

## Frances Charlton de Rivero



**Frances Charlton de Rivero.** *La primera mujer en la enseñanza e investigación en Estratigrafía y Paleontología* Nace en Brooklyn (Nueva York, EUA) el 25 de mayo de 1904, sin embargo, adquiere la nacionalidad venezolana por matrimonio el 15 de julio de 1935. Durante su vida profesional, se desempeñó en las áreas de Estratigrafía, Paleontología y Micropaleontología. Constituye la primera mujer que formó parte del personal docente del Instituto de Geología que dio origen a la actual Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela (UCV).

Frances Charlton cursa sus estudios universitarios en el *Vassar College (Poighkeepsie, Nueva York)*, donde obtiene en 1924 el título de Bachelor of Arts con doble especialización en Latín y en Geología y Geografía, con una calificación Summa cum Laude. En 1925 comienza sus estudios de postgrado en la Universidad de Columbia (Nueva York) en Geología y en 1926 obtiene el título de Master of Arts, realiza su tesis sobre "Las especies del género de *Amphistegina*". Entre 1931 y 1935, cursa estudios de postgrado en la Uni-

versidad de California (Berkeley, California), aprobando todos los cursos necesarios exigidos en el programa de doctorado en Paleontología, da inicio a su tesis doctoral la cual trataba del estudio detallado de la microfauna en la Formación Bowden (Mioceno) en Jamaica, pero por razones económicas no puede culminarla. Durante este período, pasa dos veranos en la Institución Oceanográfica Sripps, afiliada a la Universidad de California en la Jolla (California) estudiando las colecciones de macroforaminíferos del Dr. Vaughan. Entre 1936 y 1938, cursa estudios de postgrado en el Departamento de Castellano de la Universidad de Columbia (Nueva York), aprobando los cursos en Redacción en Castellano, Literatura del Siglo de Oro y Literatura Moderna Hispano-Americana. Con el fin de actualizarse, asiste como oyente al curso de Estratigrafía (que ya había aprobado años antes con el Dr. Galloway) que para entonces dictaba el Dr. Kay.

Entre 1926 y 1927, se desempeñó como Ayudante en Geología en la Universidad de Columbia (Nueva York), en esta condición colaboraba con el Prof. Galloway en la preparación de su libro sobre Foraminíferos y ayudaba en las prácticas del curso de Micropaleontología. En 1927 comienza a trabajar como micropaleontóloga en la Pure Oil Company, en sus oficinas en Arkansas. Para 1929, se muda a Maracaibo (Venezuela) donde trabaja como micropaleontóloga en la Orinoco Oil Company, subsidiaria de la Pure Oil Company, hasta 1931. Entre 1933 y 1935, se desempeña como Jefa del Laboratorio de Micropaleontología de la División Gulf Coast en Luisiana de la Pure Oil Company. En octubre de 1943 es contratada como Profesora a Tiempo Completo en el Instituto de Geología que funcionaba en la avenida San Martín (Caracas, Venezuela), el cual fue asimilado al año siguiente por la Facultad de Ingeniería de la UCV como el Departamento de Geología, donde se desempeña hasta su jubilación en el año 1971, como profesora Titular, categoría que había logrado en el año 1953.

Aunque por su edad y por el tiempo de servicio cumplía con todos los requisitos para solicitar su jubilación, lo que verdaderamente la obliga a retirarse es su delicado estado de salud (sufría de osteoporosis).

Durante su estadía en la UCV, le tocó desempeñar tanto labores docentes como administrativas. Como docente, dictó las asignaturas de Paleontología, Geología Histórica que eventualmente se transformó en el curso de Estratigrafía Regional y, hasta 1951, el curso de Micropaleontología. Adicionalmente, dictó las asignaturas de Paleozoología (del postgrado de la Escuela de Ciencias, 1954-55), Inglés para Geólogos, Fisiografía para Agrimensores y Paleontología para Biólogos.

Dentro de las actividades administrativas fue Miembro de la Comisión Permanente de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (1947), Miembro de la Comisión de Asesoramiento Pedagógico (1949), Miembro de la Comisión de Reglamento de la Escuela de Ingeniería (1949), Comisionada Per-

manente en el Departamento de Enseñanzas Generales (1953), Miembro de la Comisión de Reválidas, Equivalencias y Traslados (1959-1963), Miembro de la Comisión de Ingreso a la Facultad de Ingeniería (1959), Jefe del Departamento de Geología (1961-1966) convirtiéndose, en aquella época, en la única mujer desempeñando este cargo tanto en Norteamérica como Suramérica; Representante de la Facultad de Ingeniería ante el Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la UCV (1961-1966) y Miembro de la Comisión de Becas del Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (1963-1965). Hay que agregar que también fue Delegada Suplente en el Consejo de la Facultad de Ingeniería (1959-1965).

Adicionalmente a las actividades ya indicadas, la profesora Charlton de Rivero representó a la UCV en la comisión redactora del Léxico Estratigráfico de Venezuela (1954-1956) y en la Organización Permanente de Estratigrafía y Terminología, donde se desempeñó como Jefa de la Subcomisión de artículos del Terciario. Fue editora de la revista *Geos* de la Escuela de Geología, Minas y Metalurgia (1962-1968).

Formó parte de la Delegación Oficial de la Facultad de Ingeniería en la IV Conferencia Geológica del Caribe que se celebró en Puerto España (Trinidad) en el año 1965.

Como miembro de la comisión redactora del Léxico Estratigráfico de Venezuela se encargó de la descripción de 44 unidades litoestratigráficas en español e inglés. Entre artículos y notas posee un total de 11 publicaciones en revistas venezolanas en las áreas de micropaleontología, ecología marina, oceanografía, paleoecología y estratigrafía (*Geos*, *Acta Científica Venezolana*, *Boletín de la Facultad de Ingeniería de la UCV*, *Boletín Informativo de la AVGMP*), que incluye la traducción del francés al español e inglés de los Principios de Clasificación y Nomenclatura Estratigráfica. Con respecto a publicaciones internacionales tiene dos tra-



Caricaturas de la Prof. Frances Charlton de Rivero realizadas por el Prof. Orlando Méndez.

bajos, una publicación en la *Journal of Paleontology* en coautoría con Coryall sobre la microfauna del Mioceno de Haití (1940) y una publicación en las *Memorias de la Facultad de Ciencias de la Universidad de la Habana* sobre la Estratigrafía de Cuba (1963). Junto con P.J. Bermúdez fue autora de dos libros, el "Estudio sistemático de los foraminíferos quitinosos, microgranulares y arenosos" publicado por Ediciones de la Biblioteca de la UCV (1963) y "Micropaleontología General" publicado por Ediciones Gea (España) en el mismo año, este último constituye un texto único sobre esta materia en español. En el período de 1966 a 1967, colaboró en la traducción al español del libro de texto para secundaria *Geología y Ciencias Afines (Geology and Earth Sciences Sourcebook)*, que se utilizaría en los países latinoamericanos, publicado en México por el Instituto Geológico Americano (American Geological Institute) y la Fundación Nacional para la Ciencia (National Science Foundation). Sin embargo, merece hacer también mención, a las guías de clase que preparó sobre Estratigrafía y Paleontología de invertebrados y vertebrados, que además de su contenido, se destacan por sus hermosas ilustraciones realizadas por ella misma.

A lo largo de su vida como estudiante y profesional recibió varios premios y reconocimientos. Por su desempeño académico durante sus estudios de pregrado en el Vassar College, es elegida en 1923 para la Sociedad Nacional de Phi Beta Kappa, que reúne a los estudiantes sobresalientes de las universidades norteamericanas. Se gradúa Summa cum Laude y recibe el Premio Smith de Geología (1924).

Durante sus estudios de postgrado en la Universidad de Columbia es elegida Miembro de la Sociedad Nacional Honorífica de Sigma Xi (Ciencias). En 1961, es nombrada por el Vassar College como una de las egresadas egregias (Vassar's Women of the Century), en el centenario de la fundación de

aquella institución, con mención de que es la única mujer Jefe de un Departamento de Geología en todas las Américas. No faltan los reconocimientos a su labor docente durante su estadía en la UCV. En 1964 recibe un diploma en Reconocimiento a la Meritoria Labor Docente, en 1965 le otorgan el Diploma de la Asociación de Antiguos Alumnos de la Facultad de Ingeniería, en reconocimiento a su labor docente. En 1965 recibe del Ministro de Educación la condecoración Orden 27 de Junio en Segunda Clase por sus méritos docentes.

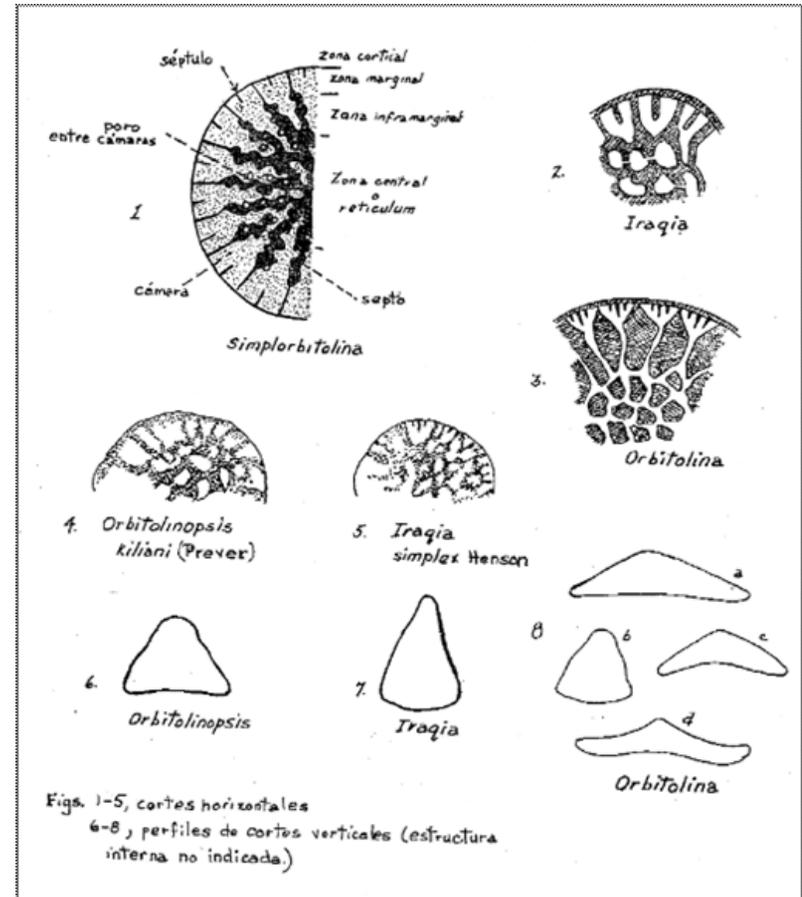
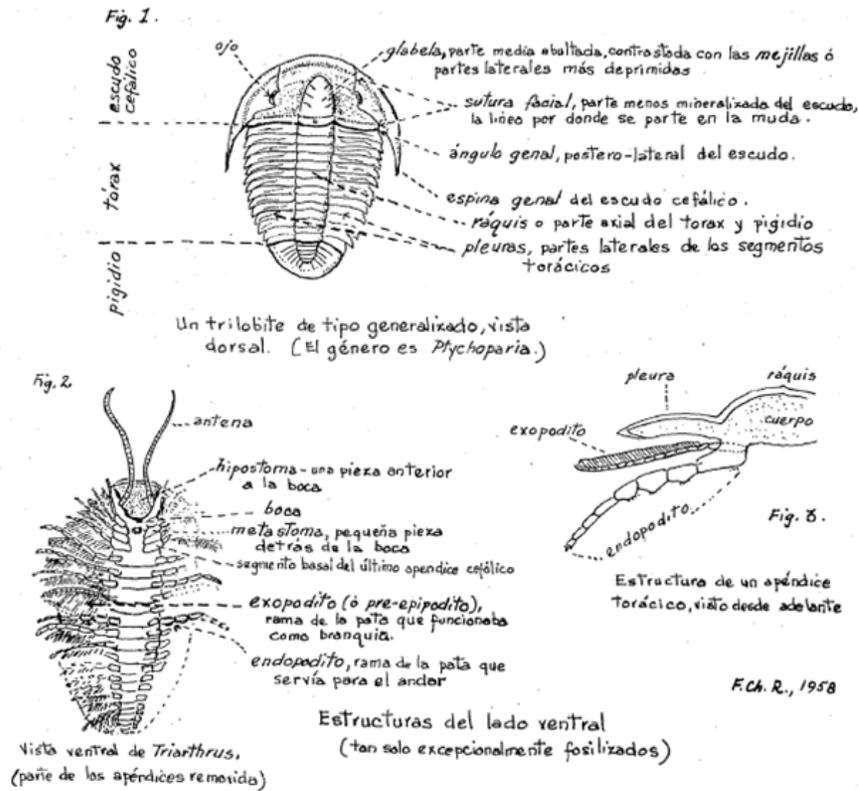
No se ha encontrado información acerca de su fecha de fallecimiento. De acuerdo con la Profesora Gamero debió ocurrir en el año 1975 o 1976.

#### ***Opinión de la Dra. María Lourdes Díaz de Gamero sobre la Profesora Frances Charlton de Rivero***

El principal interés de la Profesora Frances Charlton de Rivero se centraba en la investigación de la estratigrafía, especialmente sobre la estratigrafía del Cenozoico de las áreas tropicales de las Américas: el sur de Norteamérica, América Central y norte de Suramérica, basada en las faunas de moluscos y foraminíferos fósiles.

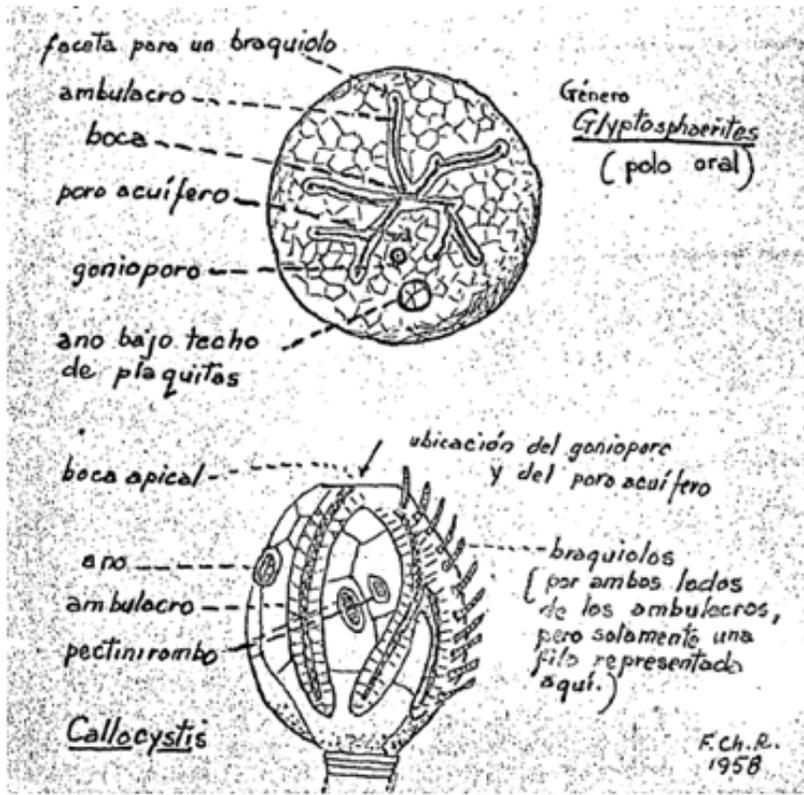
En el área de docencia enseñaba Paleontología, además de Estratigrafía. En ambos campos dedicó mucho tiempo y energía a preparar material didáctico, dada la escasez del mismo en español y aún en inglés. Esto fue particularmente importante en la publicación en la revista *GEOS* de varios artículos detallados y actualizados (para la época) sobre la ecología de los océanos de nuestro planeta y cómo influye en la distribución de los organismos.

La Profesora Charlton de Rivero tenía un notable don artístico que se refleja en las Guías de Paleontología, exquisita y profusamente ilustradas por ella misma.



Ilustraciones de la Guía de estudio sobre los artrópodos (1958)

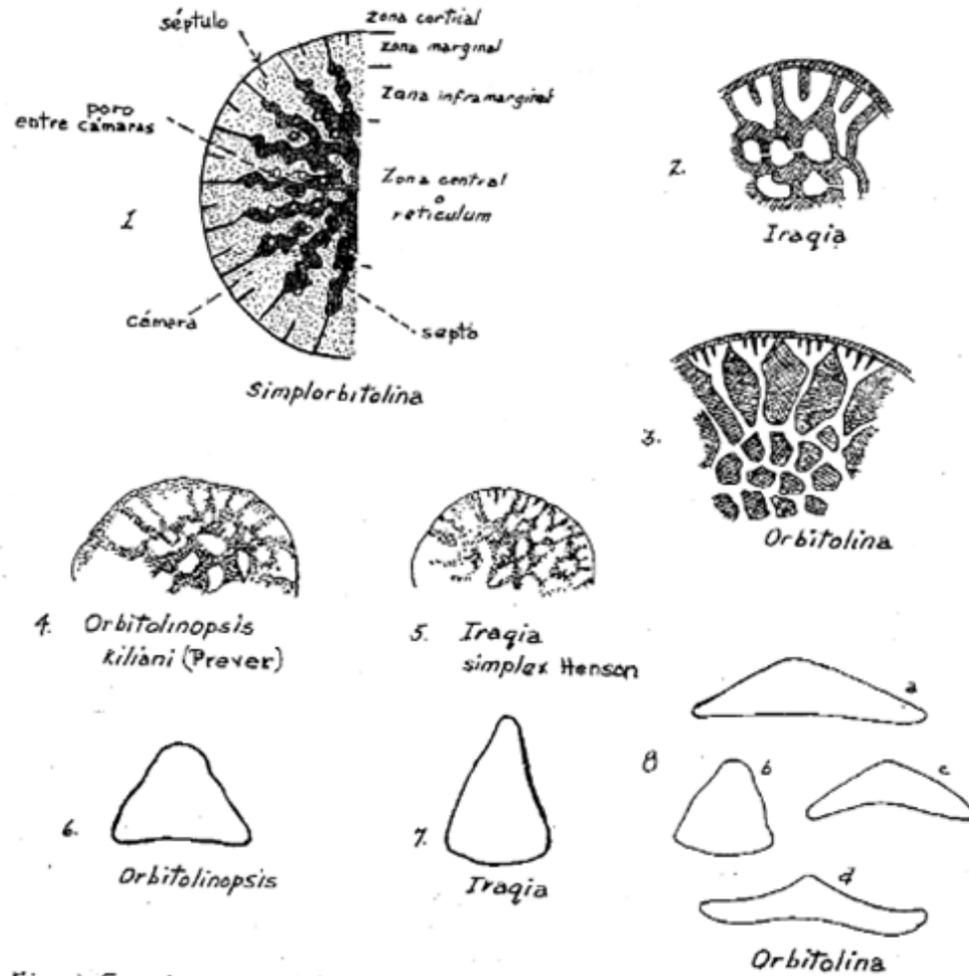
Ilustraciones del artículo Introducción al estudio de los macroforaminíferos de la familia Orbitolinidae. Publicado en el año 1959 en la revista *Geos* (UCV, Caracas) 1:4-19.



Ilustraciones de la Guía de estudio sobre los equinodermos (1958)



La profesora Frances con Clemente González de Juana y Alfonso Kroboth. Foto cortesía del Prof. Orlando Méndez.



Figs. 1-5, cortes horizontales  
 6-8, perfiles de cortes verticales (estructura interna no indicada.)

Ilustraciones del artículo Introducción al estudio de los macroforaminíferos de la familia Orbitolinidae.  
 Geos UCV, Caracas 1:4-19

**Zoisita-clinozoisita.**—Estos dos minerales se describen juntos a causa de sus semejanzas en las propiedades ópticas. Ambos se encuentran principalmente como granos incoloros irregulares de birrefringencia moderada, aunque comunmente muestran colores anómalos "ultra-azules" de

interferencia debido a la fuerte dispersión de sus ejes ópticos. De una manera general, la distribución estratigráfica de zoisita-clinozoisita corre más o menos paralela con la del epidoto. Asociados con glaucofano, caracterizan a la parte inferior de la formación La Rosa del Oligoceno en el campo de La Rosa (Manger, 1938).

#### BIBLIOGRAFIA

- BRAMLETTE, M. N., 1929 "Natural Etching of Detrital Garnet", Amer. Mineral., Vol. 14, Nº 9, pp. 336-37.
- BUCHER, W. H., 1950. "Geologic-Tectonic Map of Venezuela", Geol. Soc. America.
- BUCHER, W. H., 1952. "Geologic Structure and Orogenic History of Venezuela", Geol. Soc. America Mem. 49.
- DRYDEN, A. L., 1931. "Accuracy in Percentage Representation of Heavy Mineral Frequencies", Proc. Nat. Acad. Sci., Vol. 17, pp. 233-38.
- FEO-CODECIDO, G., 1953-1954. "Notas Petro-lógicas Sobre Formaciones que Afloran en la Región de El Baúl (Estado Cojedes)", Bol. de Geol. (Caracas), Vol. III, Nº 8, pp. 109-21.
- FUNKHOUSER, H. J., SASS, L. C. y HEDBERG, H. D., 1948. "Santa Ana, San Joaquín, Guarío, and Santa Rosa Oil Fields (Anaco Fields), Central Anzoátegui, Venezuela", Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., Vol. 32, Nº 10, pp. 1851-1908.
- HAAS, M. W. y HUBMAN, R. G., 1937. "Notes on the Stratigraphy of the Bolívar Coastal Fields, Maracaibo Basin, Venezuela", Bol. de Geol. y Min. (Caracas), T. I, Nos. 2-4, pp. 115-55.
- HEDBERG, H. D., 1928. "Some Aspects of Sedimentary Petrography in Relation to Stratigraphy in the Bolívar Coast Fields of the Maracaibo Basin, Venezuela", Jour. Paleon., Vol. 2, Nº 1, pp. 32-42.
- HEDBERG, H. D., 1950. "Geology of the Eastern Venezuelan Basin (Anzoátegui-Monagas-Sucre-Eastern Guárico Portion)", Bull. Geol. Soc. America, Vol. 61, Nº 11, pp. 1173-1216.
- HEDBERG, H. D. y SASS, L. C., 1937. "Synopsis of the Geologic Formations of the Western Part of the Maracaibo Basin, Venezuela", Bol. de Geol. y Min. (Caracas), T. I, Nos. 2-4, pp. 73-112.
- HEDBERG, G. D., SASS, L. C., y FUNKHOUSER, H. J., 1947. "Oil Fields of Greater Oficina Area, Central Anzoátegui, Venezuela", Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., Vol. 31, Nº 12, pp. 2089-2169.
- KAUFMANN, G. F., 1950. "Modern Methods in Petroleum Exploration", Quart. Colorado School Mines, Vol. 45, Nº 1 B, pp. 39-69.
- KRUMBEIN, W. C. y PETTIJOHN, F. J., 1938. "Manual of Sedimentary Petrography. D. Appleton-Century Company, Inc., New York and London.
- KRUMBEIN, W. C. y SLOSS, L. L., 1951. "Stratigraphy and Sedimentation, W. H. Freeman and Company, San Francisco, California.
- KRYNINE, P. D., 1946. "The Tourmaline Group in Sediments", Jour. Geol., Vol. 54, Nº 2, pp. 65-87.
- LARSEN, E. S. y BERMAN, H., 1934. "The Microscopic Determination of the Nonopaque Minerals", 2d ed., U. S., Geol. Survey Bull. 848.
- LEROY, L. W., 1950. "Subsurface Geologic Methods", 2d ed., Colorado School Mines.
- LIDDLE, R. A., 1946. "The Geology of Venezuela and Trinidad, 2d ed., Paleon. Research Inst., Ithaca, New York.
- MANGER, G. E., 1938. "Notes on the Stratigraphy of the Younger Tertiary Formations of the Bolívar Coastal District, State of Zulía, Venezuela", Bol. de Geol. y Min. (Caracas), T. II, Nos. 2-4, pp. 56-79.
- MENCHER, E., FICHTER, H. J., RENZ, H. H., WALLIS, W. E., RENZ, H. H., PATTERSON, J. M. y ROBIE, R. H., 1953. "Geology of Venezuela and Its Oil Fields", Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., Vol. 37, Nº 4, pp. 690-777.
- MILNER, H. B., 1940. "Sedimentary Petrography", 3d ed. Thomas Murby and Company, London.
- PETTIJOHN, F. J., 1941. "Persistence of Heavy Minerals and Geologic Age", Jour. Geol., Vol. 49, Nº 6, pp. 610-25.
- PETTIJOHN, F. J., 1949. "Sedimentary Rocks. Harper and Brothers, New York.
- SUTTON, F. A., 1946. "Geology of Maracaibo Basin, Venezuela", Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., Vol. 30, Nº 10, pp. 1621-1741.
- TWENHOFEL, W. H., TYLER, S. A., 1941. "Methods of Study of Sediments, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York and London.

