacia esta rama de la Paleontología. Este *boom* le permitió un tremendo crecimiento en sus aspectos taxonómicos, bioestratigráficos y paleoecológicos, abriendo las puertas para nuevos estudios, técnicas y aplicaciones. En este contexto, surge la Micropaleontología ambiental, la cual utiliza los conocimientos obtenidos previamente para estudiar los aspectos físicos, químicos y biológicos de los ecosistemas, empleando a los microfósiles como herramienta principal.

Es preciso también mencionar que, a pesar de que nos encontramos en un momento de la ciencia en general donde parece haber más aplicación que obtención de conocimientos, queda aún mucho por hacer en el campo de la investigación, de la búsqueda, pues no se tiene todavía una idea amplia de la diversidad de organismos que habitan nuestro planeta. Es así que, de la mano de los avances tecnológicos, siempre irá la ciencia básica, pura.

Así, en los próximos años, sin duda, la Micropaleontología continuará realizando sistemática y bioestratigrafía clásicas, participando en la exploración petrolera y en la reconstrucción paleoambiental. Sin embargo, su esencia sufrirá cambios drásticos, pues actualmente, la Tierra se enfrenta a problemas cada vez más evidentes y serios: las alteraciones que la humanidad está provocando en los ecosistemas y las repercusiones de los mismos, pues no debemos olvidar que los ecosistemas están organizados en redes conformadas por elementos orgánicos e inorgánicos que interactúan armoniosamente. Cuando uno o varios de dichos elementos sufren un daño, la red se altera y con ello puede venir como consecuencia un desequilibrio en el sistema.

Uno de los causantes de este deterioro ambiental es la sobre explotación de los hidrocarburos y sus derivados. Así, la misma ciencia que apoya la explotación de estos recursos, se ve también en la necesidad de buscar un modo de disminuir dichos desequilibrios, por lo que, en años venideros, habrá de encontrarse un balance que concilie estos dos enfoques de una misma disciplina: la Micropaleontología.

Debido a que la microfauna y microflora fósil y reciente en México no están lo suficientemente conocidos, se requiere de proyectos de investigación que incorporen programas interdisciplinarios, con el fin de aumentar el conocimiento sobre la distribución y evolución de éstos organismos y su potencial aprovechamiento como indicadores de diferentes características oceanográficas y poder así hacer un mejor uso de los recursos naturales.

#### LITERATURA CONSULTADA

- Corrales Zarauza, I., J. Rosell Sanuy, L. M. Sánchez de la Torre, J. A. Vera Torres, L. Vilas Minondo. 1977. *Estratigrafía*. Rueda, Madrid.
- Fischer, A. G., S. Judson (eds.). 1975. *Petroleum and Global Tectonics*. Princeton University Press, New Jersey.
- Gío-Argáez, F. R., M. L. Machain-Castillo, A. Gaytán Caballero. 2004. Ostrácoda. Pp. 513-558, in: J. Llorente Bousquets, J. J. Morrone, O. Yáñez Ordóñez, I. Vargas Fernández (eds.), *Biodiversidad, Taxonomía y Biogeografía de Artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento*. Volumen IV. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Haq, B. U., A. Boersma (eds.). 1978. *Introduction to Marine Micropaleontology*. Elsevier, New York.
- Jones, R. W. 1996. *Micropaleontology in Petroleum Exploration*. Oxford Science Publications.
- Krutak, P. R. 1977. *First Short Course in Micropaleontology*. The University of Nebraska.
- Martin, R. E. (ed.). 2000. *Environmental Micropaleontology. The Application of Microfossils to Environmental Geology*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.
- Ríha, J (ed.). 1995. *Ostracoda and Biostratigraphy*. Balkema, Rotterdam.
- Termier, H., G. Termier. 1960. *Paléontologie Stratigraphique*. Masson & Cie, Editeurs, Paris.
- Whatley R., C. Maybury (eds.). 1990. *Ostracoda and Global Events*. Chapman and Hall, Londres.