## micropaleontología

### definición, historia y estado actual

frances charlton de rivero

Capítulo introductorio del libro Micropaleontología, actualmente en preparación por los doctores F. Ch. de Rivero y P. J. Bermúdez.

La micropaleontología es una rama especializada de las ciencias geológicas que se ocupa del estudio de los restos de organismos diminutos que se encuentran conservados, frecuentemente en abundancia y variedad casi inconcebible, en las rocas sedimentarias de nuestro globo. Constituye por lo tanto una especialización dentro del campo de la paleontología general, y al igual de ésta, guarda estrechas relaciones por un lado con las ciencias geológicas, especialmente la estratigrafía y la sedimentología, por otro con las biológicas tales como la biología general, la zoología y la botánica sistemáticas, la oceanografía, la biogeografía, la genética, etc., apoyándose en todas estas ciencias a la vez que aporta datos valiosos para los adeptos de todas y cada una de ellas.

La separación de la micropaleontología como una especialización dentro de la paleontología general, y su enseñanza como materia distinta en los **pensa** de la carrera de Geología, obedece primariamente a motivos de índole práctica, ya que en cuanto a los principios que la rigen y las finalidades que persigue, es inseparable de la ciencia madre. Pero el estudio de los fósiles microscópicos exige técnicas especiales de recolección y preparación, así como también conocimientos de la estructura y clasificación sistemática de determinados grupos de plantas y animales, más detallados, de los que se pueden impartir en un curso de la paleontología general, motivo por que la paleontología de los vertebrados y la Paleobotánica también figuran como materias distintas. A di-

ferencia de estas especializaciones, sin embargo, la micropaleontología ocupa un lugar privilegiado como una ciencia **aplicada** en vasta escala en la industria petrolera, la que en todos los países mantiene laboratorios costosamente equipados y emplea centenares de profesionales y técnicos de laboratorio especializados, puesto que los estudios micropaleontológicos de las rocas penetradas por los taladros, en combinación con los de registros eléctricos y otros métodos físico-químicos, han demostrado sobradamente su valor económico en la industria. La precisión en la identificación y correlación de las formaciones del subsuelo, lograda dentro de los últimos treinta o cuarenta años por medio de los estudios micropaleontológicos constituye uno de los adelantos más impresionantes de las ciencias geológicas, a la vez que un ejemplo señero de la estrecha relación entre la "ciencia pura" y la "aplicada", las que a veces se pretende representar como antagónicas cuando son en realidad las dos caras de una misma moneda. Hubiera sido imposible el desarrollo vertiginoso de la micropaleontología aplicada si no fuera por el caudal de conocimientos acumulados durante más de un siglo por la labor paciente y minuciosa de tantos investigadores, inspirados por el afán puro de descifrar los secretos de la Naturaleza; mientras que a su vez las aplicaciones comerciales han servido de poderoso estímulo y ayuda a las investigaciones cada vez más profundas del mundo, de lo pequeño de que se ocupa nuestra ciencia. Es placentero señalar a este respecto la actitud progresista de las empresas petroleras, cuyos dirigentes han prestado decidido apoyo moral y financiero a las investigaciones micropaleontológicas aun cuando las aplica-

ciones inmediatas de éstas no se perfilaban en el momento dado.

Analicemos ahora algunos de los factores responsables por la importancia de la Micropaleontología. En primer término, se destaca la **abundancia de los microfósiles**, en comparación con la pobreza en restos de organismos macroscópicos que frecuentemente se observa en los mismos estratos. Esto a su vez se debe a diversos factores, como lo son:

a) la abundancia relativamente mucho mayor de los microorganismos, en comparación con los de mayor tamaño, en los mares actuales y del pasado. De la misma manera que abundan mucho más los restos de los invertebrados marinos que los vertebrados, debido al predominio numérico de aquéllos, predominan en un grado infinitamente mayor los microorganismos, fenómeno por demás conocido de los biólogos marinos, quienes describen el agua del mar en los niveles superficiales y bien iluminados como un verdadero "caldo" de animales y plantas microscópicas. Podemos citar al efecto las observaciones de Alcides d'Orbigny, precursor insigne de la Micropaleontología, quien en 1839 al estudiar los foraminíferos de Cuba y de las Antillas, escribió que "hemos encontrado hasta 480.000 ejemplares en una sola dragma de arena, o 3.840.000 en una onza. Estas proporciones multiplicadas en una escala más grande, en una vara cúbica por ejemplo, exceden todas las previsiones humanas y aumentan tanto el número de los decimales que cuestra trabajo concebirlo".

b) Por otra parte, aunque a primera vista parece paradójico, los delicados esqueletos calcáreos o silíceos de que están revestidos tantos de los microorganismos, frecuentemente sufren menos daño del roce de las arenas, la acción de los anima-

les predadores o necrófagos del fondo, el ataque de las bacterias y el peso de los sedimentos suprayacentes, que no las conchas o caparazones de los invertebrados mayorés.

c) Además, los microorganismos, hablando en términos generales (ya que grupos individuales pueden estar sujetos a factores restrictivos) tienen un espectro ecológico mucho más amplio que los macroorganismos o sea que se adaptan a mayor variedad de ambientes marinos. La mayoría de los organismos cuyos restos se estudian en la Macropaleontología, son habitantes de mares someros, encontrándose en rocas sedimentarias formadas en semejantes ambientes del pasado, en regiones de relativa estabilidad tectónica. Estas formaciones, que tienden a aflorar en los bordes de las cuencas sedimentarias, constituían el material de la Geología en sus primeros tiempos y mientras ésta se restringía al estudio de los afloramientos; pero al paso que las exploraciones geológicas del subsuelo iban dirigiéndose hacia los sedimentos en las partes más profundas de las cuencas o a regiones geosinclinales, la escasez de los microfósiles se hacía cada vez más sensible. Se ha reconocido siempre en la macropaleontología el valor de ciertos grupos de organismos independientes de las condiciones del fondo marino; los que flotaban o nadaban a la deriva, como son los graptolites del Paleozoico antiguo y los amonites mesozoicos; pero son relativamente contadas tales formas, y los varios factores arriba mencionados en contra de su amplia representación al estado fósil, en contraste con los microorganismos, hacen que la casualidad juegue un papel demasiado grande en su accesibilidad potencial como fósiles característicos. Entre los microorganismos, en contraste, hay muchos grupos que a la

vez son planctónicos (es decir, vivían flotando en los mares abiertos) y provistos de esqueletos aptos para ser conservados al estado fósil, como son ciertos foraminíferos, los radiolarios, los tintínidos y otros.

El otro factor de importancia primordial que le imparte tanto valor a la Micropaleontología como ciencia aplicada, es fácil de apreciar; es sencillamente que dada la abundancia relativa de los microfósiles aunada a su tamaño diminuto, basta una muestra de poco volumen y recogida frecuentemente casi al azar, para proporcionar ejemplares suficientes para que el micropaleontólogo pueda emitir una opinión sobre la edad geológica de los estratos. Más aún, la fragmentación de los sedimentos producida por los taladros rotatorios o de percusión que se utilizan en la industria petrolera, no afecta a la gran mayoría de los microfósiles presentes en las rocas, siendo factible la recolección de los fragmentos triturados y la separación de los ejemplares encerrados en ellos; hecho éste de gran trascendencia en los primeros años de la expansión de la industria petrolera, cuando aún no se había perfeccionado la técnica de la extracción de testigos de la magnitud lograda hoy en día, operación que por lo demás siempre implica gastos adicionales de consideración.

A las ventajas ya señaladas, hay que añadir la siguiente: que debido a la abundancia de los microfósiles el investigador puede utilizar los **métodos estadísticos** en el análisis de diversos aspectos tan interesantes como la abundancia relativa de las especies en diferentes niveles estratigráficos, o en sedimentos de diferentes facies, o la variabilidad dentro de una especie individual. Tales estudios se reconocen universalmente como de gran importancia en la

paleontología, pero en el caso de los microfósiles muchas veces quedan inoperantes por escasez de material.

En el siglo pasado y hasta en los mismos años cuando la micropaleontología empezaba a aplicarse en escala mayor, muchos de los adeptos de la paleontología dudaban del valor de los microfósiles como indicadores precisos de niveles estratigráficos. En especial, dudaban del valor de los foraminíferos, uno de los primeros grupos en ser utilizados y todavía el más importante, basándose en parte en un menosprecio de la complejidad de los protozoarios a cuya gran división del reino orgánico pertenecen estos organismos; en parte en un concepto erróneo de la inestabilidad de las especies dentro del grupo, propalado en el siglo pasado por algunos investigadores de los foraminíferos y quienes los habían estudiado principalmente en su aspecto biológico. Afortunadamente, este concepto equivocado ha sido completamente subsanado, de manera que los investigadores actuales de la repartición estratigráfica detallada de otros tipos de protozoarios o protofitas todavía, insuficientemente estudiados (como, por ejemplo, los radiolarios) no se hallan perjudicados por el pesimismo de sus propios colegas.

Hechas estas consideraciones sobre la importancia de la Micropaleontología, pasamos a considerar algunos aspectos de su metodología y de su contenido que ayudan a precisar sus relaciones con, y diferencias de, la Paleontología en el sentido general. Dado el tamaño tan diminuto de los restos, su presencia en los sedimentos frecuentemente no se aprecia a simple vista, siendo necesario el empleo de técnicas más o menos complejas para separar y prepararlos para el estudio. Estas técnicas, que pueden variar considerable-

mente según el tipo de microfósiles, a estudiarse, se discutirán en mayor detalle en los capítulos siguientes, pero podemos adelantar aquí, que pueden variar desde muy sencillos, por ejemplo, la eliminación de la fracción más fina del sedimento mediante un simple lavado seguido por la extracción mecánica o manual de los microfósiles (como se puede hacer generalmente con los foraminíferos y los ostrácodos); hasta una serie de operaciones con reactivos químicos de varios tipos, como para los estudios de los radiolarios, los pólenes fósiles, las diatomeas y otros grupos, procedimientos que pueden variar según el carácter de la roca, el grupo de restos que se quiere estudiar, etc. La industria petrolera emplea gran número no sólo de micropaleontólogos titulares sino de técnicos y ayudantes de laboratorio, cuyo rendimiento y satisfacción personal sin duda se beneficiaría con mayor conocimiento de la Micropaleontología.

De acuerdo con el grupo de microorganismos a estudiarse, se utilizan microscopios (generalmente binoculares) cuyo aumento puede variar desde entre 10 y 15 diámetros hasta 100 (para los microfósiles de mayor tamaño) hasta más de 1.000 diámetros como son los utilizados en los estudios de los pólenes fósiles, las diatomeas, etc.; en el caso de las investigaciones más profundas de ciertos tipos de microfósiles, hasta se ha tenido que recurrir al microscopio electrónico. Hay que recordar, sin embargo, que el empleo del microscopio no es criterio terminante para distinguir la Micro- de la Macropaleontología, ya que son muy contados los tipos de fósiles para cuyo estudio el microscopio no se ha convertido en accesorio casi obligado de cualquier trabajo serio. Por otra parte, debemos notar que entre los gru-

pos cuyo estudio se asigna universalmente a la Micropaleontología, ciertas especies pueden alcanzar dimensiones tales que su presencia en las rocas se nota a simple vista y a veces se logra una identificación preliminar con la lupa de mano; como ejemplos tenemos especialmente ciertos foraminíferos como los Fusulínidos, los Numulítidos y los llamados "orbitoidales", cuyos caparazones pueden alcanzar varios milímetros y hasta unos centímetros de diámetro. En todos estos casos, sin embargo, las especies demuestran una complejidad asombrosa en su organización interna, que contradice totalmente el concepto popular de los Protozoarios como organismos "primitivos" o "sencillos" y exige para su utilización en la estratigrafía precisa, la preparación de láminas delgadas.

Puesto que no existe una demarcación terminante entre la Micro- y la Macropaleontología, por cuanto ambas se basan en los mismos principios, persiguen las mismas finalidades y a veces emplean las mismas técnicas del estudio microscópico, la definición del campo que debe abarcar la Micropaleontología varía ligeramente según el criterio individual, influido a su vez por el cuadro geográfico-geológico de la región a ser investigada, la abundancia relativa de los diferentes tipos de microfósiles, el valor comprobado de éstos para el esclarecimiento de la estratigrafía local, el interés personal de cada quien y hasta el factor económico que puede imponer limitaciones de equipo o de bibliografía. Se admite universalmente, sin embargo, que constituyen materia propia de la ciencia los estudios de:

1) Restos de plantas y animales cuyo tamaño es normalmente tan diminuto que no solamente su identificación científica sino con frecuencia la determinación de su presen-

cia o ausencia misma no puede verificarse sin el uso del microscopio. Estos pueden ser:

a) Animales o plantas microscópicos, clasificados como Protozoarios, Protofitas o (en algunos esquemas modernos) como miembros de un tercer Reino orgánico, Protistas: aquí tenemos, como los grupos más importantes, a los Foraminíferos (Protozoarios, Rizópodos), los Radiolarios (Protozoarios), los Tintínidos o Calpionélidos (Infusorios o Ciliados); los Flagelados cuya clasificación se discute entre los reinos vegetal y animal, Silicoflagelados, Dinoflagelados, Coccolitofóridos y otros; y las algas silíceas o Diatomeas. Entre estos microorganismos, hay varios que tenemos que describir como de afinidades biológicas desconocidas: los Discoastéridos, Histricosféridos, Quitinozoarios, **Nannoconus**, etc.

b) Subdivisiones de grandes grupos del reino animal en su mayoría representados por animales de tamaño macroscópico, pero en las que pueden existir agrupaciones sistemáticas menores, normalmente representadas por especies de tamaño microscópico; por ejemplo, los Ostrácodos y los Concostráceos entre la clase de los Crustáceos.

2) También constituyen material de la Micropaleontología, las partes aisladas de organismos más grandes que corrientemente se encuentran en los sedimentos y que pueden ser utilizadas como fósiles característicos, sin referencia a los caracteres del organismo total. Entre los microfósiles de esta categoría mencionaremos los **conodontos**, microfósiles de forma denticulada, comunes en muchas formaciones paleozoicas, pero cuyas afinidades biológicas o siquiera el papel que habrán jugado en el cuerpo, se desconocen totalmente; no obstante, son excelentes fósiles indicativos de niveles estratigráficos determina-

dos. Las **esporas** y los **pólenes** de las plantas son otros, puesto que aun cuando sea imposible llegar a identificar con precisión la planta originaria, se puede generalmente utilizar estos restos aislados.

Otros tipos de restos aislados que se utilizan o se aspira a poder utilizar, son: los **Histricosféridos**, esferas orgánicas espinosas de afinidades biológicas desconocidas; los **otolitos** o huececillos óticos de los peces, y las escamas de los mismos; los **escolecodontos** o elementos bucales de gusanos marinos; las plaquitas dermales de los holotúridos; y en menor grado, las espículas de esponjas y de alcionarios. Para la clasificación práctica de tales restos aislados, se recurre generalmente a esquemas artificiales basados en las formas.

3) Finalmente, debemos considerar el caso de los fragmentos o etapas juveniles de organismos de mayor tamaño, cuyo estudio normalmente corresponde a la micropaleontología, y las especies diminutas de tales grupos. La inclusión de estos restos en los estudios micropaleontológicos depende en parte de las circunstancias y en parte del criterio personal de cada quien. Por ejemplo, el estudio de los equinodermos fósiles constituye normalmente un ramo de la micropaleontología, pero tratándose de regiones o de partes de la columna donde abundan restos fragmentarios y etapas juveniles de ellos, ciertos especialistas consideran que su estudio corresponde a la micropaleontología; lo mismo rige para los restos fragmentarios de otros grupos, p.e.j., los briozoarios, graptolites, estromatoporoides, etc. Puesto que la utilización de tales restos exige extensos conocimientos de los organismos enteros, es evidente que al incluirlos como materia de la micropaleontología, ésta incluiría toda la paleontología general además del es-

tudio de los organismos microscópicos excluidos de ella, no obstante, autoridades de tanto peso como Cro-neis (1941) han sostenido que un curso de micropaleontología debe considerar tales restos. Frente a este dilema nos hemos permitido cierta arbitrariedad en la inclusión o exclusión de ciertos grupos "marginales", como se observará en los capítulos siguientes; para la mayoría, nos hemos limitado a señalar, en los capítulos generales sobre la clasificación sistemática de los organismos, que tales o cuales partes aisladas pueden presentarse en las muestras. Ya que este texto está dirigido principalmente a los investigadores de las formaciones post-paleozóicas, juzgamos que una consideración detallada de muchos de tales grupos alargaría en exceso la materia. Por otra parte, hemos incluido algunos capítulos sobre grupos cuya descripción como "microfósiles" podría dudarse, como son: los pequeños moluscos pelágicos Heterópodos y Pterópodos, y los escafópodos cuyas dimensiones alcanzan unos milímetros; la importancia de los pterópodos como componentes de los sedimentos oceánicos modernos y su frecuente presencia en los terciarios, nos parece que justifica el tratarlos como microfósiles al igual de los conostráceos. También hemos incluido un capítulo sobre las algas calcáreas, las que muchos autores modernos incluyen en el Reino Protistas y las consideran como tales materia micropaleontológica. Existe además un motivo de peso, que ellas se presentan generalmente en los mismos tipos de sedimentos que contienen macroforaminíferos, de modo que en la ausencia o escasez de éstos nos conviene poder ayudarnos con el estudio de los restos vegetales.

En cuanto a la importancia relativa de los diversos tipos de microfósiles, no cabe duda de que el primer

puesto corresponde a los foraminíferos, protistas o protozoarios marinos dotados de una concha o caparazón normalmente calcárea. No solamente son excelentes fósiles característicos, sino que generalmente abundan más que los otros tipos, por lo menos en las formaciones post-paleozóicas, aunque en ciertas de las paleozóicas y especialmente las más antiguas, están sobrepasados por los ostrácodos. Ya en el Paleozóico más moderno los caparazones de los Fusulinidos constituyen frecuentemente la mayor parte de las rocas, y en otros terrenos más modernos, especies de macroforaminíferos pueden jugar un papel semejante, como en las calizas cretácicas de Orbitolinas, y las de Numulites, Discocyclinas y Lepidocyclinas en el Terciario. No son solamente estas especies grandes cuyos caparazones se distinguen a simple vista, las que pueden jugar un papel preponderante en la composición de los estratos rocosos, sino también las especies microscópicas, sobre todo las planctónicas o flotantes que vivían en los mares abiertos. Actualmente, vastas regiones de los fondos marinos están cubiertas por los **barros de Globigerinas**, formados por las conchas de estos foraminíferos, que pululan en los océanos en las zonas templadas y tropical. Margas y calizas de origen semejante se encuentran a partir del Cretáceo período en que por primera vez algunos foraminíferos se adaptaron a la vida flotante. Es de advertir que la abundancia de las especies planctónicas en los sedimentos del pasado no implica necesariamente que éstos se hayan depositado en profundidades comparables con las de los barros de Globigerinas actuales, ya que por otros indicios se sabe que frecuentemente corresponden a aguas más someras donde las conchitas livianas fueron llevadas por las corrientes y

los vientos. Además de su abundancia, las especies planctónicas han resultado ser excelentes fósiles característicos, ya que las investigaciones modernas han derribado el concepto que originalmente se tenía de ellas, de que se hubieran variado poco o nada desde su origen. Por estos motivos, entre una de las especializaciones más pujantes de la micropaleontología moderna, hay que señalar el **estudio de las especies planctónicas**.

El segundo puesto de importancia se podría discutir entre los **ostrácodos**, diminutos crustáceos cuya importancia para las correlaciones de las formaciones paleozóicas fue apreciada desde los primeros años de la aplicación comercial de nuestra ciencia; y las **esporas** y los **pólenes**, cuyo estudio comprende una especialización dentro de la micropaleontología general, denominada la **Palinología**. Ambos grupos de microfósiles están siendo investigados afanosamente tanto en los laboratorios comerciales como en los claustros universitarios, puesto que ambos complementan o hasta sustituyen los foraminíferos en los sedimentos de ambientes nomarinos o mixtos; los ostrácodos, adaptados a un espectro ecológico más variados que los foraminíferos, se pueden presentar en aguas dulces o salobres además de las marinas; mientras que las esporas de las plantas inferiores en los terrenos antiguos y los pólenes de las angiospermas en formaciones más modernas, predominan en sedimentos terrestres pero se extienden también hacia las regiones costeras, hallándose a veces hasta en sedimentos de mares someros. Con la ayuda de estos dos tipos de microfósiles, los geólogos por primera vez pueden aspirar a lograr subdivisiones y correlaciones precisas de muchas formaciones pobres o estériles en fósiles macroscópicos.

Otros muchos tipos de microfósiles tienen interés actual o potencial para determinados sectores de la columna geológica o para ciertos tipos de rocas; los **conodontos** en muchas formaciones paleozóicas, especialmente las lutitas negras; los radiolarios que al igual de los formaminíferos, pueden acumularse en tanta abundancia que formen una roca sílicea llamada radiolarita; las algas síliceas microscópicas llamadas diatomeas, que habitan aguas dulces y marinas, y otros que veremos más detalladamente en las páginas siguientes. En años recientes, nuevas técnicas de preparación y mayor afán por investigar los microfósiles excesivamente diminutos —los "nanofósiles", como los llama Pokorny— cuyas dimensiones se miden en milésimas de milímetros en comparación con las décimas que corresponden a los microfósiles utilizados hasta últimamente, han dado a conocer muchos tipos interesantes que sin duda asumirán mayor importancia en el futuro. Es ya tan compleja la Micropaleontología, que bien podría denominarse en plural, las ciencias micropaleontológicas. Aún en el estudio de un grupo más restringido, p.e.j., los Foraminíferos, son tan complejas algunas subdivisiones que su estudio constituye ya una especialización propia. Son tan diversificados los Ostrácodos, que todavía está por escribirse el primer manual que trate todos los géneros extinguidos y actuales.

En resumidas cuentas, son amplias las perspectivas de la ciencia y muchos los frutos que ha de dar, si se consiguen obreros para el viñedo. Al enaltecer el valor de la Micropaleontología en la Geología aplicada, no debemos subestimar su importancia como auxiliar en otras muchas ramas de la ciencia pura o aplicada. Una de las ciencias de mayor actua-

lidad es la Oceanografía, que en su aspecto biológico exige conocimientos de precisamente los mismos microorganismos de que se ocupa el micropaleontólogo. La Palinología tiene aplicaciones en la Medicina y hasta en la apicultura. Nuevos datos aportados por nuestra ciencia, sin duda contribuirán a aclarar muchos capítulos oscuros de la evolución de los seres orgánicos en nuestro planeta; la evolución de las plantas terrestres, tan poco conocida antes del Carbonífero, se vislumbra ya como de mayor antigüedad de lo postulado, ya que esporas de plantas vasculares se conocen del Silúrico asociadas con graptolites, y hallazgos aún más antiguos están pendientes de confirmación. (Hoffmeister, 1959). Bajo condiciones favorables, hasta microorganismos desprovistos de partes duras de millones de años de antigüedad han llegado a nuestros ojos, como los Ofiobólidos descubiertos por Werzel (1933) en lilitas cretáceas. Los delicados flagelos o latiguillos de estos organismos, difíciles de conservar intactos en preparaciones biológicas de los protozoarios vivos, se perpetuaron intactos en la sílice coloidal del fondo, luego transformada en roca durísima. Puede que algún día se realice el sueño de los paleontólogos, de poder reconstituir la vida de los tiempos registrados en las rocas sedimentarias más antiguas conocidas en nuestro planeta, los sistemas precámbricos.

#### Breve historia de los estudios micropaleontológicos

Un breve recuento de los antecedentes de la Micropaleontología no puede faltar en este capítulo introductorio, tanto más porque en la obra tan valiosa que sobre el nacimiento y desarrollo de las ciencias

geológicas ha redactado F. D. Adams (1938), ni siquiera se menciona esta rama de la paleontología. Más imperiosamente que en cualquier otra de las ciencias geológicas, los paleontólogos tienen la obligación de cultivar el sentido de la tradición profesional y de rendir justicia a sus precursores, por estar obligados a respetar en la nomenclatura de las especies, los trabajos que en este campo se han publicado desde mediados del siglo XVIII, cuando el insigne naturalista Carlos Linneo ideó el sistema de denominaciones científicas para las especies biológicas que todavía lleva su nombre.

Los estudios micropaleontológicos, naturalmente, no pudieron adelantarse a la invención del microscopio compuesto por A. van Leewenhoek en 1677, si bien algunos de los macroforaminíferos eran conocidos ya de los griegos y romanos, llamándole la atención al "padre de la Historia", Heródoto, los numulites que abundan en la vecindad de las pirámides egipcias, los que interpretó como "lentejas petrificadas". Con la divulgación de las observaciones de Leewenhoek sobre los "animalitos" o "infusorios" que él había observado en las aguas de charcos e infusiones de vegetales, los adeptos a la filosofía natural como se denominaban las ciencias naturales en ese entonces) no tardaron en utilizar el nuevo aparato para penetrar en el mundo de lo pequeño. El primero en describir restos que ahora se estudian a título de microfósiles, fue el italiano J. Beccarii (Beccarius en la versión latinizada) quien en 1731 describió y figuró varios tipos de "conchitas" halladas en las arenas pliocenas cerca de Boloña. Giovanni Bianchi (Janus Plancus) en 1739 describe unas "conchitas" principalmente de foraminíferos como ahora se sabe, de las arenas de la playa adriá-

tica de Rímini; al igual de todos quienes por primera vez observan una muestra rica en foraminíferos, manifiesta su admiración ante su abundancia,, estimando en 6.000' el número de conchitas en una sola onza. N. G. Cualtieri (1742) y Ledermüller (1760-68) fueron otros de los primeros en darse cuenta de estos diminutos restos, sin sospechar que sus afinidades habrían de buscarse más bien con algunos de los "infusorios" de Leewenhoek que no con los "gusanos" y "cefalópodos" que imitaban en sus formas.

Tan rudimentarios todavía eran los conocimientos de las ciencias biológicas a mediados del siglo XVIII, que Linneo pudo aspirar a reunir en una sola obra, una síntesis de todas las especies conocidas, la que a título del "Sistema de la Naturaleza" (**Sistema naturae**, redactado en el idioma latín que constituía todavía la lengua franca de los científicos) elaboró por primera vez en 1735 e iba modificando y ampliando en muchas ediciones posteriores. De éstas, los biólogos han escogido la décima, publicada en 1758, como la pauta permanente para los nombres científicos de los animales; o sea, que haciendo caso omiso para fines de la nomenclatura de los nombres propuestos con anterioridad, a partir de esa fecha se aplica rigurosamente el principio de la prioridad en la publicación como determinante del nombre de una especie. En la 12ª edición (1766-67) así como en la versión editada por Gmelin (1788-93) después de la muerte de Linneo, algunas de las especies de foraminíferos figuradas por autores pre-linneanos recibieron nombres binomiales que las hacen acreedoras a su incorporación en la nomenclatura.

Dos investigadores alemanes, L. Fichtel y J. P. C. Moll, publicaron en 1798 un pequeño trabajo ilustrado

con preciosos dibujos de foraminíferos principalmente de la región de Rímíni, refiriendo las especies al género de cefalópodos **Nautilus**, pero delineándolas con tanta fidelidad que sus nombres quedan asociados a la mayoría de las especies. (Véase también el reestudio moderno de estas especies por Cushman, ). Lamentablemente, las reglas de la nomenclatura científica obligan también al recuerdo perenne de P. Denys de Montfort, quien en 1808 publica un librito de "conchiliología" sistemática (**Conchyliologie systematique**), en el cual asigna nombres a muchos géneros de foraminíferos, basándose en gran parte en la obra de Fichtel y Moll, cuyas figuras deforma monstruosamente, fundando dos aspectos distintos de la concha en uno a despecho de la perspectiva. Varios de los géneros más conocidos de foraminíferos, p.e.j., **Robulus**, **Eponides**, **Nonion**, llevan nombres de Montfort.

J. B. de M. de Lamarck (1744-1829) en su "Cours de Zoologie" aparecido en 1812, cita varios tipos de foraminíferos; identificados ora con corales, ora con cefalópodos y establece varios nombres de géneros todavía en uso, p.e.j., **Rotalia**, **Discorbis**, **Lituola**, aunque la innovación nomenclatural que quiso establecer, de distinguir los géneros de fósiles con la terminación **-ites** (p.e.j., **Lituolites**) no tuvo acogida. Se presume que fuera este insigne naturalista quien le interesara al joven Alcides D. d'Orbigny (1802-1857) por el estudio de los foraminíferos, quien en su brillante trayectoria echó las bases sólidas de nuestra ciencia actual. Entre 1826 y 1852, d'Orbigny publicó numerosos trabajos sobre los foraminíferos, tanto fósiles como vivientes recogidos por él en sus viajes por Europa y las Américas Latinas, elaborando los primeros esquemas de una clasificación del grupo

y describiendo y figurando numerosísimas especies que perpetúan su nombre. En sus primeros trabajos, d'Orbigny había considerado los foraminíferos como pequeños cefalópodos, estableciendo para ellos la división de **Cephalopoda Foraminifera** a diferencia de los **Siphonata** o auténticos cefalópodos con las cámaras comunicadas por tubos en forma de embudo o sifón, pero acogió sin reservas la identificación de estos microorganismos con Protozoarios efectuada por Félix Dujardin en 1835 a base de sus estudios de especies vivientes. Con gran sentido profético d'Orbigny mantenía el valor de las especies de foraminíferos como características de niveles estratigráficos distintos, criterio que triunfando sobre su eclipse en los años venideros de su siglo, renacería en los últimos treinta años del nuestro.

En otros países europeos, los últimos años del siglo XVIII y los primeros del XIX, vieron la publicación de muchos trabajos paleontológicos que no pocas veces incluían indicaciones de microfósiles de diversos tipos, o que echaban las bases de especializaciones que en el futuro se afiliarían a nuestra ciencia. Los micropaleontólogos alemanes recuerdan con orgullo los nombres de Goldfuss, von Munster, F. A. Roemer, y F. A. Quenstedt, mientras que los palinólogos en todo el mundo rinden homenaje a H. Mohl por su estudio sistemático del polen (1834) y señalan que ya en 1836 y 1844, H. R. Goppert describió fósiles cenozoicos. Pero el nombre más insigne entre los científicos alemanes es el de Christian Gottfried Ehrenberg (1795-1876), quien con sobrada razón podría denominarse el fundador de la micropaleontología en el sentido amplio, la que concebía como un campo especial de las ciencias geológicas que llamaría

la "Microgeología", nombre con el que bautizó un tratado monumental de la materia que publicó en 1854. Fue el primero en investigar y describir los restos microscópicos extremadamente diminutos, los nanofósiles, tales como diatomeas, cocolitos, silicoflagelados, discoastéridos, cristosomáceas, dinoflagelados e histricosféridos, la gran mayoría de los cuales fueron olvidados de los micropaleontólogos hasta muy modernamente. La tendencia que imperaba hasta hace poco, de identificar la micropaleontología con el estudio tan sólo de los foraminíferos o cuando más, de los ostrácodos, hizo que la contribución de Ehrenberg se subestimara, puesto que sus estudios de aquéllos, hechos a base de preparaciones en bálsamo del Canadá estudiadas en transparencia, poco contribuyeron a nuestros conocimientos. Dado el olvido injustificado en que hasta últimamente se ha dejado su memoria, es grato recordar que en vida recibía el tributo justo del mundo científico, como dan testimonio las alusiones respetuosas a las conclusiones del Prof. Ehrenberg sobre los "infusorios" que en su recuento de la expedición del "Beagle" hace el joven Carlos Darwin.

Las limitaciones del espacio permiten apenas mencionar los nombres de otros muchos investigadores de la primera mitad del siglo XIX: las publicaciones de J. A. H. Bosquet en 1849-54 sobre los ostrácodos, y de A. E. Reuss y O. Terquem sobre el mismo grupo, destacándose éstos también en los de foraminíferos. En 1851, H. von Meyer publica sobre los otolitos, y tres años más tarde, Ch. H. Pander describe por primera vez conodontos, hallados en rocas silúricas del Báltico. E. Haeckel, en la década de 1880-90, produce la monografía fundamental de los radiolarios vivientes, mientras que

D. Rust entre 1885 y 1892, publica extensamente sobre las formas fósiles.

La bibliografía de los ostrácodos se enriquece notablemente hacia mediados del siglo, por los trabajos de T. R. Jones, G. H. Hinde, G. B. Brady, A. H. Norman y otros investigadores ingleses, y de Lienenklaus y otros en Alemania. En Inglaterra, W. B. Carpenter, W. K. Parker y Jones en 1862 publican el primer tratado extenso sobre los foraminíferos, pero la nefasta influencia de la "escuela inglesa", encabezada por W. C. Williamson (1848-1858), Carpenter y H. B. Brady, quienes postulan la variabilidad exagerada de las especies, retarda en mucho el desarrollo de la micropaleontología estratigráfica, si bien hay que reconocer la contribución positiva del último, en su monumental estudio de los foraminíferos recientes recogidos por la expedición "Challenger" (1886) y el de las especies carboníferas y pérmicas de Inglaterra (1876). Lamentablemente tal concepto de la variabilidad casi ilimitada de los foraminíferos y de ahí, la identificación de la mayoría de las especies fósiles cretáceas y terciarias con las recientes, reinaba durante más de medio siglo entre los especialistas de los foraminíferos, especialmente los de habla inglesa, y se admitía sin reservas por parte de los micropaleontólogos.

La palabra "micropaleontología" parece haber sido usada por primera vez en 1883, por cierto en un estudio de briozoarios por H. Ford, que llevaba el título "Contributions to the Micropaleontology of the Cambro-Silurian rocks of Canada".

Según Pokorny, los primeros en hacer estudios micropaleontológicos en muestras de taladros, fueron W. Dames y L.G. Bornemann quienes en 1874 identificaron la edad turonien- se de capas penetradas en un pozo

cerca de Greifswald en Alemania; mejor conocida es la determinación por F. Karreer, tres años más tarde, de la edad miocena de las rocas penetradas en un pozo de agua en la región de Viena. H. V. Howe (1955) ha señalado recientemente que en el mismo año, F. V. Hopkins, bajo la dirección de E. W. Hilgard, había efectuado un estudio micropaleontológico de muestras de un pozo en el estado de Luisiana, y en 1884, hizo otro de muestras de taladros en el valle del río Mississippi más al norte, entre las ciudades de Memphis y Vicksburg. Puesto que ambos trabajos aparecieron tan sólo en el informe anual del Cuerpo de Ingenieros del Ministerio de Guerra estadounidense, ante el congreso nacional del país, para los efectos de la divulgación científica quedaron materialmente inéditos. H. J. Eunson (1884) estudió los microfósiles de un pozo profundo en Inglaterra, y en el mismo año J. W. Judd determinó la edad de los estratos en otro, gracias a las identificaciones por T. R. Jones de los "microzoarios" (foraminíferos y ostrácodos) jurásicos. Otros estudios del mismo tipo fueron publicados por W. Howchin (1891) en Australia, por F. Chapman (1900) a base de muestras de California, y por R. J. Schubert en Alemania.

A PoKorny debemos también la noticia interesante de que el primer trabajo micropaleontológico asociado con la extracción del petróleo se debe al polaco J. Grzybowski, quien en 1897 estudió muestras de la región de Potók y Knosno en su país natal, logrando distinguir varias zonas y niveles guías en la formación flysch de la región. Su obra pasó desapercibida a los investigadores de otros países, por su ignorancia de los idiomas eslavos.

Pasando por encima otros muchos científicos quienes consagraron años

de pacientes investigaciones a trabajos que no serían conocidos sino de pocos colegas, llegamos a la época de la primera expansión de la industria petrolera al finalizar la primera guerra mundial. Para un relato más detallado de las primeras aplicaciones de la micropaleontología en la industria, remitimos a los interesados al trabajo de Croneis (1941). Fue, en efecto, una de esas épocas que felizmente se repiten constantemente en el avance de las ciencias, cuando un nuevo concepto, una nueva técnica, parecen nacer espontáneamente en las mentes de individuos aislados que afrontan el mismo problema, y se difunde con tanta rapidez que difícilmente pueden señalarse sus padres intelectuales. En Tejas, J. A. Udden, quien ya en 1914 había estudiado muestras de pozos en Illinois, ayudaba a formar profesionales especializados para tal fin, quienes iban dándose cuenta de la variedad de restos microscópicos presentes.

La fructífera contribución de la mujer a la micropaleontología moderna se destaca a partir de esa época; verdaderas pioneras en la aplicación comercial de la ciencia, fueron Esther A. Applin, Alva E. Ellisor, y Hedwig T. Kniiker, cuyo trabajo sobre la micropaleontología aplicada a la zonación del subsuelo en Tejas y Luisiana, (1925) llamó poderosamente la atención de los dirigentes petroleros. Fueron ellas las precursoras de otras muchas, entre las cuales rendimos tributo a Helen J. Plummer y Dorothy K. Palmer, a quienes la muerte truncó sendas vidas llenas de actividad productiva.

Quienes más contribuyeron al desarrollo rápido de la micropaleontología comercial, fueron indudablemente los doctores J. A. Cushman y J. J. Galloway. Este, profesor de geología y paleontología de la Colum-

bia University en Nueva York, se había entrenado ya en la microscopía aplicada a la paleontología en sus investigaciones de los briozoarios fósiles, y al ser consultado por una compañía petrolera para determinar la edad de muestras procedentes de sus pozos en México, se dio cuenta en seguida de la importancia de los foraminíferos, a cuyo estudio se aplicó con todo afán. El Dr. Cushman, de preparación profesional predominantemente biológica, se había aficionado por los foraminíferos desde principios del siglo, atraído por los estudios de Brady y de Flint (1899) sobre las especies vivientes. Asociado con el Museo Nacional en Washington, contaba entre sus numerosas contribuciones al conocimiento de éstas, un estudio de las formas fósiles halladas en un pozo de Carolina del Sur (1914) y fue naturalmente la figura clave cuando se vislumbraron las potencialidades de los foraminíferos para la geología del subsuelo. En 1924, estableció su propio laboratorio para la investigación de ellos en Sharon, Massachusetts, desde cuya fecha hasta su muerte en 1949, se dedicó a trabajos de investigación, consulta, enseñanza y divulgación fundando la primera revista científica dedicada exclusivamente a estudios de los foraminíferos, las afamadas "Contributions" cuyo primer número salió en abril de 1925.

El primer curso formal de Micropaleontología fue dictado en Columbia University por el Dr. Galloway en 1924, quien tenía ya muy adelantado un texto incorporando su reclasificación de los foraminíferos, difundido en manuscrito entre varias generaciones de alumnos pero que no llegó a publicarse sino en 1933. Cursos de Micropaleontología se abrieron casi simultáneamente en Tejas y en California, donde H. G.

Schenck, como investigador y profesor, ejercía una influencia altamente valiosa para su insistencia en los problemas bioestratigráficos y la importancia de los factores ecológicos en la interpretación de los microfósiles. Para el año 1928, fueron tantos los especialistas empleados en la industria petrolera, que se fundó la "Society of Economic Paleontologist and Mineralogists", bajo cuyos auspicios empezó a salir la afamada revista "Journal of Paleontology", a partir de 1935 con la colaboración de la "Paleontological Society of America".

Desde esos tiempos, la micropaleontología comercial y científica ha seguido un curso ascendente, cuya historia sería prolijo relatar aquí; referimos a nuestros lectores al trabajo de Croneis (1941) para la historia hasta esa fecha, y a los de Thalmann (1955), L. R. Wilson (1956) y H. V. Howe (1957) para una apreciación moderna de la ciencia. En el último nombrado, este infatigable investigador de los ostrácodos, quien fue también uno de los primeros en llamar la atención a otros tipos de microfósiles hasta entonces poco utilizados por los norteamericanos, revela cierto desconcierto ante el volumen abrumante de la literatura micropaleontológica publicada en los últimos cincuenta años. En particular, llama la atención a la contribución copiosa de los micropaleontólogos rusos, considerando que el idioma ruso ya se presenta como imprescindible al especialista de los foraminíferos o de los ostrácodos. Considera Howe, que en vez de estar saturado el mercado de micropaleontólogos comerciales, hay más bien un déficit, opinión con que nos solidarizamos con todo corazón; pero nos negamos a compartir el pesimismo de dicho autor, en el sentido de que el volumen de la literatura ha de con-

ducir al desespero y el abandono de la ciencia, a los estudiantes potestativos de la materia. El 'Caos' a que alude Howe, es propio de una ciencia en pujante expansión, y el médico moderno, por ejemplo, confronta el mismo problema de una bibliografía abrumante. Temprano o tarde, los científicos vencerán los problemas de la organización y divulgación rápida y eficaz de las producciones intelectuales de sus congéneres; mientras tanto, hay que fomentar la afición por la ciencia, hay que orientar los primeros pasos de los adeptos. En la parte restante de este capítulo, consideramos principalmente las contribuciones sólidas que en estas líneas se han hecho en los últimos años:

La tarea del especialista de los foraminíferos ha sido grandemente facilitada por el monumental Catálogo de Foraminíferos compilado en el Museo de Historia Natural en Nueva York bajo la dirección de B. F. Ellis y A. R. Messina, cuya publicación se inició en 1941 con la entrega de 30 tomos suplementados luego por uno o más suplementos anuales. En esta obra se aspira a reproducir la descripción y figuras originales de todas y cada una de las especies descritas, lo que se ha logrado casi totalmente para la bibliografía ya existente, siendo tan grande el número de nuevas especies descritas anualmente que difícilmente pueden reproducirse todas en un solo suplemento. La enorme productividad de los especialistas rusos en los últimos años, ha obligado a la traducción de las descripciones publicadas en ese idioma o en el polaco o checo, mientras que las demás se reproducen en el idioma original. En todas se conserva la clasificación original de la especie bajo el nombre genérico con que el autor de una especie la identificó, siendo necesario por

lo tanto que el micropaleontólogo quien utiliza el catálogo sea familiar con las sinonimias de éstos según las clasificaciones modernas.

En 1934 R. S. Bassler y Betty Kelllett publicaron un índice bibliográfico de los ostrácodos de Norte América, que incluía un resumen de la clasificación de éstos según el esquema de Ulrich y Bassler (1923) precursores en el estudio de este grupo en los EE. UU. Ultimamente, Ellis y Messina han emprendido la publicación de un Catálogo de Ostrácodos, a semejanza del de los foraminíferos, habiendo aparecido ya 13 tomos. Importantes contribuciones sobre este importante grupo han sido hechas por H. V. Howe de la Universidad de Luisiana y sus estudiantes en los EE. UU., aunque probablemente éstos microfósiles han contado con mayor número de adeptos en los últimos años, entre los especialistas alemanes, quienes los han utilizado con notable éxito para zonar el Jurásico y Cretáceo. Especialistas de otros países, tales como P. C. Sylvester-Bradley en Inglaterra, V. Pokorny en Checoslovaquia y otros muchos cuyos nombres quisiera poder incluir, también han contribuido al renacimiento del interés por estos crustáceos microscópicos.

Las investigaciones de los conodontos, proseguidas principalmente por los norteamericanos desde que su interés fue despertado por E. O. Ulrich y R. S. Bassler en 1923, han tenido gran aumento en años recientes en Alemania. El nombre del francés G. Deflandre quedará asociado para siempre con las investigaciones sobre los Flagelados fósiles, junto con los de O. Wentzel y A. Eisenhack, mientras que los españoles, sienten justo orgullo por las contribuciones de Don Guillermo Colom sobre los Tintínidos y otros grupos interesantes, además de por su valiosa 'Introduc-

ción al estudio de los Foraminíferos pequeños', hasta ahora el único tratado sobre el tema en nuestro idioma.

Los escandinavos han sido los pioneros en las aplicaciones de la Paleontología a las ciencias geológicas, secundados luego activamente por los rusos y los alemanes; son tantos los nombres que debemos citar en este campo, que remitimos a nuestros lectores al capítulo pertinente. Los radiolarios, poco estudiados desde los tiempos de Haeckel, han sido objeto de investigaciones por B. L. Clark y A. C. Campbell, y últimamente por W. R. Riedel. Una reclasificación del grupo, con descripciones condensadas de todos los géneros, ya ha sido publicada por Campbell.

En el XX Congreso Geológico Internacional, reunido en Méjico, se estableció por primera vez en tales reuniones una Sección de Micropaleontología, cuyos resúmenes anuales de los nuevos géneros y especies de foraminíferos publicados anualmente, han sido de gran valor. Al acercamiento entre los micropaleontólogos de todos los países ha contribuido en gran medida la pequeña revista "The Micropaleontologist", publicada por Ellis y Messina, cuyo Departamento de Micropaleontología en el Museo de Nueva York, se ha constituido en la Meca de visitantes de todos los países. En 1955, ese pequeño boletín se transformó en la revista trimestral, **Micropaleontology**, que se destaca por su carácter cosmopolita, admitiendo trabajos redactados en todos los idiomas reconocidos por los congresos geológicos internacionales, y contando con la colaboración de destacados especialistas de varios países. En Francia se fundó recientemente la **Revue de Micropaleontologie**.

La enseñanza de la Micropaleontología en las universidades norteamericanas se restringía en un prin-

cipio casi exclusivamente al estudio de los Foraminíferos, no solamente por ser el grupo más importante sino también el único para cuyo estudio se contaba con manuales de fácil acceso, como las varias ediciones sucesivas del de Cushman (1928, 1933, 1940, 1948) y el de Galloway (1933). En 1945, M. F. Glaessner publica el primer manual que intenta reseñar todos los grupos conocidos de microfósiles. Aproximadamente la mitad del texto se dedicó a los foraminíferos, en cuya clasificación Glaessner introdujo unas mejoras a la de Cushman; entre los muchos méritos de esta obra admirable se pueden mencionar el capítulo sobre la bioestratigrafía de los microfósiles y las copiosas citas bibliográficas.

El manual de los fósiles característicos de Norte América, compilado por H. W. Shimer y R. R. Schrock en 1944 incluye varias secciones referentes a microfósiles, incluyendo 36 páginas de foraminíferos, 11 de conodontos y 33 de ostrácodos merece especial mención un capítulo especial de fósiles vegetales, todos de grupos que se pueden considerar materia de la micropaleontología (diatomáceas, carofitas y algas calcáreas). En estas páginas, siguiendo generalmente la organización dada al texto, se hace caso omiso de la clasificación sistemática en las categorías entre el género y el Orden, es decir, que los géneros se describen brevemente, con mención de una o más de sus especies características, aproximadamente según su aparición en la columna geológica de más antigua a más moderna, sin intentar su referencia a familias. Todas las formas descritas están figuradas, generalmente por una reproducción de la figura original. Las copiosas citas bibliográficas aumentan el valor de la obra.

El año 1952 es notable en la historia de la micropaleontología por la aparición del primer tomo del monumental tratado de paleontología preparada bajo la dirección general del profesor de la Sorbona en París J. Piveteau; en el cual por primera vez se pusieron al alcance de los micropaleontólogos que —como nosotros— padecemos por la falta de acceso a muchos trabajos importantes dispersados en tantos boletines científicos europeos, unas síntesis hechas con esa maestría tan característica de los franceses, de muchos grupos importantes de microfósiles. Los capítulos por G. Deflandre sobre los Protistas en general y los grupos siguientes: Crisomonadinos, Silicoflagelados, Cocolitofóridos, Dinoflagelados, Ebriedinos, Eugleninos, Fitomonadinos, Ofiobolidos, Radiolarios, Tintínidos y varios grupos menores de clasificación incierta, son enteramente admirables, y hacemos constancia aquí de nuestra deuda para con dicho autor en la redacción de este libro. Igualmente notable es la hazaña realizada por J. Sigal, al condensar en unas 170 páginas escasas, todos los datos referentes a los Foraminíferos que difícilmente hubieran cabido, en manos de autores menos dotados, en un libro cinco veces más voluminoso. Sigal ofrece una clasificación revisada del Orden, que comentaremos en su debida oportunidad. R. Ciry aclara magistralmente la compleja estructura de los foraminíferos fusulinoides.

El segundo tomo del tratado, aparecido en el mismo año, y que trata de los phyla Braquiópodos, Quetognatos, Anélidos, Gefiros y Moluscos, incluye algunas secciones interesantes al micropaleontólogo como son: Escafópodos, por Colette Deschaseaux (pp. 216-219); escolcodontos y conodontos, descritos algo someramente por J. Roger (pp. 171-179). El

tercer tomo, aparecido al año siguiente, reviste mayor interés por el capítulo de ostrácodos preparado por N. Grékoff, (p. 268-294) y el de Concostráceos por C. Deschaseaux (pp. 262-268). Las copiosas citas bibliográficas dadas por todos los autores mencionados, son muy valiosas.

Quizás los autores de habla inglesa se sentirían cohibidos por los méritos del libro de Glaessner, porque aunque una introducción a la micropaleontología había aparecido en 1952 en el idioma rumano (Jorgulescu, 1952) y otro en checo en 1954 (V. Pokorny, 1954) no fue sino en 1956 que los norteamericanos, generalmente tan prolíficos en la producción de textos científicos, vieron la publicación de un texto introductorio de micropaleontología, por el profesor D. L. Jones de la Universidad de Utah. Casi simultáneamente aparece un texto introductorio en alemán, por el Prof. H. W. Matthes de la Universidad "Martin Luther" de Halle-Wittenberg.

Para la gran fortuna de todos los micropaleontólogos que pueden leer el idioma alemán, la "Introducción a la Micropaleontología zoológica" de V. Pokorny antes mencionada, apareció en 1958 en una edición en alemán, considerablemente aumentada por el propio autor, en dos tomos. Un comentario altamente favorable al primer tomo, por R. A. Reymont, apareció en la revista "Micropaleontology" (vol. 5, Nº 3, pp. 381-382). La claridad del estilo, la incorporación de datos derivados de toda la bibliografía moderna (incluyendo las copiosas publicaciones de los rusos generalmente ignoradas por los investigadores fuera de ese país), las copiosas citas bibliográficas de todos los grupos descritos aunadas al criterio amplio y sereno del autor, quien introduce algunas modificaciones de la clasificación de foraminíferos y os-

trácodos, hacen de este tratado de Pokorny una obra imprescindible de estudio y consulta para cualquier estudiante avanzado o investigador de los microfósiles. Lamentamos que cuando llegó a nuestras manos estaba tan pronta a concluirse nuestra redacción, que no nos fue posible en todos los casos incorporar muchos datos interesantes proporcionados por dicho autor.

Otra obra interesante a los micropaleontólogos que se ha publicado recientemente en Alemania, forma parte de una serie extensa de manuales dedicados a las aplicaciones tecnológicas de la microscopía, que está siendo editado bajo la dirección del Dr. Hugo Freund; esta obra (que figura como la tercera parte del segundo tomo), lleva como título general, "La Microscopía en la Geología de las rocas sedimentarias (Micropaleontología)" y comprende contribuciones de varios destacados micropaleontólogos alemanes, sobre sus especialidades: H. Hiltermann (foraminíferos), E. Triebel (ostrácodos), W. Weiler (restos de peces), K. Mädlar (Carófitas); otros autores discuten aplicaciones de la palinología, la preparación de diatomeas, la micropaleontología del Paleozóico, etc. Las numerosas fotografías de los microfósiles ilustrados, y el capítulo por Triebel sobre la fotomicrografía, son quizás la mayor contribución de esta obra, ya que por las limitaciones del espacio la discusión de los grupos individuales es algo escueta. Los capítulos sobre la historia de la micropaleontología, su aplicación en la

geología e importancia para la industria petrolera, son de gran interés.

De estas citas de tratados de micropaleontología general (más las de otros muchos trabajos especiales de diversos grupos que indicaremos oportunamente), se desprende que mientras en Europa y los EE. UU. se han facilitado grandemente los primeros pasos de los adeptos de la micropaleontología, el estudiante de habla española no cuenta con ningún texto introductorio a la materia, y para el estudio de los foraminíferos, tan sólo con el tratado de Colom, no siempre fácil de conseguir. Por las noticias de la profesión que nos trae la revista "Micropaleontología", sabemos que reina gran interés por estas especialidades en el Brasil y la República Argentina, siendo de destacarse la valiosa ayuda al estudio de los foraminíferos que ha proporcionado el Dr. Esteban Boltovskoy con su "Diccionario foraminíferológico plurilingüe" (1956). Nuestros veinte años de experiencia en la enseñanza de la micropaleontología en Venezuela, han fortalecido nuestra honda convicción de que las condiciones intelectuales del estudiantado ibero-americano y su rendimiento potencial en nuestra especialidad, están a la altura de cualquier país civilizado del mundo. Con cariño y llenos de fe y esperanza les dedicamos esta obra, que, con todos sus defectos, aspiramos que sirva para despertar su interés y facilitar su entrenamiento en nuestra bella ciencia.

# geología

## paleontología, paleoecología y ecología marina

por

Frances Charlton de Rivero

### INTRODUCCION

Una rama de las ciencias geológicas y biológicas, que no puede ser ignorada por ningún adepto moderno de la paleontología, es la Paleoecología, que ha sido definida (Cloud, 1959) como la ciencia "que aspira a lograr una visión de las relaciones entre los organismos del pasado y los medios ambientes habitados por ellos". La utilización de los fósiles para determinar la antigüedad relativa de los estratos es, por supuesto, tan antigua como la geología misma. La paleogeografía, en el sentido algo simplista de determinar las relaciones de los mares y las tierras en las edades geológicas pasadas, también ha recibido mucha atención en el pasado; en este siglo casi se ha identificado, podemos decir, con el nombre del norteamericano Carlos Schuchert. Pero la idea de una reconstrucción realmente fiel y detallada del medio ambiente habitado por los organismos representados por un conjunto cualquiera de fósiles, y de ahí, de una verdadera biogeografía del

pasado, en tres dimensiones y con el máximo posible de detalle, es algo que se ha impuesto muy modernamente y que muchos geólogos todavía no conciben en toda su potencialidad. El motivo de tal desidia es, quizás, la renuencia muy natural que puede sentir un profesional para emprender el estudio de otra rama de las ciencias cuya aplicación a su propio campo de actividad él concibe como limitada o nula. Cuando se le representa al paleontólogo que para poder interpretar la paleoecología es necesario, en primer término, familiarizarse con los conceptos básicos de la **Ecología** moderna, su primera reacción podría ser: "¿Yo? ¿Por qué?" "Tales reconstrucciones geográficas pueden ser muy interesantes desde el punto de vista de la ciencia pura, pero no veo la aplicación inmediata".

No obstante, es difícil hojear una revista geológica hoy en día, sin hallar al menos un artículo que alude a las relaciones entre las diferentes

**facies** de las rocas sedimentarias, y la geología aplicada. La ubicación de las líneas de playa antiguas, o la interpretación del complejo de un arrecife madrepórico y los sedimentos que lo rodean, se revelan como temas de actualidad palpitante. Inclusive, la terminología biológica invade la geología; un simposio importante sobre la geología del petróleo se tituló "**Habitat of Oil**". Además, se hace cada vez más patente que la misma paleontología estratigráfica, la utilización de los fósiles para determinar las secuencias geológicas y las correlaciones entre una región y otra, no puede realizarse satisfactoriamente sin la ayuda de la paleoecología. La presencia o ausencia de cierto fósil o grupo de fósiles, es cierto que depende en gran parte de la edad geológica, pero también en parte del medio ambiente en que se depositaron los estratos, y de las potencialidades de diferentes especies por vivir bajo tales condiciones.

El distinguido geólogo y paleontólogo norteamericano T. W. Vaughan, promovió en 1940 el establecimiento de una comisión permanente de Ecología Marina, en la división de Geología del Consejo Nacional de Investigación Científica (National Research Council) de los Estados Unidos. De las actividades de esta comisión resultó eventualmente la preparación y publicación de un monumental tratado en dos tomos, que versa sobre la ecología marina, especialmente en su relación con la paleoecología, más una serie de trabajos detallados sobre temas paleoecológicos. Este tratado apareció como la Memoria 67 de la "Geological Society of America" en 1957. El doctor J. W. Hedgpeth, del Instituto Oceanográfico de la Universidad de California, sirvió como el editor general del primer tomo, el de Ecología, en cuya preparación colaboraron más

de veinte especialistas de varios países; el doctor H. S. Ladd, del Servicio Geológico de los Estados Unidos, fue el editor del segundo tomo, de Paleoecología. En 1959, apareció un artículo muy interesante sobre el tema de la Paleoecología como ciencia, por el doctor P. E. Cloud, jr., del U. S. G. S., que fue reseñada por Rivero en **Acta Científica Venezolana** (vol. 11, Nº 1, 1960).

Aunque la Memoria 67 de la G.S.A. constituye por sí sola una verdadera biblioteca de la Ecología y la Paleoecología, hay que reconocer que todos los artículos han sido redactados por especialistas para especialistas, y que el neófito, especialmente si no domina perfectamente el idioma inglés, puede tener considerable dificultad en sacar y asimilar algunos conceptos generales. Hace falta, en breve, alguna introducción al tema de la Ecología marina. Afortunadamente, en 1958 se publicó una traducción al español, por el doctor Miguel Fusté, de un texto notable del doctor George L. Clarke, de la Universidad de Harvard y del Instituto Oceanográfico de Woods Hole, titulado **Elementos de Ecología**. Este tratado de Clarke es excepcionalmente valioso en que, a diferencia de muchos textos que se titulan de ecología, no se restringe a la ecología de los vegetales o de los animales terrestres, sino que considera también la ecología marina. El estudio de este admirable trabajo, se recomienda encarecidamente a todos los adeptos de la paleontología.

En 1958 apareció también un libro de texto con el sugestivo título de **Marine Ecology**, por el doctor H. B. Moore, profesor de Ecología Marina en la Universidad de Miami, director asistente del Laboratorio marino de la misma e investigador asociado al Instituto Oceanográfico de Woods Hole, Massachusetts, uno de

los más afamados del mundo. Habíamos aspirado a que este texto nos solucionara los problemas de una presentación elemental de la materia, pero con todos sus méritos indudables, el libro de Moore no es, sinceramente, una **introducción** a la ecología marina. El autor ha incluido un volumen impresionante de datos reunidos de investigaciones detalladas sobre temas ecológicos, los que en su totalidad demuestran que la ecología no es simplemente la "historia natural" sino una ciencia **cuantitativa**; pero, por otra parte, en materia de conceptos generales interesantes al paleontólogo, este libro es menos atrayente que el **Treatise** (como llamaremos para mayor brevedad a la Memoria 67 o **Treatise on Marine Ecology and Paleocology**).

El interesante tratado de P. H. Kuenen (1950) sobre la "Geología Marina" contiene muchos datos y conceptos interesantes que hemos utilizado en la preparación de estos apuntes. Una hojeada a este libro revelará cuán estrechas son las relaciones entre la oceanografía, la ecología marina, la sedimentología y la geología.

Hay otros muchos libros y trabajos que se podrían citar como importantes, y más aún, esenciales, si quisiéramos compilar una lista de citas bibliográficas importantes; pero tal lista podría ser compilada, de las copiosas bibliografías incluidas en las obras ya citadas. Queremos hacer constar que aspiramos a que estas notas sirvan tan sólo de prolegómenos al tema de la ecología marina en relación con la paleoecología, no de un texto condensado de la materia.

#### Algunas definiciones y conceptos generales

La palabra "oecología" fue empleada por primera vez en 1869 por el

zoólogo alemán Haeckel, aunque por cierto la mayoría de los conceptos fundamentales son más antiguos. La historia de la ecología en general ha sido discutida por Allee y otros (1949), la de la ecología marina en especial por Hedgpeth y por Ladd en el **Treatise** y por H. B. Moore. Aunque los estudios fundamentales de la ecología marina moderna datan de las primeras décadas del siglo pasado, p. ej., d'Orbigny (1820), Audoin y Milne-Edwards (1832), Forbes (1844) y Forbes y Godwin-Austen (1859), la ecología como un enfoque particular de las ciencias naturales, podemos decir que data del final del siglo, con la publicación en 1895 de una memoria sobre la "geografía vegetal ecológica" por el botánico danés Warming. (Fide Clarke). Durante el siglo actual, la ecología vegetal y animal se desarrollaron más o menos independientemente, hasta el punto que a veces parecía como si fuese un monopolio de los botánicos. Afortunadamente, la síntesis de Clarke demuestra que no existe tal antítesis.

La esencia de la ecología es el concepto de las **relaciones mutuas y reciprocas entre los organismos y su ambiente**. Puesto que este campo es tan vasto y complejo, a veces se consideran varias subdivisiones; por ejemplo, si se concentran los estudios en una especie individual, sus necesidades y sus reacciones frente al medio ambiente, se habla de **autoecología**; ésta se ha contrastado con la **sinecología**, la ecología de las comunidades o asociaciones naturales de especies. Algunos autores casi restringirían la ecología como ciencia a esta última, al definirla como la ciencia que estudia los **ecosistemas** o complejos ecológicos de las reacciones no sólo de los organismos entre sí, sino también con las condiciones físicas del ambiente. Sin dejarnos confundir por los nombres, vamos a tener presente que la

ecología abarca los tres tipos de relaciones:

medio ambiente → organismos (relación descrita por Clements como "acción");

organismo → organismo ("co-acción");

organismo → factores físicos ("re-acción").

El concepto de medio ambiente (frecuentemente apocopado a "medio" como en la traducción de Clarke por Fusté, o a "ambiente" solo), se refiere en el sentido más amplio a todo el complejo inorgánico-orgánico con que se relaciona una especie; en un sentido menos extenso, a veces se limita a lo inorgánico. Clarke (capítulo III) establecería una distinción entre **medio**, definido como "el material que rodea al organismo de manera inmediata", en cuyo sentido los medios fundamentales son dos, el aire y el agua; y el **substrato** (en inglés, "substrate"), definido como "las superficies o los materiales sólidos del ambiente sobre o dentro de las cuales vive el organismo" (Clarke, p. 80).

Como discutido ampliamente por Clarke en su segundo capítulo titulado "El Medio", el **agua** es muy diferente del otro medio fundamental, el **aire**. Una de sus características que más nos interesa, es su **densidad**, gracias a la cual sostiene una enorme cantidad y variedad de organismos que pasan toda la vida o parte de ella nadando o flotando entre dos aguas. Los organismos, vegetales o animales, que viven flotando o nadando débilmente (sin fuerza suficiente para oponerse a los movimientos de las corrientes) se denominan colectivamente, el **plankton**; su tamaño es por regla general microscópico, aunque algunos celentéreos (medusas) alcanzan varios centímetros. Los vegetales planktónicos, colectivamente, son el **fitoplankton**. Los animales, el **zooplankton**. Entre los organismos del

zooplankton siempre hay un elemento más o menos grande constituido por huevos y formas larvales o juveniles de animales que al estado adulto viven en los fondos: este plankton transitorio se llama a veces el **meroplankton**. Los animales que nadan activamente, tales como los peces, las ballenas y los cefalópodos, se denominan colectivamente el **nécton**. Los animales y/o las plantas que viven en o sobre los fondos, se llaman colectivamente el **bentos**. Este a su vez podría ser dividido en el bentos **sésil** o fijado, que abarca el bentos vegetal (algas y unas pocas plantas superiores, como *Zostera*) y las especies del bentos animal como p. ej., los corales, las esponjas, los equinodermos fijos, etc., que viven fijados o adheridas al substrato; y el bentos **libre** o **vagante**, que comprende los animales capaces de desplazarse, como los cangrejos, gasterópodos, etc. Por supuesto, la divisoria entre los animales sésiles y vagantes a veces es algo tenue y arbitraria; por ejemplo, los erizos marinos, las estrellas y los pelecípodos, se desplazan muy torpe y lentamente; sin embargo, se consideran como organismos del bentos "vagante". Otra subdivisión del bentos animal, discutida más adelante, distinguiría entre los animales que viven habitualmente más o menos enterrados en el substrato marino, la "**infauna**", y los que viven, por ejemplo, sobre la superficie de algas marinas, rocas, otros organismos, etc., la "**epifauna**". (Thorson, 1957).

A grandes rasgos, todo el ambiente marino y los organismos que lo habitan, pueden considerarse como constituyendo un **ecosistema** o ciclo ecológico autosuficiente, según el concepto general de tal ecosistema, como indicado por Clarke en su figura que hemos reproducido como Fig. 1. Los vegetales y animales que dependen sucesivamente unos de otros, en tal

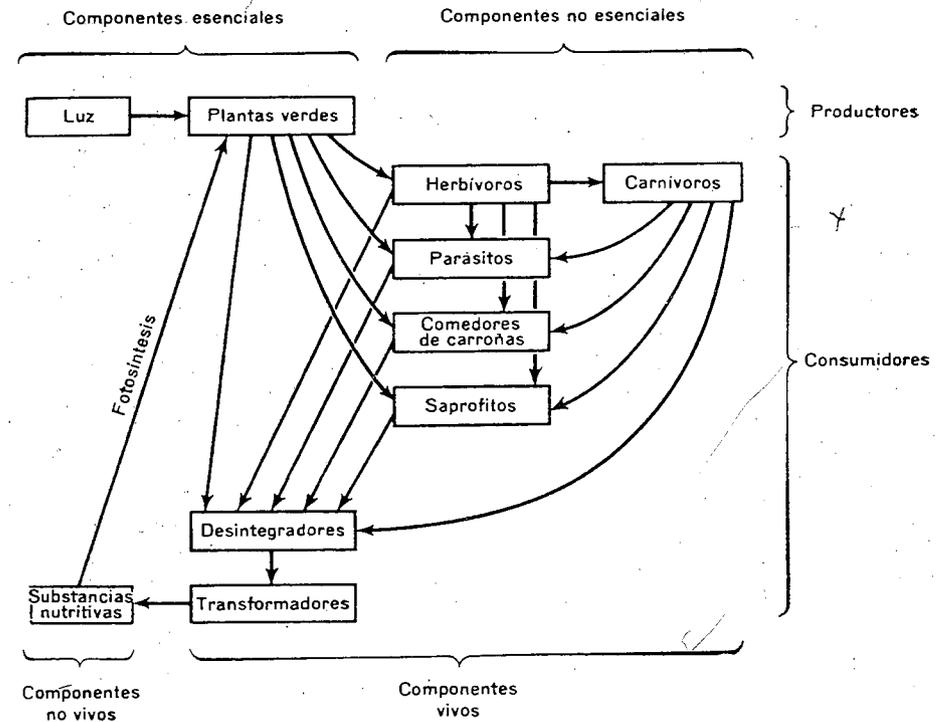


Fig. 1. Los principales pasos y miembros de un sistema ecológico (ecosistema) autosuficiente. (Según G. L. Clarke, Elementos de Ecología).

sistema, constituyen los eslabones en una **cadena de alimentación**. Algunas cadenas de alimentación en el mar son largas y complejas, otras más cortas. Como el eslabón fundamental de cualquiera de ellas figuran las **plantas verdes** del mar, que en su gran mayoría son **algas microscópicas**, principalmente diatomeas. (Las algas macroscópicas, visibles; de las costas, juegan un papel relativamente insignificante, en cuanto a la producción de material orgánico). Los animales **herbívoros** marinos comprenden principalmente formas microscópicas o diminutas; protozoarios (p. ej., foraminíferos y radiolarios), pequeños crus-

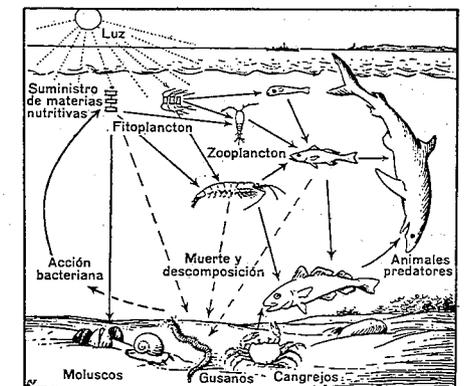


Fig. 2. Representación simplificada del principal ciclo ecológico en el mar. (Según Clarke).

táceos y muchos moluscos; los **carnívoros** varían desde los que se alimentan de material principalmente microscópico (p. ej., los pólipos de coral), hasta los peces, las focas, etc. La cadena de alimentación de una especie de pez es muchas veces muy larga y compleja. En el caso de las ballenas, al contrario, es muy corta: éstas se alimentan exclusivamente de pequeños crustáceos eufásidos (Orden **Euphausiácea** de la serie **Eumalacostraca**), que a su vez se alimentan de las diatomeas. La cadena de alimentación aquí consiste de sólo tres eslabones: diatomeas-eufásidos-ballenas.

Muchos animales marinos, que se sepa, se alimentan indiferentemente de fito, o de zooplankton, o hasta de partículas de material orgánico en desintegración, filtrando este alimento microscópico del agua mediante diversos dispositivos. Tales animales se llaman en inglés "filter-feeders". Otro grupo numeroso se alimenta de material semejante, pero lo separa de la superficie del fondo o de las partículas inorgánicas de éste, haciendo circular el barro o la arena a través de su intestino para extraer las materias nutritivas contenidas: éstos son los **limófagos**, los "comedores de fango" (**limnívoros** de los autores franceses), tales como gusanos marinos, los holotúridos y otros muchos. Probablemente la mayoría de los trilobites paleozoicos eran limófagos.

Los "desintegradores" y "transformadores" del esquema de Clarke son bacterias; hay numerosos trabajos sobre el papel de las bacterias en el mar, y en el ciclo de varios elementos, pero no podemos detenernos aquí a analizar sus actividades.

#### Factores importantes del medio ambiente inorgánico

Hay diversos factores o aspectos del medio ambiente marino cuyos

efectos sobre los organismos marinos deben ser considerados, a título de la **ecología del hábitat**. H. B. Moore los divide entre **físicos** y **químicos**, mencionando bajo el primer grupo: temperatura, salinidad, presión, iluminación, olas, corrientes, abrasión, substrato y mareas. Bajo factores **químicos**: oxígeno, anhídrido carbónico, sulfuro de hidrógeno, concentración de los iones del hidrógeno, sales inorgánicas y compuestos orgánicos. Una consideración adecuada de estos factores equivaldría materialmente a un tratado de la **oceanografía física**. Afortunadamente, para una introducción a la ecología marina podemos omitir o combinar algunos de estos temas. Las olas, corrientes y marea se podrían considerar bajo el tema de la **circulación** de las aguas, aunque por otra parte es casi imposible tratar las relaciones de temperatura, salinidad, oxígeno, etc., sin introducir algunas consideraciones sobre la circulación.

Los factores inorgánicos considerados dignos de capítulos separados en el **Treatise** son los siguientes: luz, salinidad, temperatura, oxígeno, carbonatos y anhídrido carbónico, elementos nutritivos, y los metales raros. Hay otro capítulo importante sobre la distribución del detritus inorgánico presente en el mar en forma coloidal o de partículas.

**Presión.** Puede sorprender el que en la lista anterior no haya un capítulo sobre el efecto de la presión en el mar. La diferencia de presión es por supuesto, una de las diferencias más llamativas entre el agua y el aire. La presión en el agua aumenta una atmósfera por cada 10 metros de descenso, de modo que a la profundidad media de los océanos (3.700 m.), es de 370 atmósferas, y en la máxima profundidad de 10.860 m. en la fosa de las Marianas, es más de mil atmósferas. En los albores de las investiga-

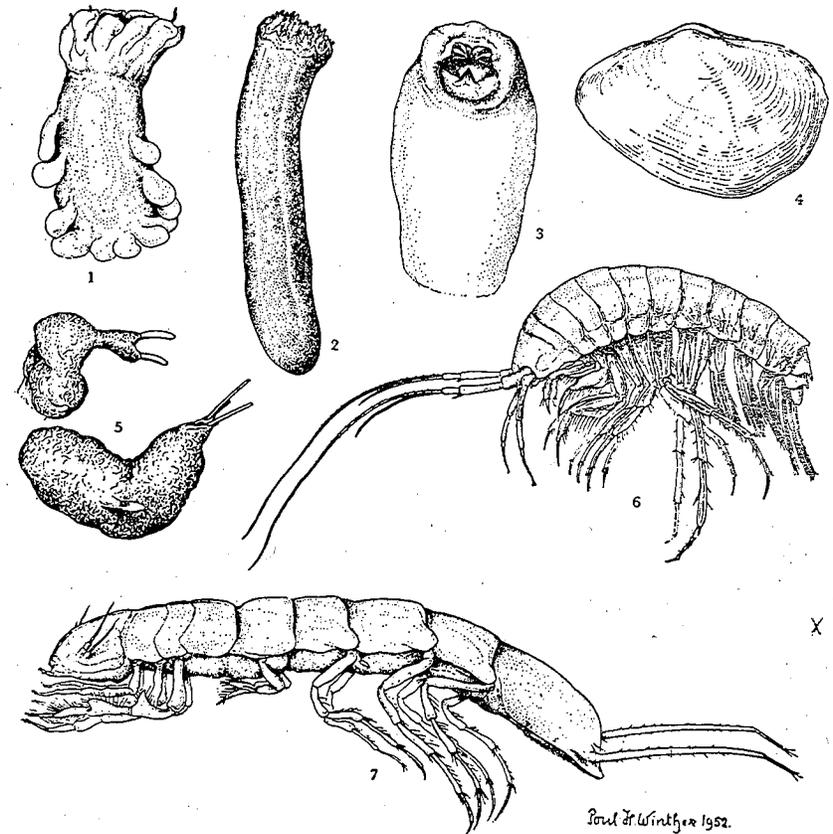


Fig. 3. Especies de la fauna de los grandes abismos oceánicos (fauna hadal): fosa de las Marianas, en 10.860 metros de profundidad. (Según Bruun, 1957).

1) un holotúrido (Scotoplanes), 17 mm. de longitud. 2) otro holotúrido (Myriotrochus), long. 7 mm. 3) faringe de un gusano poliqueto de los Macellicephalo, 7 mm. 4) un pelecípodo (Glomus), 7 mm. 5) fragmentos de un equiúrido, unos 5 mm. 6) un antípodo (Crustáceos), 3 mm. 7) un isópodo (Crustáceos), género Macrostylis, 6 mm. No representada en esta figura; una anémona marina, género Galatheanthemum, que representa una familia nueva de Actinarios (Celentereos), vea Bruun, fig. 5 (1957, Treat. Marine Ecology).

ciones oceanográficas se creía que las presiones tan elevadas serían incompatibles con la vida de los organismos; pero al contrario, con las dragas modernas se han extraído organismos en cantidades apreciables, hasta de los grandes abismos. Es cierto que los animales llegan a la superficie muertos o moribundos, pero no hay evidencia de que la muerte se haya producido por el cambio de presión, ni que "estallen" por el cambio, como a veces se ha indicado. Los peces que viven en los abismos, en su mayoría carecen de una vejiga natatoria, que es el único órgano que concebiblemente podría sufrir tal explosión. Los efectos mortales parecen ser producidos más bien por los cambios de temperatura.

No obstante, es indudable, por estudios experimentales de varios fisiólogos, que la presión debe ser un factor importante, probablemente el factor único, en la evolución de las faunas abisales. La ausencia de luz y la baja temperatura (cerca de 0°C) podrían duplicarse en muchas regiones de los océanos. Bruun (1957, p. 646) da citas de varios trabajos sobre los efectos de grandes aumentos de la presión en animales que viven normalmente en las aguas someras, pero considera que la fisiología de los organismos abisales casi se ignora.

**Luz.\*** La radiación solar es la fuente primaria de energía para la fotosíntesis de las plantas marinas, las que, especialmente las algas microscópicas, forman la base del complejo vital de la vida marina. Aunque la capa de agua afectada por la radiación solar es insignificante en contraste con el volumen de los océanos, tiene una importancia que no lleva proporción a su espesor.

La energía solar disponible a las plantas marinas depende: a) de la cantidad y calidad de la luz que llega a incidir en la superficie de los océa-

nos; y b) de la penetración del agua por la luz. Varios autores (p. ej., Sverdrup, 1942; R. W. Holmes, 1957, tabla 1) han hecho compilaciones sobre la cantidad de radiación solar expresada en gramos-calorías por cm<sup>2</sup> por minuto) que llegan a la superficie oceánica durante los meses del año. En estas tablas se observa, desde luego, la variación con la latitud y con la estación. Naturalmente también, en cualquier sitio varía con la hora del día, factor que al igual de los anteriores afectará el ángulo de incidencia de los rayos. Por otra parte, antes de llegar a la superficie, una parte apreciable de la luz puede ser absorbida o reflejada por nubes, gases, vapor de agua o (raramente) polvo (p. ej., de una explosión volcánica). En términos muy generales se considera que un 65% de la radiación incidente llega a la superficie, cifra que puede subir a 80% o más con un cielo completamente despejado y el aire limpio, o bajar a 20% en días oscuros.

Parte de la luz que incide en la superficie oceánica está reflejada. La proporción de luz reflejada depende de:

1) La altura del sol; Johnson (1957, p. 114) da la tabla siguiente, tomada de Schmidt (1915), que expresa el porcentaje de la luz reflejada, a diversas alturas del sol:

Altura del sol en grados	
10	28
20	14
30	8
40	6
50	5
60-90	4

2) La presencia de nubes; en días nublados, la reflectividad de la superficie es, aproximadamente, 10% cualquiera que sea la altura solar.

\* Sobre este tema conviene estudiar el Capítulo VI del texto de Clarke, que considera en detalle los efectos biológicos de la luz.

3) Agitación de la superficie oceánica; en un mar encrespado, la capacidad de reflexión aumenta a 31%.

El rayo de luz al pasar por el agua va perdiendo intensidad por: a) absorción, y b) dispersión por las moléculas. (Se considera por el momento el caso del agua de mar perfectamente clara, sin sustancias extrañas, en solución o suspensión). Holmes (1957, p. 114) da la fórmula para calcular el coeficiente de extinción con la profundidad, pero aquí nos limitaremos a relaciones generales cualitativas. Es bien sabido que la luz hacia el extremo rojo del espectro penetra mucho menos que la azul-violeta, pero puede ser sorprendente que el agua del mar es aún más transparente a estas ondas que el agua doble destilada (véase Holmes, *loc. cit.*, tabla 3). La penetración de la luz disminuye rápidamente con la profundidad al principio y luego disminuye a razón casi constante. Fotómetros sensibles o placas fotográficas especiales pueden detectar alguna penetración de la luz hasta 1.000 m. o más; pero para la ecología, lo que importa es la profundidad hasta donde haya suficiente energía solar para que las algas efectúen la fotosíntesis. Clarke ha resumido en forma gráfica algunos datos sobre la penetración de la luz en el mar (Fig. 4).

Las aguas marinas costeras absorben mucho mayor proporción de luz, especialmente de las ondas más cortas (azules). Esto se debe en parte al material terrígeno u orgánico en suspensión, pero también a la presencia de un pigmento amarillo soluble identificado primero por Kalle (1937), cuya naturaleza no se entiende bien (en inglés se llama simplemente "yellow substance"). Una cantidad considerable de esta "sustancia amarilla" es aportada por los ríos, aunque no todos la tienen en cantidad apreciable; los ríos tropicales en general, p. ej.,

el Nilo, son pobres en ella en comparación con los ríos escandinavos, pero el Amazonas está casi al nivel de éstos.

Un organismo suspendido en la zona iluminada o fótica recibe luz no sólo desde arriba sino desde todos los lados, debido a la dispersión molecular.

Como ya se ha dicho, aunque la transición desde la zona iluminada a la oscura es completamente gradual, y además la extinción es diferencial para luz de diferentes colores, conviene hacer una zonación ecológica un poco arbitraria del mar, en una **zona fótica** (o **diáfana**), en la que hay luz suficiente para la fotosíntesis, y una **zona afótica**, enormemente mayor en extensión vertical.

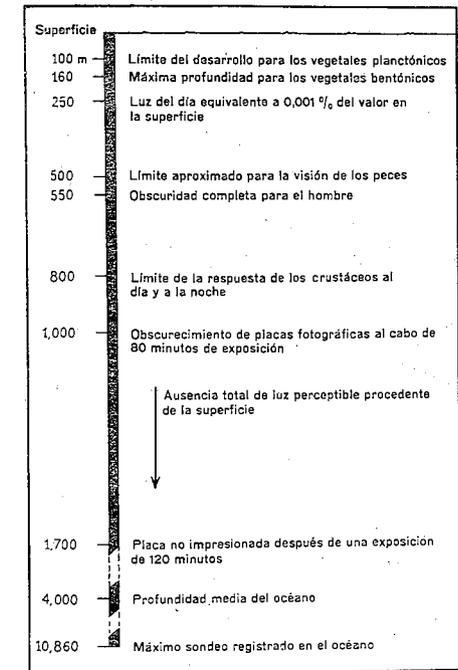


Fig. 4. La penetración de la luz en el mar. (Según Clarke)

Clarke (p. 286) usa una terminología ligeramente diferente, reconociendo una zona intermedia, a saber:

**Zona eufótica:** Suficiente luz para la fotosíntesis.

**Zona disfótica:** Insuficiente luz para fotosíntesis pero suficiente para la respuesta de los animales.

**Zona afótica:** Desprovista de luz biológicamente importante procedente de la superficie.

Holmes (1957) rehusa intentar siquiera una estimación del nivel batimétrico en que yace la base de la zona fótica, por ser tan diversos y variables los factores que concurren a determinarlo. Algunos otros autores consideran que, en términos muy generales, puede llegar a 70, quizás a 100-200 m. en ciertas regiones (150 m. según Riley *et. al.*, 1949, *fide* Johnson, 1957, p. 446).

Un concepto ligeramente distinto es el del **nivel de compensación**, definido como el nivel en que la producción de oxígeno por las actividades de las plantas está exactamente en equilibrio con el consumo del elemento por los organismos.

Aunque definida en términos del oxígeno, la relación con la luz es obvia; pero hay diversos factores biológicos que deben ser considerados, porque las diversas especies de la flora marina tienen exigencias diferentes en materia de la iluminación. Al considerar esta flora, conviene diferenciar entre la sésil de los fondos, principalmente algas verdes, pardas y rojas; en orden descendente según las profundidades a las que se adaptan preferentemente; y el **fitoplankton** o plantas flotantes microscópicas, mas algunas algas pardas flotantes. El fitoplankton consiste principalmente de diatomeas, dinoflagelados, coccolitofó-

ridos y algunos flagelados desnudos muy pequeños ("mu" **flagellates**). Todos tienen exigencias distintas, aun dentro de un mismo grupo: p. ej., un estudio hecho por Hasle (1950) de 4 especies de dinoflagelados del fiordo de Oslo, reveló que dos de ellos, **Ceratium tripos** y **C. fusus**, abandonan la superficie del océano de día, subiendo a ella de noche, mientras que dos otras especies, **Gonyaulax polyedra** y **Prorocentrum micans**, suben de día y bajan de noche. Las diatomeas, por regla general, son "plantas de sombra", encontrando las condiciones óptimas de luz a cierta distancia debajo de la superficie.

Steemann Nielsen, 1937, 1951 (*fide* Johnson), en aguas cerca de Dinamarca, encuentra que la iluminación óptima para el pláncton es 7.000 lux, mientras que a 2.000 lux la producción es la mitad. Más de 20.000 lux ya es netamente excesivo. En esa misma región, el promedio de la intensidad solar a las 12 m. es de 45.000 lux en julio, contra 6.000 en enero. Pero en regiones tropicales hay estudios que indican que la iluminación óptima es de 30.000 lux, o sea que el fitoplankton de estas regiones más intensamente iluminadas está adaptado para vivir con éxito bajo tales condiciones. Sin embargo, es notable que las diatomeas predominan en el pláncton principalmente en latitudes altas, mientras que en las aguas más cálidas son más importantes los coccolitofóridos. Aun así, los estudios de Nielsen (1952) y de Riley (1939) indican que las mejores condiciones en las regiones tropicales se hallan de 10 a 15 m. debajo de la superficie.

Algunas mediciones del nivel de compensación dan las cifras aproximadas siguientes:

Aguas costeras turbias: 1 - 12 m.  
Aguas costeras limpias  
y oceánicas turbias: 25 - 45 m.

Aguas oceánicas limpias: no hay cifras exactas, pero probablemente desde 150 m. en el agua extremadamente transparente del mar de los Sargazos, hasta 50 m. en latitudes medianas.

No se debe suponer que a mayor profundidad del nivel de compensación, mayor productividad del pláncton en la columna de agua correspondiente: al contrario, si se piensa un momento será evidente que donde hay gran abundancia de pláncton la penetración de la luz será menor, lo que tenderá a subir el nivel de compensación.

Se mencionó anteriormente los movimientos verticales de algunos dinoflagelados, pero es de notar que también muchos de los organismos del zoopláncton efectúan movimientos diurnos, casi todos en el sentido de una bajada de día y una subida hacia la superficie de noche. Esta migración diurna puede afectar niveles hasta de 88 m. de profundidad (Waterman *et. al.*, 1939, *fide* Johnson, 1957, p. 453). Durante el día, gran parte del zoopláncton parece estar más o menos concentrada en una o más capas en niveles hasta de 400 m. de profundidad. Este fenómeno se notó por primera vez en 1942, por reflejos del sonido emitido por los aparatos sónicos para medir la profundidad. La explicación no se veía al principio y se hablaba del "nivel profundo dispersor (del sonido)" o "deep scattering layer", abreviado a D.S.L. Investigaciones posteriores a 1945, cuando se descubrió el origen biológico del fenómeno, han identificado muchos de los organismos implicados, que incluyen crustáceos plánctonicos, quetognatos y varios grupos de peces.

Con referencia a las plantas sésiles marinas, Johnson (1957) calcula que tan sólo un 2% del fondo marino recibe una cantidad de luz suficiente

para el crecimiento de tales algas. La producción de material vegetal en esta zona es relativamente insignificante en comparación con el fitopláncton. Algunos animales de la zona sublitoral se alimentan de dichas plantas, pero numerosos grupos se alimentan exclusivamente del zoo- y fitopláncton microscópicos; entre tales animales filtradores, mencionemos los briozoarios, braquiópodos, pelecípodos, cirrópodos y tunicados. Por lo tanto, la prosperidad de éstos depende del pláncton, para cuya abundancia, como hemos visto, uno de los principales factores es la luz.

El desarrollo de un colorido brillante en las conchas es un fenómeno que parece estar restringido a las formadas en aguas someras bien iluminadas, y en ellas, si viven habitualmente con un lado de la concha o caparazón hacia arriba, se restringe a dicho lado. (Forbes, 1843). Ladd (1957) señala que estas relaciones pueden dar información sobre los hábitos de animales fósiles, en cuyas conchas no pocas veces se conservan vestigios del colorido original.

**Salinidad.** El agua del mar lleva en solución una cantidad de sales, de las que las más importantes son de **Na, Mg, Ca, K y Sr**. Estas sales están presentes en proporciones tan constantes que con determinar la **clorinidad** o cantidad de cloruro presente (expresada en partes por mil, escrito como ‰), se puede derivar fácilmente la **salinidad**, según la fórmula:

Salinidad = 0,03 + 1.805 x clorinidad

La clorinidad del agua marina normal es del orden de 19‰ y la salinidad alrededor de 35‰, pero varía ligeramente en los diferentes océanos; es baja en los polos, más alta en las latitudes medianas y baja otra vez sobre el ecuador, así:

Océano Artico	= 33 %
Océano Antártico	= 34 %
Pacífico central	= 35,5 %
N. Atlántico central	= 37 %
Atlántico ecuatorial	= 35 %
Pacífico e Indico, región ecuatorial	= 34(-) %
Mar Rojo	= 40 %

Estas diferencias están claramente relacionadas con la afluencia de agua fresca derivada del derretimiento del hielo polar más la poca evaporación en los polos; en las regiones subtropicales la evaporación está al máximo, ayudada por los vientos, pero cerca del ecuador hay una faja con pocos vientos, alta precipitación pluvial y cielos frecuentemente anublados, donde la evaporación disminuye. El Mediterráneo, el Mar Rojo y el Golfo Pérsico tienen salinidad elevada por la activa evaporación y poca afluencia de aguas frescas; en contraste, en el Mar Báltico y en los mares de Indonesia, la alta precipitación pluvial reduce la salinidad.

Pearse y Gunter (1957) dan las cifras siguientes de los porcentajes de los iones, según Rubey (1951) y Sverdrup et al (1942). Posiblemente las diferencias se deben a diferencias en la salinidad del agua. Kuenen, quien reproduce esencialmente las figuras de Sverdrup, expresa que se refieren a agua de salinidad de 34,3%.

Cerca de las desembocaduras de grandes ríos y en bahías y golfos, las proporciones de sales en solución son ligeramente diferentes, pero en grado muy poco considerable. Donde sí son notablemente diferentes las proporciones de sales es en el agua de ríos que desembocan en los mares, en las que predominan el carbonato cálcico en vez del cloruro de sodio.

Iones	Rubey, 1951	Sverdrup, 1942
Cl <sup>-</sup>	19,630	18,9799
Br <sup>-</sup>	0,066	0,0646
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	2,701	2,6486
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,116	0,1397
Mg <sup>++</sup>	1,298	1,2720
Ca <sup>++</sup>	0,408	0,4001
K <sup>+</sup>	0,387	0,3800
Na <sup>+</sup>	10,770	10,5561
Sr <sup>++</sup>	0,014	0,0133

Los mares interiores como el Báltico y el Mar Negro, tienen sales en proporciones semejantes al agua marina, pero en menor concentración. En contraste, los mares Caspio y Aral tienen proporciones bastante diferentes, distinguiéndose principalmente por su contenido elevado de SO<sub>4</sub>.

Mapas indicando las variaciones de salinidad en la superficie de los océanos se encuentran en varios atlas, p. ej., el "Oxford (Bartholomew Advanced)" (1942). Fleming (1957, figura 2) da una tabla basada en una de Wuest y otros (1954) que expresa más precisamente que lo indicado arriba, la variación de la salinidad promedial con la latitud geográfica.

Debido a la salinidad las propiedades físicas del agua del mar son apreciablemente diferentes de las del agua destilada. Kuenen (1950) señala los siguientes aspectos importantes en que el agua del mar se distingue:

a) Su mayor densidad - aproximadamente 1,025, dependiendo de la temperatura, salinidad y presión. Los cambios de densidad del agua del mar relacionados con la dilución

Autores	Salinidad, ‰			
	30	20	10	02
Kolbe	Aguas euhalobianas	Aguas mesohalobianas	Aguas oligohalobianas	
Redeke	Agua de mar	Aguas salobres		
		polihalina	mesohalinas	oligohalinas
		β	α	
Brockmann	Alta mar	Agua marina	Agua salobre	
		Agua marina litoral salobre ("black-fish marine littoral")	superior	inferior
Remane	Dominio marino		Aguas marino-salobres	Aguas salobres típicas
				Aguas salobres límnicas
Hiltermann	Agua de mar	Agua marina braquihalina		Aguas salobres
				Aguas pliohalinas
				Aguas mesohalinas
				microhalinas
				oligohalinas

Fig. 5. Clasificación de las aguas de salinidad reducida, según diversos especialistas europeos. (Según Hedgpeth).

A g u a d u l c e

o concentración de las sales son de la mayor importancia para la circulación de los océanos.

b) A diferencia del agua dulce, el agua de mar de salinidad normal continúa reduciendo su volumen hasta el punto de congelación, que está aproximadamente 2° bajo cero; o sea que la máxima densidad se desarrolla a -2° en vez de a 4° C como en el agua dulce. Por lo tanto, la temperatura de los mares profundos es más baja de lo posible en los cuerpos de agua dulce, y temperaturas por debajo de 0° no son raras en las regiones polares y en los abismos.

Los efectos fisiológicos de las sales en solución sobre los organismos acuáticos son tan grandes, que éstos son notablemente distintos según las aguas que habitan, siendo muy contados los que pueden vivir indiferentemente en aguas dulces y marinas. Muchos, sin embargo, toleran ciertas variaciones en la salinidad. Los organismos que toleran considerables variaciones de salinidad se describen como **eurihalinos**; los que toleran muy poca variación, se llaman **estenohalinos**.

Las aguas de salinidad reducida y sus biotas han recibido considerable atención de los investigadores europeos. Varios de ellos han propuesto términos para designar aguas de determinados grados de salinidad subnormal, sin que se haya llegado a un acuerdo en la terminología, como se ve por la tabla de Hedgpeth (Fig. 5). Se notará que no hay unanimidad de criterio ni siquiera en cuanto al límite entre agua "marina" y "salobre", ya que algunos biólogos, acostumbrados a la baja salinidad del Mar Báltico, consideran aguas de salinidad tan baja como 18 o 20% como todavía "marinas".

Hedgpeth considera interesante distinguir entre aguas **salobres** y aguas **estuarinas**. El término "brackish" (sa-

lobre) sugiere cierta estabilidad en las condiciones, al menos una estabilidad durante una estación climatológica, mientras que las aguas "estuarinas" están sujetas a variaciones no solamente estacionales sino también diurnas relacionadas con las mareas. Por esto Emery y otros (1957) consideran que los términos propuestos para clasificar las aguas salobres carecen de valor para los estuarios, porque en cualquier punto el agua pasa por toda la gama de salinidades en el curso de un día. En tales estuarios, el dato de significancia ecológica no es la salinidad promedial sino la gama de su **fluctuación** diaria y estacional, así como también la rapidez del cambio durante el ciclo de la marea. Un cambio repetido diariamente de la salinidad puede tener un efecto acumulativo sobre un organismo marino, p. ej., puede obligarlo a retirarse hacia una parte del estuario donde la salinidad es menos reducida de la que podría tolerar bajo condiciones constantes (Emery, p. 685).

Al otro extremo de la gama de salinidad marina están las condiciones halladas en varias partes del mundo, en lagunas someras comunicadas con el mar, pero expuestas a una evaporación excesiva que en combinación con una deficiencia en la afluencia de aguas de lluvia o de ríos, produce salinidades por encima de la normal (aguas **hipersalinas**, "sursalées" en francés, a veces llamadas en inglés "ultrahaline" o "metahaline").

Con respecto a la distribución de los organismos marinos, Pearse y Gunter (1957) hacen las siguientes observaciones: la mayoría de las especies acuáticas son estenohalinas y tan sólo una minoría puede tolerar cambios considerables de salinidad. La mayor parte de tales especies son animales, notablemente peces, aunque algunas diatomeas neríticas y algas estuarinas pueden tolerar cam-

bios considerables. Los invertebrados completamente eurihalinos son muy raros, destacándose como tal el copépodo **Pseudodiaptomus euryhalinus**, que tolera una gama de salinidad desde 1,8 hasta 68,4% y más aún, se reproduce bajo tales extremos. Pearse y Gunter (p. 147) mencionan también que las especies habitantes de aguas **hipersaladas** generalmente se derivan de las de aguas de salinidad **reducida** (aguas meso- o polihalinas), lo que sugiere que en la evolución hacia la condición eurihalina "es el primer paso lo que cuenta".

Para la gran mayoría de los invertebrados, una salinidad normal evidentemente es la óptima, ya que el número de especies baja notablemente con la reducción de la salinidad. Entre los invertebrados restringidos a aguas marinas de salinidad normal están los radiolarios, corales, sifonóforos, braquiópodos (a excepción de **Lingula**), los equinodermos y las esponjas, excepto una sola familia de agua dulce. Los celentéreos no tienen sino unas pocas formas (hidroideos y anémonas) en aguas salobres y dos medusas de los hidroideos en aguas dulces.

Los crustáceos decápodos y algunos moluscos son los invertebrados más característicos de aguas estuarinas y dulces.

Pearse y Gunter han reunido observaciones interesantes sobre las relaciones entre salinidad y la estructura y/o el tamaño de los animales. En muchas especies se ha observado una disminución del tamaño con la reducción de la salinidad, en los organismos sésiles; en el caso de los animales nectónicos, esta relación parece deberse a la predilección de las formas juveniles por las aguas de salinidad reducida, las que al paso que van creciendo prefieren aguas de salinidad progresivamente más normal.

Se ha sugerido que tales relaciones deben ser registradas en poblaciones fósiles, permitiendo hacer deducciones paleoecológicas y paleogeográficas.

**Temperatura.** La temperatura del agua es quizás el factor individual más importante en la ecología marina. Hay mucha menos variación de temperatura, tanto diurna como anual, sobre la superficie del mar que sobre los continentes. Fleming (1957, Fig. 1), da un diagrama de la temperatura promedio anual en los océanos, como función de la latitud, con la escala ajustada de modo que se puede calcular directamente las áreas oceánicas afectadas. El promedio de la temperatura sobre toda la superficie oceánica es 17,54° C (en el hemisferio Norte es 19°, en el hemisferio Sur 16°). Aproximadamente, una cuarta parte de la superficie tiene una cifra promedio por encima de 25° C, y una mitad la tiene por encima de 20°. En los trópicos la temperatura en la superficie es casi 30°, en las regiones polares, de 0° o aún menos, debido a que el agua de mar empieza a congelarse a -2° C.

Las fluctuaciones anuales de la temperatura en una misma región son relativamente insignificantes, con máximas de 9° en el hemisferio Norte y 6° en el Sur. En los trópicos es menos de 2° y en las regiones polares menos de 1°.

En escala vertical, en los primeros 25-50 m. por debajo de la superficie el descenso de temperatura generalmente es poco, debido a la mezcla continua de estas aguas superficiales por las olas y las corrientes. Luego baja rápidamente hasta 150-200 m. de profundidad, debajo de cuyo nivel el descenso es otra vez muy lento, viniendo a ser casi constante. A 400 m. de profundidad en los océanos las máximas temperaturas registradas son alrededor de 15°, en zo-

nas al Norte y al Sur del ecuador, mientras que en el ecuador mismo las temperaturas son de 8° a 10°. A los 1.000 m. de profundidad las temperaturas por encima de 10° son excepcionales y en las zonas aún más profundas las temperaturas pueden ser desde 5° hasta -1°. Schott (1935, 1942) y Sverdrup (1954) han dado mapas de las cotas isotermales a 200, 400 y 1.000 m. de profundidad.

Los cambios de temperatura en el sentido vertical son considerados por Bruun (1957) como el factor más significativo para la zonación de las aguas oceánicas pelágicas (e incluyendo las del fondo) (Véase Fig. 6). A este respecto considera que la isoterma de 10° C es la más significativa, y que se puede establecer una división entre una zona tibia encima de este nivel -la "termósfera" (= tropósfera de algunos autores); y la zona de aguas frías, la "psicrófera" (psychrosphere) (= estratósfera de algunos oceanógrafos) por debajo de 10°. La profundidad de esta isoterma por supuesto que varía con la latitud, los caracteres locales de la circulación oceánica y otros factores, pero en las latitudes medianas suele hallarse entre 100 y 700 m. por debajo de la superficie. La termósfera comprende, pues, la zona iluminada o epipelágica con su abundante flora y fauna planktónica y nectónica, pero también una parte más superior de la zona afótica, habitada por animales que huyen de la luz, pero que necesitan temperaturas por encima de 10°. Esta parte oscura de la termósfera, Bruun la describe como la zona mesopelágica. Muchos habitantes de esta zona suben a la zona epipelágica durante la noche.

El límite superior de la psicrófera, pues, es la isoterma de 10°; allí empieza la zona batipelágica, según la interpretación de Bruun (quien señala que algunos autores han confundido

a la zona mesopelágica bajo esta denominación). El número de especies y de individuos disminuye considerablemente. Bruun da una lista de algunas especies y géneros característicos de esta zona, que incluye principalmente peces pero también algunos radiolarios (p. ej., *Tuscaretta*), pterópodos (*Peraclis bispinosa*, *Limacina helicoides*) y el holotúrido *Pelagothuria*. Algunos de los peces que viven en esta zona suben a la termósfera para reproducirse, y algunos pasan su vida larval en ella.

El límite inferior de la zona batipelágica y superior de la zona abisopelágica, Bruun lo pondría en la isoterma de 4° C; utilizaría el mismo criterio, en vez de la profundidad, para el límite entre la fauna bentónica batial y la abisal. Señala Bruun que en el Océano Atlántico esta isoterma yace alrededor de 2.000 m. en profundidad, mientras que en los océanos Índico y Pacífico puede hallarse a 1.500 o hasta 1.000 m., hecho que explica en parte los diferentes criterios sobre la división batimétrica. La disminución en el número de las especies y de individuos por debajo de los 4°, es aún más marcada que con la isoterma de 10°. Algunos animales abisopelágicos que menciona Bruun son: el radiolario *Procystis*, los crustáceos *Eucopia australis* y *Gnathophausia gigas*, más peces especializados de los Ceratoidea, como *Borophryne apagon* (Bruun, pl. 1, Fig. 2).

En estas grandes profundidades es difícil hacer una distinción entre especies pelágicas y bentónicas, ya que hay formas de vida intermedia que viven nadando cerca de los fondos. El límite inferior de la zona abisopelágica ha sido colocado provisionalmente al mismo nivel que para la zona bentónica abisal, o sea a 6.000 m. Aquí la temperatura no juega papel alguno. Debajo de este nivel se encuentran los grandes abismos o fosas

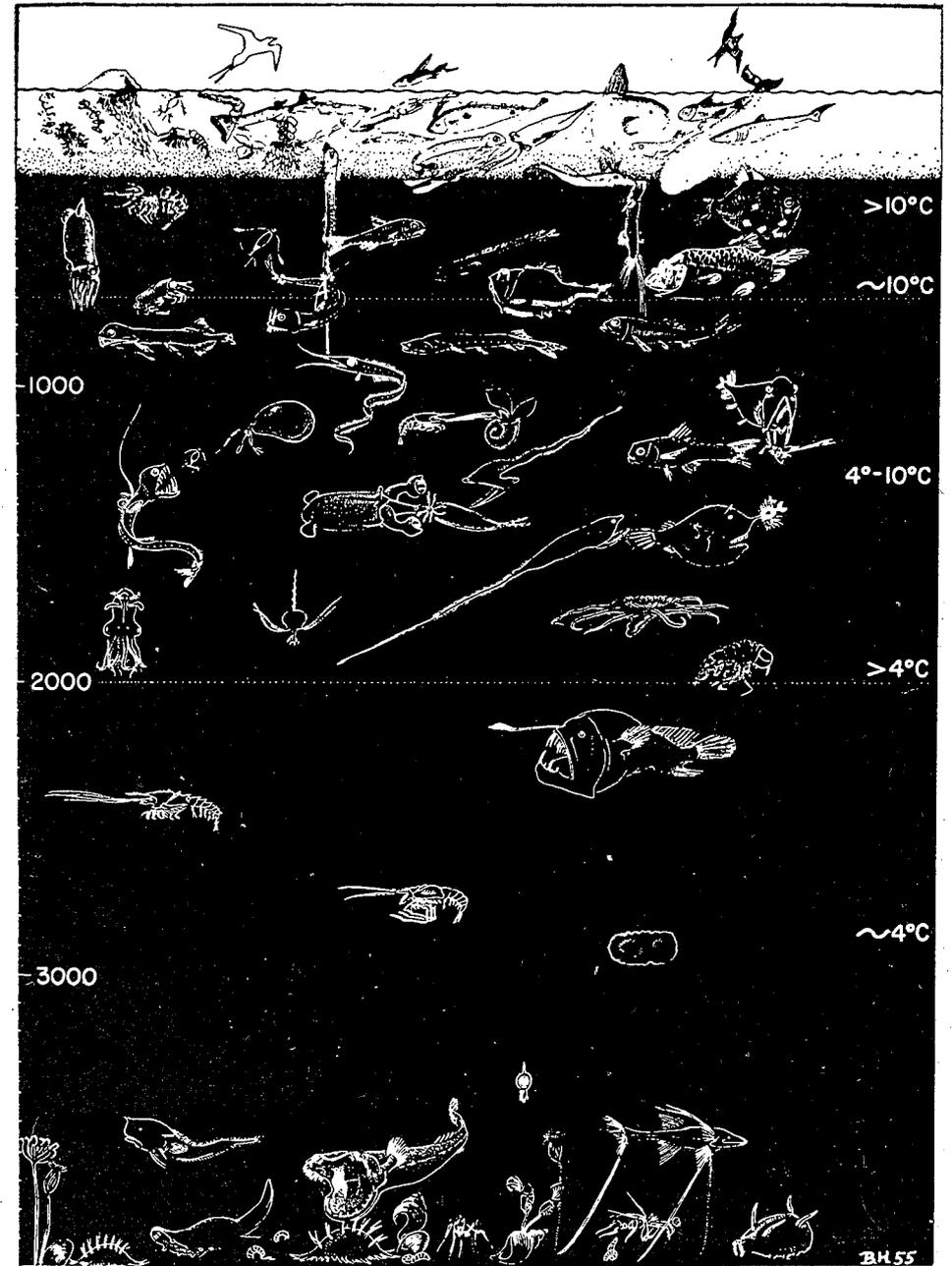


Fig. 6. La zonación ecológica de las aguas marinas pelágicas en las regiones tropicales y subtropicales. (Según Bruun, 1957).

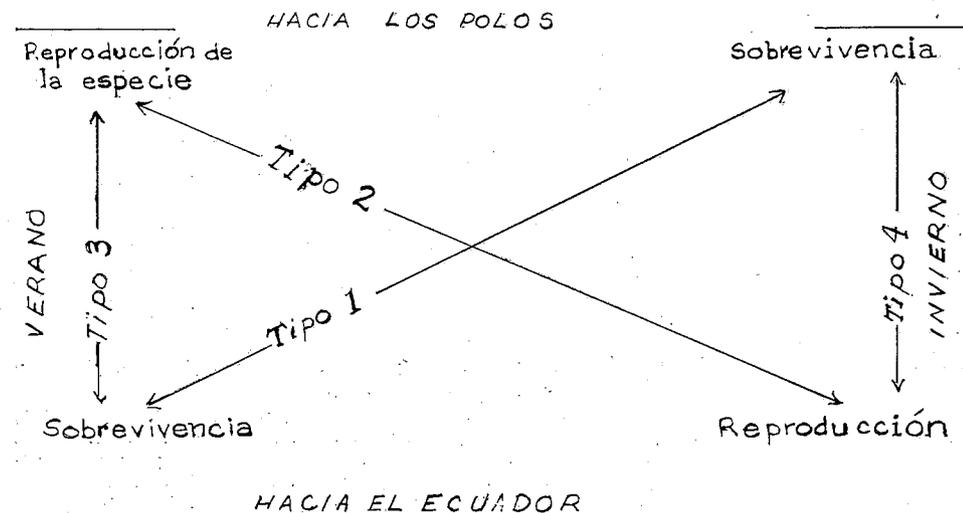
En orden descendente desde la superficie, estas zonas son: la termósfera, con temperaturas > 10° C, cuya parte superior es la zona epipelágica, definida por la penetración efectiva de los rayos solares y donde abunda el fitoplácton. Por una zona transicional de iluminación débil, se pasa a la parte inferior de la termósfera, la zona mesopelágica como definida por Bruun. Por debajo de la termósfera, yace la psicrófera, definida como las aguas con temperatura por debajo de 10° C. La parte superior, menos fría, con temperaturas por encima de 4° C, se puede definir como la zona batipelágica, y la inferior como la abisopelágica. Cerca del fondo marino, y en la base de la figura, el acúmulo

oceánicas que constituyen la zona **hadal**.

Bruun señala que de los 361 millones de kilómetros cuadrados de los fondos oceánicos, aproximadamente 84% yacen por debajo de los 2.000 m. Puesto que la isoterma de 4° puede hallarse a 2.000 m. en el Atlántico y a profundidades aún menores en el Pacífico, se desprende que el dominio oceánico se caracteriza en su mayor parte por su temperatura fría.

Hay una relación directa, naturalmente, entre la **temperatura** del agua del mar y la **densidad**. Las mayores densidades en aguas de mar abierto, 1,027 a 1,028, se encuentran en los mares polares. La densidad disminuye gradualmente hacia el ecuador, donde mide 1,022.

El factor temperatura, tan importante en la zonación batimétrica de la biota, lo es igualmente en el sentido horizontal. Se ha tratado de distinguir zonas biogeográficas basadas en la temperatura, como "boreal" o "polar", "subpolar", "templada", "templada-fría" (cold - temperate), "templada-cálida" (warm-temperate), etc., pero estas zonas no siempre coinciden como definidas por diferentes autores.



Los organismos que toleran grandes cambios de temperatura se describen como **euritérmicos**; los más exigentes, como **estenotérmicos** siendo los corales madreporicos un buen ejemplo de éstos. Con respecto al comportamiento de una especie ante variaciones térmicas (no de los otros factores) se debe distinguir entre los **extremos** que puede tolerar un **individuo**, y los límites dentro de los que la **especie** puede reproducirse y persistir. Hutchins (1947, *fide* Hedgpeth, 1957) considera que hay cuatro aspectos que se han de tomar en cuenta, a saber:

- 1) La temperatura **mínima** que el individuo puede resistir;
- 2) La temperatura **mínima** a la que la especie se reproduce en número suficiente para mantener su población;
- 3) La temperatura **máxima** a la que la especie se mantiene;
- 4) La temperatura **máxima** que resiste el individuo de la especie.

En diferentes especies la distribución geográfica estará controlada por diferentes combinaciones de estos factores; Hutchins expresa esto por el diagrama siguiente. (Fig. 7):

Por ejemplo, en las especies del grupo 1, siendo el factor limitante la temperatura máxima y mínima que puede tolerar el organismo individual; su distribución hacia el ecuador está controlada por la temperatura máxima que resiste, hallando temperaturas aptas para la reproducción en la misma zona en el invierno, y viceversa, hacia la zona boreal logra sobrevivir en el invierno y se puede reproducir en verano. Con la especie 2, son las temperaturas que limitan la reproducción, las que controlan la distribución geográfica.

Hay numerosos estudios sobre las relaciones entre la temperatura y el crecimiento de los animales. Se ha expresado muchas veces que en términos generales

- Los invertebrados marinos no conchíferos alcanzan mayor tamaño hacia los polos;
- El número de **especies** en las faunas disminuye hacia los polos, pero
- El número de **individuos** de una especie aumenta en el mismo sentido;
- Los organismos en las aguas más frías crecen más lentamente, demorando más en llegar a la edad reproductiva, y tienen una vida más larga que los animales de tipo semejante en aguas cálidas.

Excepciones a la regla de mayor tamaño para los invertebrados de agua fría se hallan entre los invertebrados de concha **calcárea**, ya que en las aguas frías es difícil la precipitación de CaCO<sub>3</sub>. Por ejemplo, en los foraminíferos algunas de las especies más grandes son de aguas frías, pero tienen concha arenácea aglutinada, no calcárea, mientras que las mayores especies de concha calcárea se encuentran en las aguas cá-

lidas del Pacífico (p. ej., **Cycloclipeus**, **Orbitolites**). El pelecípodo **Tridacna**, que en los arrecifes de Australia llega a un metro de largo, mide unos pocos centímetros en el extremo septentrional de su área de distribución.

Otro dato interesante, se relaciona con la **disminución de la viscosidad** del agua con la elevación de la temperatura. La viscosidad a 0° es casi el doble del valor a 25°. Esto se refleja en que los organismos **planktónicos** (foraminíferos, radiolarios, diatomeas), tienen espinas más largas en aguas cálidas, para impedir el hundimiento.

En los océanos abiertos el plankton es mucho más abundante en aguas frías. Hacia los polos se nota que su composición va cambiando, consiste principalmente de diatomeas y faltan casi por completo las formas pelágicas larvales de diversos animales, que son un componente tan importante en las latitudes más bajas.

Con referencia a la distribución de formas larvales en el plankton, Thorson (1950) (*fide* Gunter, 1957) ha demostrado que los gasterópodos Prosobranquios que habitan las aguas árticas y antárticas no tienen larvas planktónicas, pero que hacia el ecuador aumenta el porcentaje de especies con larvas planktónicas, pudiendo llegar a un 85% de las especies en algunas regiones. Las especies con larva bentónica tienen el huevo grande, la concha larval (protoconcha) tiende a ser grande y tosca; en contraste, la concha larval planktónica es más delicada, enrollada estrechamente y con frecuencia finamente esculpida (véase la figura de Gunter, reproducida aquí como la Fig. 7. Esta relación podría ser utilizada por los paleontólogos para deducir condiciones paleoclimáticas.

Los corales madreporicos son netamente estenotermales, no pudiendo sobrevivir donde la temperatura mi-

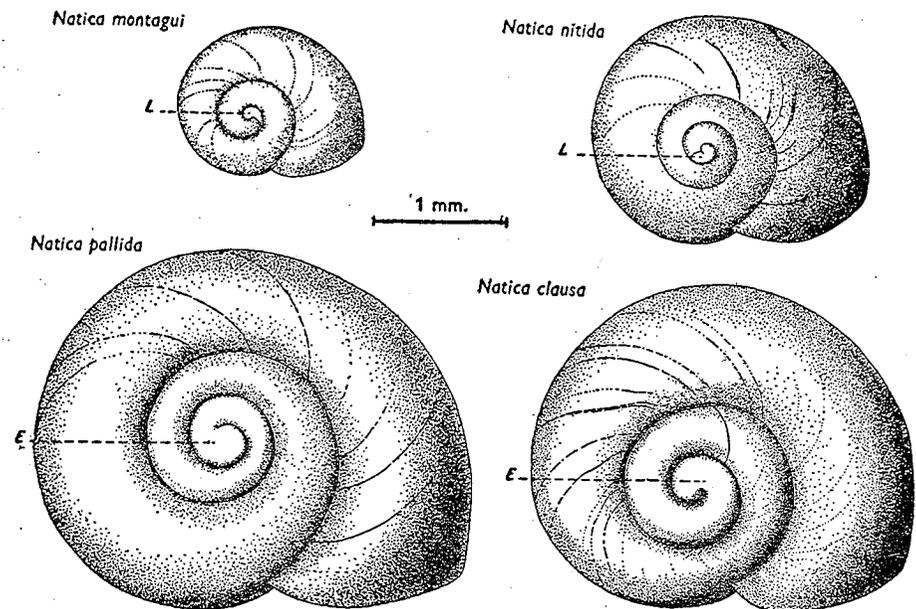


Fig. 8. Efectos de la temperatura sobre el tamaño de la protoconcha en especies de *Natica*. Abajo, especies de aguas frías con larva bentónica y protoconcha grande. (De Gunter, 1957, según figuras de Thorson, 1950).

nima llegue por debajo de 18-19° C. Según Pruvot (1896) la mayoría de las algas sésiles son estenotermales. Los cirrópodos son notablemente euritérmicos, como lo son muchos pelecípodos, especialmente las ostras. La especie europea *O. edulis*, tolera temperaturas de 0 a 20° y la americana, *Crassostrea virginica*, resiste temperaturas entre 4 y 34° en el golfo de México.

Los isótopos de oxígeno presentes en conchas calcáreas han sido utilizados para determinar temperaturas en épocas geológicas del pasado. Los métodos precisos para determinar las proporciones de  $O^{16}/O^{18}$ , fueron desarrollados por H. C. Urey y varios colaboradores (Epstein, Buchbaum, Lowenstam y Mackinney). Numerosos trabajos han aparecido ya: se pueden consultar en especial las explicaciones del método en *Geol. Soc. Amer.*

*Bull.*, 62, pp. 417-426 y 64, pp. 315-326 (Epstein y otros, 1951, 1953).

La temperatura parece ser un factor importante en la distribución de magnesio en los esqueletos de organismos marinos. La proporción de magnesio, a su vez, está relacionada con las proporciones de aragonito y calcita presentes, ya que el primero raras veces contiene más de 1% de  $MgCO_3$ , mientras que la calcita generalmente contiene más, y a veces llega a tener 20 a 30% de  $MgCO_3$ . Algunas especies que en latitudes bajas segregan un esqueleto puramente aragonítico, incluyen un poco de calcita hacia latitudes más altas. (Véase Chave, 1954; Lowenstein, 1954 a, b). Hay una relación bastante estrecha entre temperatura alta y la presencia de magnesio (véase la sección sobre Carbonatos en el mar), aunque el aragonito es siempre bajo en Mg.

**Oxígeno.** Está presente en todas las aguas oceánicas, aún en las mayores profundidades, a diferencia de lo que se suponía antes de empezar los estudios oceanográficos en el siglo pasado. Se observó luego que lo había en todas las muestras de agua en todas las profundidades. La cantidad presente varía de un sitio a otro, pero no directamente en función de profundidad, sino que depende de la circulación oceánica y de otros factores.

En la superficie de los océanos las aguas normalmente están saturadas de oxígeno; la cantidad presente varía entre 4, 5 a 9  $cm^3$ /litro, la cifra más alta correspondiendo a las aguas más frías. La solubilidad del  $O$  en el agua marina disminuye con el aumento de la temperatura y también de la salinidad. A la salinidad usual, la solubilidad disminuye a razón de entre 0,1 a 0,2 m/lit. por 10° C.

Las aguas marinas están perdiendo oxígeno constantemente por las actividades respiratorias, químicas y enzimáticas de los organismos (incluyendo las bacterias) presentes en todos los niveles. Esta pérdida se puede compensar por **absorción** de oxígeno atmosférico en la zona superficial, y en la zona fótica, por la producción de nuevo  $O$ , por la **fotosíntesis** de las plantas marinas.

La distribución del oxígeno a través de los océanos se efectúa casi en su totalidad por el desplazamiento de masas de agua oxigenada desde un sitio a otro, ya que la difusión molecular es demasiado lenta para ser eficaz. En términos generales, hay una circulación lenta de agua oxigenada desde las regiones polares ("los pulmones de los océanos") hacia las regiones tropicales; este proceso ha sido llamado "**advección**" (Richards, 1957). (Véase la sección sobre "Circulación en los Océanos", más adelante).

En general, hay muy pocas regio-

nes del océano donde hay un equilibrio exacto de 100% de saturación con respecto al oxígeno; lo mismo hay zonas o regiones pobres en oxígeno, como las hay "sobresaturadas", por ejemplo, debajo de la superficie en la zona iluminada, puede ser producida mayor cantidad de oxígeno por fotosíntesis de lo que puede ser absorbido o difundido a otras aguas o a la atmósfera. En contraste, en partes de la zona afótica el oxígeno puede ser consumido más rápidamente de lo que se surte y el agua empobrece en  $O$ .

**Nivel de compensación** (compensation depth). Es un término aplicado a la profundidad a la que la producción del  $O$  por la fotosíntesis y el consumo por los organismos, están en equilibrio. Este nivel varía de una región a otra, no se puede predecir porque implica diversos factores. Algunas determinaciones de este nivel varían desde 0,8 m. en una bahía de Long Island fuera de Nueva York, a 100 m. en el Mar de Sargazos.

Aunque la profundidad por sí sola no trae como consecuencia necesaria una deficiencia de  $O$ , cualesquiera condiciones que interfieran con la circulación del agua sí producirán anomalías en el surtido de  $O$  en las aguas más profundas. Tales condiciones generalmente se presentan en mares circundados por tierras (mares mediterráneos) o en golfos, bahías y fiordos, donde el fondo de la entrada está notablemente más elevado que el de la cuenca. Kuenen describe tal umbral como un "sill" (Kuenen, Figura 2). Este autor, basándose en el trabajo de Fleming y Revelle (1939), distingue dos tipos de cuencas: a) de aguas completamente estancadas (figura superior), condición asociada con la presencia de un umbral o "sill" a poca profundidad, y largo; y b) cuencas no completamente estancadas (o

no estancadas), donde el umbral es más corto y más profundo y permite una renovación periódica o continua aunque limitada de las aguas. Los caracteres de estos tipos de cuenca se pueden enumerar así:

#### A Cuenca estancadas:

Marcada estratificación del agua en la superficie, debido a la afluencia de aguas pluviales; las capas de densidad igual son delgadas; faunas planktónicas de aguas dulces, salobres y salinas pueden encontrarse en niveles poco distantes verticalmente.

**Aguas de la cuenca:** Condiciones uniformes en toda la cuenca debajo de los estratos ya mencionados; no hay circulación. Características de estas aguas:

- 1.—Temperatura y salinidad uniformes
- 2.—Temperatura anormalmente alta
- 3.—Falta de oxígeno
- 4.—Presencia de H<sub>2</sub>S.
- 5.—Abundancia de sales nutritivas (pero, naturalmente, por la ausencia de oxígeno, éstas no pueden ser utilizadas por las plantas)
- 6.—Saturadas con respecto al CaCO<sub>3</sub>.

#### Los caracteres de los sedimentos que se forman son:

- a) Grano fino
- b) Químicamente, fuertemente reductivos
- c) Contienen H<sub>2</sub>S
- d) Altos en CaCO<sub>3</sub>
- e) Laminados
- f) Sin organismos bentónicos
- g) Los fósiles serán una mezcla de formas planktónicas y nectónicas que habitaban las aguas superficiales.
- h) Alta proporción de material orgánico
- i) Fósiles presentes sólo en ciertos niveles. Esto se explica porque muy excepcionalmente tempestades, movi-

mientos sísmicos, etc., podrían causar un aporte de agua marina a través del umbral, lo que provocaría la mantanza de las faunas y floras necto-planktónicas muy especializadas de las aguas superficiales.

**B — Cuenca con estancamiento menos completo:** (se produce una renovación periódica o continua, en escala limitada, de las aguas). Hay estratificación de las aguas superficiales, lo mismo que en (A), pero los estratos son más amplios.

Condiciones uniformes y ausencia de circulación de las aguas de la cuenca debajo del nivel superficial, lo mismo que en (A).

#### Condiciones de estas aguas:

- 1.—Temperatura y salinidad uniformes.
- 2.—Temperatura anormalmente alta.
- 3.—Poco oxígeno.
- 4.—Sales nutritivas relativamente altas (en cantidad).
- 5.—Saturación respecto al CaCO<sub>3</sub>.

#### Caracteres de los sedimentos:

- a) Grano fino.
- b) Químicamente reductores.
- c) Fauna bentónica presente pero anormal.
- d) Material orgánico relativamente alto.
- e) CaCO<sub>3</sub> elevado.

La formación La Luna de Venezuela se depositó bajo condiciones de aguas estancadas del fondo semejantes a las descritas en (A), excepto que la región no tiene necesariamente que haber estado circundada por tierras; más bien las aguas superficiales habrán sido marinas de salinidad normal, con abundancia de **Globigerina**.

Pero los otros caracteres concuerdan con lo indicado arriba.

Regiones actuales con condiciones anormales de oxigenación son, p. ej.:

La Fosa de Cariaco; es excepcional en que está en el mar abierto, pero carece de oxígeno por circulación deficiente.

El Mar Negro; los caracteres pertinentes son: Aguas superficiales bien oxigenadas hasta los 50 m. de profundidad, de allí hacia abajo el oxígeno disminuye rápidamente, debajo de los 150 m. ya falta y hay H<sub>2</sub>S, que aumenta desde 4 cm<sup>3</sup>/litro a 500 m. hasta 6 cm<sup>3</sup>/litro en el fondo, 2.000 m.

Un ejemplo de una bahía con condiciones de ausencia de oxígeno y formación de H<sub>2</sub>S en el fondo es la de Kaoe en la isla Halmahera de las islas Molucas (Kuenen, Fig. 5). Este ejemplo demuestra que el estancamiento se produce más fácilmente en regiones tropicales, donde las condiciones atmosféricas son más uniformes. Aunque esta bahía tiene una entrada bastante ancha y el umbral a 50 m. de profundidad, por debajo de los 350 m. las aguas carecen de oxígeno. Comenta Kuenen que un fiordo noruego de topografía semejante estaría bien oxigenado.

En términos generales, parece que los animales marinos no exigen una concentración determinada de O en el agua, sino que se adaptan fácilmente a todos los cambios, y con tal que no haya H<sub>2</sub>S pueden funcionar, al menos por cierto tiempo, en aguas cuyo contenido de oxígeno es tan reducido que casi no se puede medir en las muestras oceanográficas (Richards, 1957, p. 212).

En todos los océanos se encuentra que algunos niveles batimétricos son pobres en oxígeno, pero no se ha notado que estos niveles sean pobres en necto-plankton. Richards concluye que en general el contenido de O no es

un factor primario que controle la presencia de organismos y su crecimiento, excepto en los casos extremos de condiciones aneróbicas con desarrollo de sulfuros. Dicho autor señala también que la abundancia de animales disminuye con la profundidad pero no paralelamente a los cambios del oxígeno; tampoco hay evidencia de que aumente debajo de aquellos niveles pobres en O. Por lo tanto, debe presumirse que otros factores limitantes, tales como la temperatura, presión o surtido de alimento, juegan un papel mucho más importante en el empobrecimiento de la fauna hacia los fondos, que no la escasez de oxígeno.

Richards (1957) considera con lujo de detalles el tema del oxígeno oceánico, incluyendo secciones sobre la distribución en los varios mares y océanos. A este respecto podemos citar sus notas sobre el Mar Caribe, éste está dividido en una serie de "cuencas" y separado del Océano Atlántico por umbrales submarinos que no permiten la entrada de agua oceánica debajo de los 1.000 m. En la cuenca venezolana, la concentración mínima de O se halla entre 400 y 600 m. de profundidad, donde hay menos de 3 ml/litro en la parte sur de la cuenca. Por debajo de 1.500 m., el contenido es más de 4,8 ml/lit. y continúa aumentando hasta más de 5 ml/lit. en el fondo (3.600-3.800 m.). (Estos datos por supuesto que no rigen para la fosa de Cariaco).

#### Carbonato y CO<sub>2</sub> en los océanos.

La discusión siguiente está basada casi exclusivamente en el admirable artículo por Revelle y Fairbridge (1951) en el **Treatise**.

El calcio y el dióxido carbónico son esenciales en el metabolismo de los seres vivientes; son también de gran interés al geólogo, sedimentólogo y paleontólogo porque gran proporción de los sedimentos formándose actual-

mente en los ambientes marinos o presentes en la columna geológica, son carbonatos. Puesto que los elementos magnesio y estroncio frecuentemente están asociados con el calcio en los sedimentos que se están formando ahora, y en los del pasado, conviene incluir su biogeoquímica en esta discusión. Hay que notar que en la actualidad el  $MgCO_3$  no se presenta como magnesita o dolomita en los esqueletos de organismos marinos, sino en solución sólida; lo mismo rige para el  $SrCO_3$ .

Revelle y Fairbridge (en su tabla 1, p. 241) dan cálculos de las cantidades de C y de  $CO_2$  presentes en las rocas sedimentarias y en la atmósfera, la hidrósfera y la biósfera. Concluyen que, aproximadamente, un 73% del C está en los carbonatos sedimentarios, casi un 27% como carbón orgánico en sedimentos\* y solamente 0,16% en la hidrósfera, atmósfera y biósfera combinadas. La cantidad de  $CO_2$  en el océano es 25 veces mayor que la de la atmósfera ( $60 \times 10^{12}$  toneladas contra  $2,2 \times 10^{12}$  toneladas, *fide* Kuenen). Además se calcula que la cantidad gastada por la fotosíntesis de las plantas marinas es solamente 1/280 del total presente, contra 1/32 del  $CO_2$  atmosférico usado por la vegetación terrestre. Si las aguas del océano no estuvieran en moción en gran escala, existiría un flujo de  $CO_2$  desde el océano a la atmósfera, pero las corrientes oceánicas introducen complicaciones de modo que Revelle y Fairbridge consideran que el balance neto del movimiento es dudoso. En las corrientes que fluyen desde el Sur hacia el Norte (como la corriente del Golfo), las aguas se van enfriando, de ahí que pueden contener más  $CO_2$ , la fotosíntesis es más activa, total que el movimiento de  $CO_2$  es más bien desde el aire al agua. En contraste, las corrientes en los lados occidentales

de los continentes llevan aguas hacia el ecuador, éstas al calentarse tienden a perder  $CO_2$  a la atmósfera; pero luego cerca de los continentes se produce el fenómeno de "upwelling" o subida de aguas frías ricas en nutrientes, por cuyo motivo el fitoplankton es más abundante, hay mayor gasto de  $CO_2$  en la fotosíntesis, total que el balance neto de las dos tendencias no se conoce.

En términos generales, los océanos están esencialmente saturados en cuanto al  $CaCO_3$  y la razón a que éste se retira del agua en la forma de depósitos calcáreos, en su gran mayoría de origen orgánico, debe de ser casi exactamente igual a la proporción en que se introduce el carbonato por los ríos, que se calcula en 0,29 mg. por  $cm^2$  por año. Se calcula la razón de depósito de  $CaCO_3$  en los fondos oceánicos en 0,66 gm. por  $cm^2$  por 1.000 años, que concuerda con los cálculos de Arrhenius (1952) sobre el acumulo de los depósitos calcáreos oceánicos. Hay dos regiones contrastadas de los fondos oceánicos donde se está acumulando  $CaCO_3$ :

1) los fondos oceánicos, en profundidades generalmente de más de 1.000 m. y menos de 4.700 m., donde se están depositando los barros calcáreos de Globigerinas (y en menor grado, de pterópodos) (véase Fig. 9); y

2) las regiones de aguas someras y cálidas, donde se forman calizas coralinas, sedimentos calcáreos periarrecifales, etc.

Probablemente la mayor parte del acumulo anual de  $CaCO_3$  tiene lugar en la región (1). La vasta amplitud geográfica de estos fondos, calcula-

\* Estas cifras contradicen la afirmación hecha por algunos autores (p. ej., Kuenen, p. 8) de que, en comparación con los carbonatos sedimentarios, la cantidad de C en todos los demás sedimentos es insignificante.

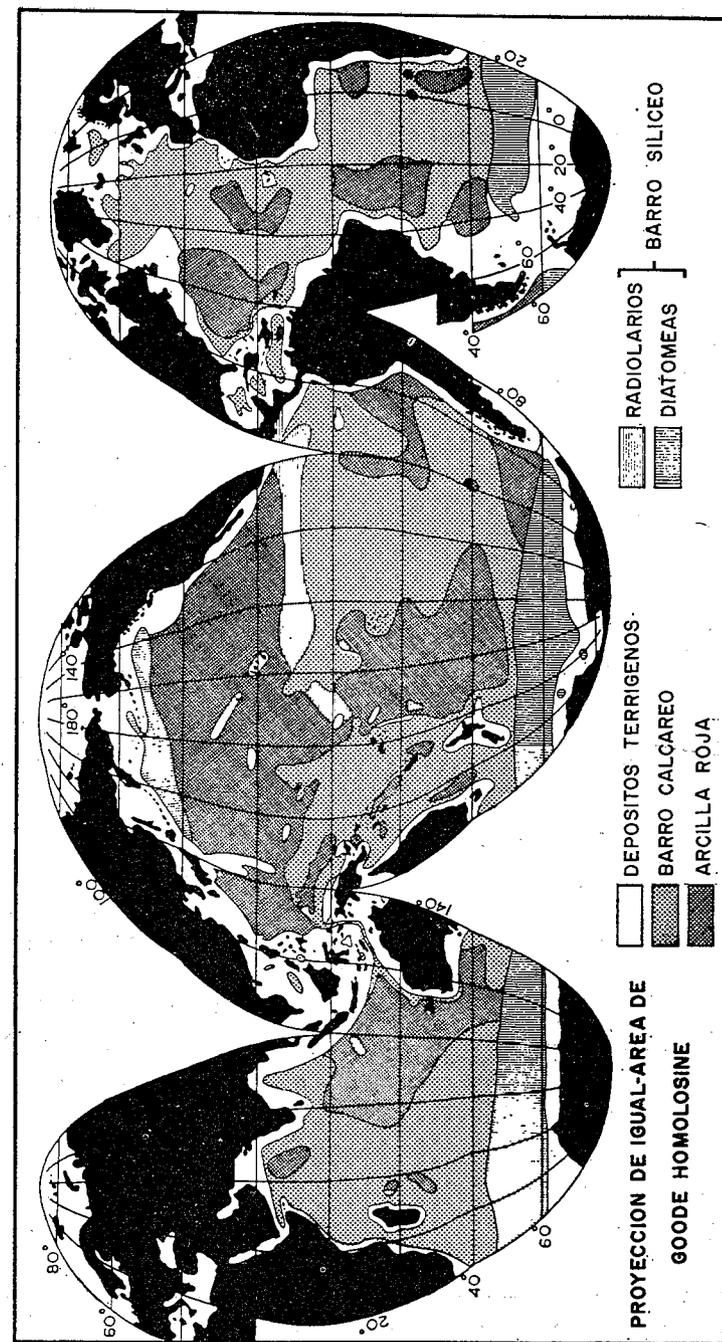


Fig. 9. La distribución de los varios tipos de sedimentos en los fondos oceánicos. (Según Kuenen, 1950).

dos en 128 millones de km<sup>2</sup>, compensa la lentitud de la sedimentación. Esta puede ser mucho más rápida por unidad areal en las zonas someras del segundo tipo, pero el área es muchísimo menor. Ignoramos si se han hecho estimaciones, pero el área ocupada por todos los tipos de sedimentos de las plataformas continentales es de sólo 30 millones de km<sup>2</sup>, contra 128 millones cubiertos por los barros oceánicos calcáreos.

La mayor parte del CaCO<sub>3</sub> que afluye al mar, en la actualidad está derivada de la destrucción de calizas que afloran. Kuenen ha hecho unas consideraciones interesantes sobre lo que podemos llamar la "fuga de divisas" de CaCO<sub>3</sub> a los fondos oceánicos, donde permanece encerrado y no vuelve a circular; esta fuga habrá principiado en el Cretáceo, cuando los foraminíferos, más exactamente los globigerínidos y familias afiliadas, se adaptaron a la vida planktónica. Kuenen prevé la posibilidad de un déficit en el futuro geológico, cuando todas las calizas de los continentes hayan sido rebasadas, y la única fuente de nuevo carbonato será por la meteorización de rocas no calcáreas.

Revelle y Fairbridge hacen unas consideraciones interesantes sobre los cambios en el sistema de equilibrio del CO<sub>2</sub> y CaCO<sub>3</sub> que pueden haber tenido lugar en pasadas edades del Cenozoico, cuando el clima era más cálido o más frío que el actual. Emiliani (1954) calcula por estudios de paleotemperaturas que durante el Oligoceno la temperatura promedial del agua oceánica profunda era aproximadamente 10,5°, y que hubo una bajada de unos 8° para fines del Plioceno.

Estudios de testigos largos de sedimentos calcáreos en los océanos, en el Pacífico por Arrhenius (1952) y en

el Atlántico por Schott (1939) han tratado de interpretar la alternancia de capas respectivamente bajas y altas en CaCO<sub>3</sub>, fenómeno relacionado sin duda con las glaciaciones pleistocenas. En el Océano Atlántico las etapas glaciales parecen haber estado caracterizadas por sedimentos **bajos** en CaCO<sub>3</sub>, pero en el Pacífico es al contrario. Para la discusión de estos fenómenos, véase Revelle y Fairbridge, ps. 283-284. Parecen depender del balance de un complejo de factores como la circulación atmosférica y oceánica y la producción acelerada del plankton calcáreo **versus** su solución en aguas frías más ricas en CO<sub>2</sub>.

La solubilidad del CaCO<sub>3</sub> aumenta con la clorinidad, de ahí con la salinidad. Bajo temperaturas y presiones normales la calcita es menos soluble que el aragonito. En experimentos hechos por Murray e Irvine (1891), bajo evaporación, el aragonito se precipitaba a temperaturas por encima de 26°, y la calcita por debajo de esa temperatura. En la naturaleza, el aragonito se precipita en cantidad relativamente significativa en aguas tropicales someras, en bahías, lagunas, etc., donde hay surtido constante de agua saturada de CaCO<sub>3</sub> y recalentada por el sol. El ejemplo por excelencia de estas condiciones se halla en las Islas Bahamas, en el bajo fondo, del que las islas constituyen una pequeña parte emergida. Sobre la mayor parte de este banco, el agua tiene menos de 5 m. de profundidad. La parte interna del banco está cubierta por un barro blanco calcáreo muy fino, llamado **drewita**, compuesto de cristales microscópicos de aragonito. Drew (1911), el primero en estudiarlo, atribuyó su origen a actividad bacteriana, pero la mayoría de los autores modernos consideran que es un precipitado inorgánico. Una tercera interpretación compara los cristales con los que se forman en los te-

jididos de ciertas especies comunes de algas verdes, pardas y rojas.

En contraste, la precipitación inorgánica de calcita parece ser casi nula, si bien no de un todo imposible, puesto que Chapman (1941) halló cristales de ella en un sedimento al SE de Australia.

En general se considera que la casi totalidad del CaCO<sub>3</sub> que se está acumulando en el mar es de origen orgánico. Revelle y Fairbridge expresan que los granos mayores en los sedimentos neríticos calcáreos son en general fácilmente reconocibles como fragmentos de organismos. La fracción más fina parece resultar de la desmenuzación de ellos, lo que está confirmado porque las razones de CaCO<sub>3</sub> a MgCO<sub>3</sub>, y de calcita a aragonito, no varían con la granularidad de la muestra. Si la calcita precipitada inorgánicamente fuera un componente importante de la fracción fina, el contenido de MgCO<sub>3</sub> de esta fracción debería ser menos de 2%, lo que no es el caso. Cantidades apreciables de Mg nunca se forman en calcita precipitada directamente del mar; toda la cantidad que se observa en los sedimentos se deriva del carbonato segregado por plantas o animales.

A propósito del carbonato de Mg, es interesante señalar que hay tres factores que influyen en su abundancia:

1) La **mineralogía** de la concha o caparazón animal; hay más MgCO<sub>3</sub> en calcita, menos en aragonito. Como se expondrá en detalle más adelante, las relaciones de calcita/aragonito a su vez dependen de:

a) la filogenia, o digamos la clasificación sistemática, de los organismos implicados. Diferentes grupos de animales pueden segregar calcita o aragonito exclusivamente, o una mezcla de ambos. A este respecto se ha notado que:

b) el aragonito se forma principalmente en los esqueletos de organismos de aguas cálidas, la calcita en los de aguas más frescas. En este sentido, pues, el contenido de Mg tendería a disminuir hacia el ecuador. Pero por otra parte se ha observado una relación contraria; véase (2) a continuación.

2) **temperatura.**— Los estudios de las conchas indican, sin embargo, que la cantidad de Mg aumenta con la temperatura, y además, que el aumento es más marcado en los grupos más primitivos, como se ve por la comparación siguiente:

	Temperatura	
	0°	30°
Foraminíferos	1	16
Cirrópodos (percebes)	1	5
	% de Mg CO <sub>3</sub>	

Con referencia a las relaciones entre la filogenia y la segregación calcárea, vamos a considerar las relaciones en los diversos grupos de plantas y animales que contribuyen a la sedimentación calcárea en aguas someras, empezando con las plantas.

**Bacterias.** Si se les niega participación en la formación de la *drewita*, parece que la única región importante donde las bacterias pueden jugar un papel importante es en el fondo del Mar Negro. En este mar, donde existen condiciones anaeróbicas por debajo de unos 150-200 m., hay ausencia total de animales bentónicos, y el plankton de las aguas superficiales, que comprende diatomeas, dinoflagelados y otras algas microscópicas, no incluye microorganismos calcáreos. Sin embargo, un 60% del fondo está cubierto por un barro calcáreo blanco, finamente interlamado con material carbonoso. El origen de este barro es debatible. Shvetsov (1948) lo atribuye a la precipita-

ción de calcita debida a liberación de amoníaco por bacterias denitrificantes, pero Straknov (1947) niega la participación de bacterias en la precipitación.

**Algas.** El  $\text{CaCO}_3$  es precipitado por 5 grupos de algas; a saber: 2 familias (Dasycladáceas y Codiáceas) de un orden de algas verdes; 1 sólo género (**Padina**) de las algas pardas; de las algas rojas, 2 Ordenes de las subclase **Florideae**, a saber: los **Nemaliones**, poco importantes, y los **Cryptonemiales**, mejor conocidos como las algas coralinas, incluyendo géneros como **Coralina**, **Lithothamnium**, **Melobesia**, etc. Los botánicos incluyen en las algas pardoamarillas (Crisofíceas) a los microscópicos **Co-colitofóridos**, a veces referidos a los protozoarios o a un Reino **Protistas**. Aunque las algas verde-azules pueden segregar  $\text{CaCO}_3$ , tales formas generalmente habitan lagos, ríos y fuentes termales; las especies marinas contribuyen más bien a la destrucción de las calizas, al perforarlas con sus filamentos. Géneros marinos que depositan el  $\text{CaCO}_3$  son **Rivularia**, **Calothrix** y **Oscillatoria**.

En las algas verdes y pardas y en el orden **Nemaliones** de las rojas, el  $\text{CaCO}_3$  es aragonito, mientras que en las algas coralinas es calcita. En estas últimas, considerable  $\text{MgCO}_3$  (7-30%) puede estar asociado con la calcita en solución sólida; la proporción parece aumentar con la temperatura y también con la profundidad. El contenido de  $\text{SrCO}_3$  es bajo, alrededor de 0,3%. Estas algas coralinas rojas, aunque alcanzan su máximo desarrollo en aguas cálidas, también pueden formar bancos extensos en latitudes más altas, p. ej., la costa de Irlanda, donde las calizas formadas por **Lithothamnium** se utilizan para enriquecer los suelos.

Las algas aragoníticas verdes y rojas (**Nemaliones**) se encuentran prin-

cipalmente en aguas cálidas, tropicales y subtropicales o en sitios localmente favorables en zonas templadas. **Halimeda**, un alga verde, tiene, aproximadamente, 1,3% de  $\text{SrCO}_3$ ; otras algas verdes analizadas por Lowenstam dan valores de hasta 2,3%.

**Invertebrados marinos.—Foraminíferos.** La mayoría de las especies de estos protozoarios segregan una concha calcárea, aunque una proporción apreciable forman la concha de partículas recogidas del fondo y cementadas por sustancias tectinosas ("quitinosas"), calcáreas o ferruginosas, según la especie; en estas formas aglutinadas la composición puede variar desde silíceo a calcáreo, dependiendo de los materiales disponibles y de la composición del material cementante. Muchas especies que incluyen formas de varios milímetros de largo, se hallan en aguas frías y profundas, y se indican otras muchas de las aguas frías polares.

En los foraminíferos que segregan una concha calcárea, en la gran mayoría ésta es de calcita. De unas 1.700 a 2.000 especies recientes y fósiles estudiadas por Bandy (1954) solamente 9 contenían aragonito; de éstas, 2 son especies recientes de aguas frías en profundidades entre 30 brazas a unos centenares; 4 eocenas y 4 cretáceas, lo que indica que el aragonito es más estable en estas conchas que en algunos otros organismos. En una de estas especies aragoníticas, el aragonito constituye las partículas de una concha aglutinada (**Bigerina irregularis** Phleger y Parker).

El contenido de  $\text{MgCO}_3$  en las conchas de foraminíferos tiene un amplio espectro de variación, desde 0,33% hasta 15,9%. Chave encuentra cierta correlación entre el contenido y la temperatura (véase arriba). El promedio de  $\text{SrCO}_3$  es bajo, menos de 0,4%.

**Poríferos.** En una de las 3 clases de espongiarios (las esponjas cal-

cáreas), las espículas son de calcita. En las pocas especies analizadas el  $\text{MgCO}_3$  varía desde 5,5% a 14,1%, más alto en las aguas cálidas.

**Celentéreos.** En este phylum, los grupos que contribuyen a la formación de depósitos calcáreos modernos son, además de los hexacorarios o **Scleractinia**, los llamados hidrocoralinos (órdenes **Milleporida** y **Stylasterida** de la clase **Hidrozoarios**), y los miembros de la subclase **Octocoralia** (= Alcionarios) de la clase Antozoos. Los hidrocoralinos forman masas ramificadas o irregularmente laminares, frecuentemente confundidos con los auténticos corales. Los alcionarios segregan espículas microscópicas de calcita en los tejidos, que generalmente se disgregan al morir los animales, pero que pueden así contribuir a los sedimentos de grano fino en aguas someras. Expresa Bayer (Treat. Invert. Paleo., pág. F-176) que su producción de  $\text{CaCO}_3$  es bastante importante; en las Islas Tortugas Secas, cerca de Florida, se calcula en una tonelada por "acre" por año. **Heliopora**, el llamado "coral azul" del Océano Pacífico, puede ser localmente importante como formador de arrecifes; este género es único entre los alcionarios en que es aragonítico al igual de las madreporas y los hidrocoralinos.

El contenido de  $\text{MgCO}_3$  en las madreporas va desde 0,12 a 0,76%, aumentando en general con la temperatura; su contenido de  $\text{SrCO}_3$  es desde 0,5 a 1,5%. En los alcionarios calcíficos, el  $\text{MgCO}_3$  va desde 6,05 a 14,9%, con los valores más altos en temperaturas por encima de 25° y los más bajos por debajo de 5° C. El  $\text{SrCO}_3$  es bajo en este grupo, 0,5% o menos.

**Anélidos.** Una familia de poliquetos, las **Serpulidae**, forman tubos de calcita, aragonito o una mezcla de ambos, en forma de cristales en una base de mucina. La proporción

de aragonito varía desde 0 a 20% a temperaturas de 5°, hasta 60 a 100% por encima de 22° C; el contenido de  $\text{MgCO}_3$  varía inversamente al del aragonito. **Serpula** puede localmente formar masas calcáreas considerables.

**Equinodermos.** El esqueleto parece estar invariablemente formado por calcita. En el phylum, en general, el  $\text{MgCO}_3$  varía entre 4,5 a 15,7%, generalmente en relación directa con la temperatura, especialmente en las estrellas (asteroides y ofiuroideos). Las proporciones de  $\text{MgCO}_3$  en diferentes grupos son: 8,6 - 12,6% en asteroides; 9,2 - 16,6% en ofiuroideos, y 7,3 - 12,8% en crinoideos. Los valores de  $\text{SrCO}_3$  son excepcionalmente bajos en todos, menos de 0,35%.

**Briozoarios.** Las partes duras consisten en calcita, aragonito o una mezcla de los dos. Investigaciones preliminares de la parte calcárea dan cifras de más de 4% de  $\text{MgCO}_3$ , y de  $\text{SrCO}_3$ , 0,4 a 0,5%.

**Braquiópodos.** En las especies vivientes calcáreas, el  $\text{CaCO}_3$  es calcita con menos de 4% de  $\text{MgCO}_3$ , con  $\text{SrCO}_3$  excepcionalmente bajo, menos de 0,25%.

**Moluscos.** En los gasterópodos y pelecípodos, lo mismo que en los serpulidos y los briozoarios, la calcita y el aragonito a veces se forman en una misma concha. Algunas especies segregan solamente calcita o aragonito, pero en la mayoría hay una mezcla, cuyas proporciones pueden variar dentro de una misma especie o aun en el mismo individuo, según la estación (es decir, según la temperatura).

La proporción de  $\text{MgCO}_3$  varía con el contenido de calcita, siendo muy baja en conchas aragoníticas, 0,09 a 0,25%. En los que tienen calcita sola, la proporción fue de 1,30 a 2,80% en los pelecípodos, 0,71 - 2,40% en gasterópodos, estudiados por Chave.

La proporción de  $MgCO_3$  es, por lo tanto, mucho más baja que en otros **phyla**. El  $SrCO_3$ , como determinado por Thompson y Chow (1955) es menos de 0,2% en las familias **Pectinidae**, **Ostreidae** y **Anomiidae**. Otros pelecípodos, los gasterópodos y los escafópodos contienen entre 0,15 y 0,4% de  $SrCO_3$ , mientras que los Anfineuros contienen 1% o más (quizás por habitar la zona litoral y estar más expuestos a la atmósfera).

En los mares actuales los cefalópodos con concha son tan raros que no se consideran (el solo género **Nautilus** en el Océano Pacífico), pero en el pasado geológico fueron más importantes; la concha en ellos es aragonítica.

**Artrópodos.** El carapacho quitinoso en muchos de los crustáceos más avanzados está fortificado por depósitos de sales de calcio, principalmente carbonato y fosfato. Parece que gran parte, si no la totalidad de estas sales, son reabsorbidas de la concha antes de la muda, para facilitar la rápida recalcificación del nuevo carapacho.

En todos los crustáceos analizados por Chave (1954 a), el  $CaCO_3$  era calcita, aunque algunos investigadores han indicado también vaterita, a base de la refracción de los rayos X. Todos están de acuerdo en que no hay aragonito. En los cirrópodos (percebes) a diferencia de otros crustáceos, hay muy pocos fosfatos o material orgánico. El contenido de  $MgCO_3$  en varios grupos se indica como: decápodos, 5,2 - 11,2%; ostrácodos, 2 - 10,2%; cirrópodos, 1,35 - 4,6%. El  $SrCO_3$  es relativamente alto, 0,5 - 0,8% en cirrópodos y decápodos.

Lowenstam (1954) resume las relaciones ecológicas del aragonito en una tabla (véase G. S. A., Mem. 67, vol. 1, fig. 7, p. 272), que presenta en forma gráfica la correlación entre

este mineral y temperaturas altas. Dicho autor establece 4 grupos de organismos con respecto a la formación de aragonito y/o calcita:

1) Los que segregan solamente aragonito (como las madreporas), donde el número de especies es mucho mayor en aguas tropicales;

2) organismos, como las algas rojas y los alcionarios, en los que algunas subdivisiones segregan calcita o aragonito exclusivamente; los que segregan aragonito se restringen a los mares más cálidos, los que segregan calcita tienen una repartición geográfica más amplia;

3) organismos que segregan aragonito exclusivamente, excepto en la parte más extrema de su **habitat** geográfico hacia la temperatura mínima; algunas especies del pelecípodo **Braichydontes** y del gasterópodo **Littorina** conforman a esta condición;

4) organismos que segregan aragonito y calcita en la misma concha, la proporción de aragonito aumentando con la temperatura.

Hay ciertas indicaciones de que pueda haber una relación entre la salinidad y el contenido de aragonito. Poblaciones de **Mytilus** del Mar Báltico, en regiones de salinidad tan baja como 3 - 10%, tienen un contenido más elevado de aragonito que otras poblaciones que crecieron bajo la misma temperatura pero con salinidad de 18 a 34% (Revelle y Fairbridge, p. 273).

El aragonito en las conchas es mucho menos estable que la calcita, siendo muy propenso a la recristalización en la forma de calcita; pero en los ambientes arrecifales y periarrecifales la calcita también se recristaliza con mucha frecuencia (Emery, Tracy y Ladd, 1954). Estos fenómenos han sido estudiados en testigos de sedimentos calcáreos recientes del atolón de Bikini. En orden descendente de su propensión a la recrista-

lización, figuran: las madreporas, los moluscos, el alga verde **Halimeda**, las conchas de pared delgada de los foraminíferos planktónicos, las de pared gruesa de los foraminíferos bentónicos de aguas someras, las de los macroforaminíferos (p. ej., **Cyclodypeus**) y, finalmente, los equinodermos y el alga **Lithothamnion**, los que raramente se recristalizan. Se observó en muchos casos que dentro de un año más de la mitad del aragonito se había transformado en calcita. La razón Sr/Ca se reduce notablemente con la recristalización.

Las observaciones anteriores son aplicables principalmente a los sedimentos calcáreos formados en aguas someras, que son los tipos de caliza más representados en la columna geológica, de ahí que son más interesantes para interpretaciones paleoecológicas. Como señalado arriba, sin embargo, la sedimentación calcárea pelágica es probablemente mucho mayor en cantidad. Los organismos que contribuyen en grado notable a estos barros calcáreos son:

1) los **Cocolitofóridos**, organismos microscópicos flagelados, muy diminutos, clasificados ya en un reino Protistas, ya en las algas crisofíceas, ya en protozoarios. Tienen la forma esférica con una envoltura formada por discos o plaquitas de diferentes formas, llamados **cocolitos**. Gran parte de los barros calcáreos de globigerinas está formada por estos restos, que por sus dimensiones tan pequeñas han sido poco investigados hasta últimamente. Los **discoastéridos**, restos de forma estrellada e igualmente diminutos, pueden ser relacionados con cocolitos, aunque hay ciertas dudas.

2) Los **foraminíferos planktónicos**, que comprenden especies de los géneros **Globigerina**, **Globorotalia**, **Has-**

**tigerina**, **Pulleniatina**, **Orbulina** y unos pocos más.

3) Los **pterópodos**, diminutos gasterópodos pelágicos con una concha delicada de unos milímetros de largo, arrollada sinistralmente o recta, con forma de probeta, cono largo, vaina de sable, etc. Un barro con un 10 o 25% de estas conchas generalmente se describe como un **barro de pterópodos**, porque sus conchas son muy llamativas por su tamaño más grande entre las de los foraminíferos que constituyen la mayor parte del depósito.

En cuanto a la interpretación paleoecológica de barros de globigerinas fósiles, Kuenen (1950, p. 315) enuncia un principio muy importante; dice que: "la mayoría de los rasgos característicos de los depósitos descritos como de mares profundos se deben a la magnitud de la **distancia** de las costas del sitio en que se acumularon, no a la magnitud de la **profundidad** de éste... Por ejemplo, el barro de globigerinas se puede formar a cualquier profundidad, hasta en la zona nerítica; pero es muy escaso cercano a la costa". Refiriéndose a los sedimentos de los mares de Indonesia, este autor escribe (p. 203) que "la naturaleza pelágica de los depósitos oceánicos se considera, con demasiada ligereza, como indicio de grandes profundidades, y se pasa por alto que es en realidad la gran distancia de la tierra lo que ha producido los rasgos típicos de los barros". Pero también él señala que es posible cometer el error contrario, de subestimar la profundidad. "Los barros que se están formando actualmente en las fosas submarinas de Indonesia en profundidades de 5.000 a 10.000 m. son idénticos a algunos que se hallan a 1.000 m. o menos. Al estado fósil sería fácil clasificar éstos como sedimentos batiales o hasta neríticos (0 - 200 m.) que hubieran

sido depositados a considerable distancia de la costa". (Kuenen, *loc. cit.*, p. 203).

El barro de pterópodos, según Kuenen, se puede formar solamente a considerable distancia de las tierras, lo que se sabe por la distribución actual de los sedimentos. Esto quizás se explica, porque al menos algunos pterópodos viven en la zona **batipelágica**, cuyo límite superior está a 100 - 700 m. por debajo de la superficie y cuyo límite inferior yace de 1.000 a 2.000 m.

Los factores que limitan la formación de estos sedimentos calcáreos del océano abierto son, entre otros:

a) la proximidad de las costas, debido al aporte de sedimentos terrígenos, y b) las profundidades demasiado grandes, más de 4.000 m., donde las conchitas calcáreas que pueden caer desde la superficie o las zonas pelágicas más altas, se disuelven. Cerca de las costas hay fuerzas que tienden a causar la destrucción de los sedimentos calcáreos: la erosión de las olas y la acción destructora de organismos presentes en varios "microambientes". Varias algas verdes microscópicas perforan las calizas; solución activa de ellas se efectúa debajo de masas densas de algas que tapizan partes de arrecifes; ciertas esponjas, p. ej., **Cliona**, perforan conchas de moluscos. Varios tipos de animales, especialmente los holotúridos, que viven en la vecindad de arrecifes, probablemente disuelven material calcáreo al pasarlo por el sistema digestivo, o al menos lo desmenuzan. El ambiente de los manglares produce rápida corrosión de las calizas, aunque el mecanismo está imperfectamente entendido; probablemente el ácido principal es el carbónico producido por la descomposición de material orgánico, más el tánico y quizás ciertos ácidos húmicos. En sedimentos recién enterrados el

CO<sub>2</sub> producido por la acción bacteriana tiende a destruir las conchas; la concentración del material orgánico y la porosidad del sedimento son factores importantes. Si el sedimento es un barro sin material orgánico, conchas limpias enterradas no presentan evidencia de solución después de meses; en contraste, las enterradas con el animal muerto adentro, pueden quedar completamente destruidas. Hecht (1933) demostró que tales conchas perdieron 10 - 24% de su CaCO<sub>3</sub> en uno o dos meses, en un caso, 25% en dos semanas.

**Elementos nutritivos.** Bajo este título los oceanógrafos y ecólogos se refieren a ciertos elementos esenciales en la nutrición del fitoplankton, los que, a diferencia de los elementos e iones mencionados a título de la salinidad, **no siempre** están presentes en las mismas proporciones. Los más importantes de ellos son el fósforo, el nitrógeno y el silicio; este último es esencial para la formación del esqueleto en las diatomeas y también los radiolarios. Los otros elementos necesarios en la nutrición, o están presentes en cantidades relativamente grandes como componentes constantes del agua del mar, o se utilizan en cantidades tan pequeñas que son necesarios análisis delicados para verificar su presencia (los llamados "trace elements").

Cada uno de los tres elementos (P, N y Si) pasa por un ciclo complejo en el mar, que por ser bastante diferente en sus detalles entre los tres, han sido investigados por separado. A grandes rasgos este ciclo puede representarse así:

Fosfatos, nitratos o silicatos → plantas → herbívoros → carnívoros (1 - 2 - 3 - etc),

o sea que, empezando con la forma sencilla del fosfato, etc., el elemento

entra progresivamente en compuestos orgánicos más complejos, pudiendo, en el caso más complejo, pasar sucesivamente por el cuerpo de diversos animales carnívoros antes de ser devuelto al mar por la muerte del último, para empezar la parte regenerativa del ciclo. O puede ser devuelto al fondo en diversas etapas de esta cadena, por la excreción o por la muerte del organismo. El material orgánico soluble, coloidal, o finalmente dividido, luego pasa por la parte regenerativa del ciclo, donde la actividad bacteriana o autóctica reduce los compuestos orgánicos complejos otra vez a fosfatos, nitratos o silicatos. Para los detalles del ciclo en cada caso, véase el trabajo de Barnes en el **Treatise**.

En aguas relativamente someras, mayor o menor parte de esta descomposición bacteriana puede tener lugar en el fondo, pero en aguas más profundas todo el ciclo se verificará dentro del agua.

El ciclo del fósforo y las proporciones del fosfato en diferentes aguas han sido más estudiadas; el ciclo del nitrógeno es más complejo. El ciclo del silicio es el que menos se entiende y presenta algunas anomalías. Este elemento, como se ha mencionado, no es necesario para la nutrición en el sentido estricto, pero sí para la formación de los esqueletos en las diatomeas y los radiolarios. La anomalía estriba en que estas estructuras silíceas, especialmente las frústulas de las diatomeas, parecen ser extremadamente resistentes a la solución bajo condiciones experimentales; además, las delicadas grabaduras de las frústulas se conservan intactas en los ejemplares hallados en los barros de diatomeas en los fondos. Pero, por otra parte, estudios hechos por Cooper (1933, 1952, *vide* Barnes), basados en cálculos sobre la producción anual del plankton, sugie-

ren que el ciclo del silicio es tanto más rápido que el del P o N, que el Si utilizado en una población de diatomeas nacidas en una estación puede ser utilizado varias veces dentro del mismo año.

Cooper sugiere que quizás la insolubilidad de las frústulas bajo condiciones experimentales pueda deberse a una capa protectora de moléculas orgánicas que al saturar las valencias residuales de los tetraedros de SiO<sub>4</sub>, forman una barrera protectora. Esto no se ha podido verificar experimentalmente, pero podría ser cierto. Se presume que al pasar por el sistema digestivo de los abundantes crustáceos planktónicos que se alimentan de diatomeas, las frústulas pierden tal capa y posiblemente también sufren fractura, lo que facilitaría aún más la solución. Tal hipótesis encuentra apoyo en que en estudios del contenido del estómago en **Euphasia superba**, el "krill" de los cazadores de ballenas, pudieron identificarse tan sólo unas especies muy fuertemente silificadas de diatomeas.

Los ciclos indicados tienden a producir el acumulo de los elementos nutritivos en niveles más o menos profundos del mar. La redistribución de los elementos a la zona fótica tiene que efectuarse por movimientos verticales de las aguas del mar. En ciertas regiones del océano abierto, las aguas superficiales fluyen hacia afuera, por lo tanto, el agua profunda tiende a subir a la superficie para compensar el desnivel así producido; tales regiones se llaman en la oceanografía, **regiones de divergencia**.

Además de estas zonas de divergencia, relacionadas con las corrientes oceánicas, se produce intermitentemente en la vecindad de ciertas costas, especialmente las del oeste de los continentes, un fenómeno que se ha llamado en inglés "**upwelling**", o sea, la subida de una masa aprecia-

ble de agua profunda. Este fenómeno se ha observado especialmente en la costa de California, y a veces también en la costa occidental de Suráfrica. Parece que se produce cuando, durante un intervalo prolongado, sopla el viento casi paralelo a la costa pero con un componente hacia el mar, por cuyo motivo la superficie del océano en la vecindad de la costa viene a ser deprimida con referencia al mar abierto. La subida de estas grandes masas de agua fría, rica en elementos nutritivos, produce generalmente una reproducción explosiva o "floreamiento" de las diatomeas, frecuentemente con efectos nocivos sobre los peces de la región.

No podemos intentar resumir aquí los estudios detallados sobre la distribución de los elementos nutritivos en los varios océanos, que se encontrarán reseñados en Barnes (1957); pero daremos algunas conclusiones generales. Dicho autor expresa que hay cierta estratificación en la distribución, a saber:

1) Un estrato superficial en que las concentraciones localmente son bajas, y son relativamente uniformes dentro de la extensión vertical del estrato;

2) Un estrato en que la concentración aumenta rápidamente con la profundidad;

3) Un estrato de máxima concentración, generalmente en alguna parte del intervalo entre 500 y 1.600 m. de profundidad;

4) Un estrato más inferior, dentro del cual hay poca variación en el contenido de fosfato y nitrato con el aumento de la profundidad, pero donde por debajo de 2.000 m., puede haber un aumento considerable de silicato.

La capa (1) es más potente en las latitudes medianas en ambos hemisferios. Hacia el ecuador, en regiones de divergencia, es delgada y el gra-

diente infrayacente es abrupto. En latitudes altas esta capa puede faltar, apareciendo concentraciones altas en la superficie.

En el Océano Atlántico el contenido máximo de fosfato se encuentra en una capa cuya profundidad media yace a aproximadamente 1.000 m., extendiéndose hacia el N. desde el Antártico; debajo de este nivel hay una disminución paulatina del fosfato, desde S. hacia N. En el Océano Pacífico la distribución de fosfato en la región antártica es semejante a la del Atlántico en la misma región, pero el máximo de fosfato se halla al norte del ecuador. Las cantidades de  $PO_4$  en el Océano Indico son intermedias entre las del Pacífico (más rico) y del Atlántico, con un máximo intermedio en latitudes australes correspondiente al del Atlántico, y un máximo en regiones ecuatoriales correspondiente al del Pacífico.

Estas distribuciones de los elementos nutritivos (tipificados por el  $PO_4$  que ha sido el más estudiado) se deben a las diferencias en la circulación de aguas profundas. Un intercambio de aguas profundas a través de la región ecuatorial se efectúa solamente en el Océano Atlántico. El agua que entra al Atlántico septentrional es pobre en fosfato.

En cuanto a la distribución de silicato, la concentración aumenta en proporción directa con la profundidad. En el Atlántico, es mucho menor la cantidad de  $SiO_4$  en latitudes bajas que en el extremo sur, pero en el Océano Indico el contraste no es tan grande. Las aguas del Pacífico norte son extremadamente ricas en silicato, comparables con las aguas antárticas.

El Océano Artico recibe las aguas de muchos ríos que drenan regiones de tundra; hay considerable evidencia de que tales aguas llevan mucha sílice en solución. Desde ese océa-

no la corriente que pasa por el este de Groenlandia puede llevar estas aguas ricas en silicatos al sur de Groenlandia, desde donde empiezan a descender hacia las partes profundas del Norte-Atlántico. Es notable que en estas aguas profundas el contenido de sílice se duplica entre 2.000 y 4.000 metros.

**Elementos raros.** Un número impresionante de elementos están presentes en las aguas del mar en forma de trazas; más interesante aún es la propiedad de diversos organismos marinos de concentrar ciertos elementos raros en sus tejidos. Una reseña ampliamente documentada sobre este tema es la de E. D. Goldberg en el *Treatise* (Capítulo 12). Dicho autor da una tabla de la abundancia de todos los elementos en el agua del mar, aunque señala que puede no ser enteramente representativa, por la escasez de estudios sobre las aguas por debajo de los 1.000 m. Otro defecto en los estudios hasta la fecha, es que pocos investigadores han distinguido si un elemento cualquiera está presente en solución o al estado sólido en partículas más finas.

Diversos autores han estudiado la concentración de algunos elementos por organismos marinos particulares, p. ej., la concentración de **Sr** por algas pardas, y de **Y** por ciertas algas rojas (Spooner, 1949), de **V** por especies de tunicados (Goldberg et al. 1951), de  $Sr^{90}$  por el mejillón *Mytilus edulis*. En algunos casos estudiados, un organismo utiliza un elemento en la forma de partículas sólidas, no de iones, p. ej., la diatomea *Asterionella japonica* utiliza **Fe** en partículas muy finas o en el estado coloidal. Es posible que el **Ti** identificado en cenizas de diatomeas del golfo de Puget en el Pacífico fuese absorbido de la misma manera. **Ti** y **Z** aparecieron en una muestra de agua con abundantes dinoflagelados (Collier, 1953);

aunque el investigador no determinó si los elementos correspondían al agua o a los microorganismos, no pudo identificar los mismos elementos en aguas marinas de otro sitio sin dinoflagelados.

Noddack y Noddack (1939) hicieron estudios espectroscópicos de las cenizas de 9 especies de animales marinos; Goldberg (*loc. cit.*, tabla 2) da una tabla de sus resultados, expresados en forma de un factor de enriquecimiento en el elemento comparado con su abundancia en agua marina normal. Es notable que el vanadio sobrepasa a todos los demás elementos en el factor de enriquecimiento ( $> 280.000$ ); siguen a él, aunque en un orden inferior de magnitud, **Fe** (86.000); **Ni** y **Mn** con 41.000, **Zn** (32.000), **Ag** (22.000), **Co** (21.000) y **Ti** (10.000). De los 21 elementos identificados, el que tiene el factor más bajo es el antimonio.

Se notó que los invertebrados parecen acumular estos metales raros en mayor grado que los vertebrados. Diferencias en el factor de concentración existen no solamente entre familias sino entre especies de un mismo género biológico, p. ej., en las esponjas, una especie de *Dysidea* acumula **Ti**, otra no; 2 especies de *Terpios* acumulan **Ti** solamente, otra acumula **Mn** y **Sn** en adición.

Las algas pardas acumulan **Zn** en cantidad apreciable (con un factor  $> 1.000$ ); ningún otro metal excepto **Ti** tiene una concentración tan elevada en ellas. También acumulan **Sr** por un factor pequeño (10 a 40) pero las otras algas no.

Puesto que el estroncio puede acumularse en conchas, tiene mucho interés paleoecológico. Odum (1951) cultivó moluscos de concha aragonítica en agua con **Sr**, y encontró que la proporción de **Sr/Ca** en las conchas era proporcional a la del agua; por lo que concluye que la razón en

las conchas fósiles no alteradas debe indicar la relación **Sr/Ca** en las aguas de su época. Kulp, Turekian y Boyd (1952) encuentran que la forma cristalina del carbonato cálcico también es importante, porque la estructura cristalina del aragonito acepta los átomos de **Sr** con mayor facilidad que la calcita. La razón **Sr/Ca** es más alta en el agua de mar que en la mayoría de los organismos que forman aragonito. La proporción baja marcadamente cuando ha habido recristalización de la concha. Turekian (1955) señala que la salinidad del agua es también un factor en la relación **Sr/Ca** (véase G. S. A. Bull. 66; ps. 155-158). Lowenstam (1954) notó una reducción, desde 8 átomos de **Sr** por 1.000 de **Ca** en aguas frías, a 7/1.000 en aguas de arrecifes tropicales (fide Revelle y Fairbridge, página 273).

**Partículas de detritus orgánico.** (Véase Fox, D. L., Geol. Soc. Amer., Mem. 67, vol. 1, pp. 383-390). Es importante tener presente que el agua de mar no es simplemente una solución de sales en la cual flotan animales y plantas, sino que, debido a las actividades vitales de estos organismos, contiene una cantidad más o menos grande de material orgánico en partículas cuyo tamaño puede variar desde dimensiones visibles hasta coloidales. Fox, en el trabajo citado, aplica el término propuesto por Fox et al, 1952, de "leptopel", para abarcar el conjunto de sustancias orgánicas e inorgánicas presentes en las aguas naturales, en estado de suspensión. Según esta definición se puede hablar de **leptopel inorgánico** (silicatos, carbonatos insolubles, fosfatos, etc.) u **orgánico** (proteínas, polisacáridos, etc.); las proporciones entre los dos tipos varían grandemente. En las secciones anteriores, los componentes del leptopel inorgá-

nico han sido considerados someramente.

Los colores que vemos en el mar, desde el azul profundo del océano abierto hasta los diversos matices de azul verdoso, verde-azul y hasta rojizo o pardoso en algunas aguas costeras, depende no sólo de la cantidad y tipo del plankton y material terrígeno, sino del leptopel. La concentración del leptopel puede variar desde fracciones de una parte por millón en aguas profundas o pelágicas en el medio del océano, hasta varios miligramos por litro cerca de la superficie en los mares neríticos, pudiendo subir aún más localmente.

Un dato muy importante es que mientras las concentraciones en las propias aguas se miden en partes por millón, la cantidad de material orgánico puede subir por un factor de 10.000 cuando se trata de **superficies** aptas para su absorción, p. ej., la arena de playa, que puede contener 1% de material orgánico; o por un factor de hasta 100.000, tratándose limos o barros, que ofrecen una totalidad de superficie mucho más extensa.

El leptopel orgánico en verdadera solución no excederá la fracción de una parte por millón en la mayor parte de las aguas marinas, siendo, por lo tanto, no aprovechable para los animales marinos y con toda posibilidad utilizado tan sólo lenta e incompletamente por las bacterias, hongos u otras plantas. Pero en el estado de finas partículas, o absorbido por la superficie del barro, puede ser utilizado por muchos organismos micrófagos, que, en la metáfora de Fox, pueden separar un "puré" orgánico de otros componentes inorgánicos, pero no asimilan un "consomé" de verdaderas soluciones.

Entre los organismos marinos micrófagos conviene distinguir tres tipos, a saber:

1) Los organismos como los pelecípodos, tunicados, esponjas, etc., que se alimentan de las partículas suspendidas en el agua, que separan de ella por algún dispositivo filtrante; en el caso de los pelecípodos son las branquias las que hacen este papel. Estos son los "filter-feeders" o "suspension-feeders" de los autores de habla inglesa.

2) Los anélidos marinos poliquetos y los holotúridos, que ingieren los sedimentos del fondo, pasándolos por su trayecto digestivo, rechazando todo excepto la fracción orgánica. Estos son los "mud-feeders", digamos los **limófagos**.

3) Una tercera clase, probablemente mucho menos importante, está representada por los gasterópodos como **Littorina**, tan común en las playas rocosas, que se alimentan de materiales orgánicos adheridos a la superficie de las rocas, que raspan de esa superficie con la ayuda de la **rácula** bucal, una especie de lengüita con dentículos microscópicos que funciona como una lija.

Por supuesto, con cualquiera de estos tipos, el material ingerido puede consistir también de plantas y animales microscópicos del plankton que caen dentro de su alcance.

Fox da algunos cálculos cualitativos sobre el papel de estos animales micrófagos en la bioeconomía marina. Una comunidad de un millón de **Mytilus**, que es la cantidad que se halla en una región limitada de costa rocosa, durante el segundo año de su vida, asimilan el leptopel de por lo menos 22.000.000 de toneladas de agua con un promedio de 5 mg. de leptopel orgánico por litro. De este volumen de agua, los animales pueden filtrar unas 121 **toneladas** de material potencialmente nutritivo; durante el año aumentan su peso total en aproximadamente 4,1 toneladas. Una parte considerable del material

ingerido, sin embargo, pasa por sus cuerpos sin ser digerido, p. ej., hay muchos dinoflagelados que no son digeridos debido a sus envolturas celulósicas resistentes.

Como ejemplo de los limófagos, el gusano poliqueto **Thoracophila mucronata** de la costa occidental de los Estados Unidos, sirve como ejemplo. Estos gusanos viven en la arena húmeda a lo largo de la costa, en una zona de unos 3 m. de ancho y que se extiende a lo largo de aquélla por distancias limitadas solamente por los cambios a playas rocosas. Se calcula que una capa de arena de tal anchura (10 pies) por 500 millas de largo y 1 pie de espesor vertical, contenga  $2,64 \times 10^7$  pies cúbicos de arena húmeda o  $1,41 \times 10^6$  toneladas al estado seco. La población promedial de poliquetos es de 3.000 por pie cúbico, o sea del orden de  $8 \times 10^{10}$  gusanos con un peso total de 3.500 toneladas, en la zona bajo consideración. Cada gusano es capaz de pasar por su cuerpo en el transcurso del año una cantidad de arena húmeda 2.100 veces su propio peso, o sea que en total,  $7,3 \times 10^6$  toneladas de arena pasarán por los sistemas digestivos de los animales. De los  $7 \times 10^4$  toneladas de material orgánico presente en la arena, más de 700 toneladas corresponderán a la producción de tejido orgánico.

Los caracoles litorales del género **Littorina**, al raspar las superficies rocosas en busca de alimento, juegan un papel importante en la destrucción de las rocas que afloran en las costas, principalmente las limolitas. Se ha calculado que una población de 100 individuos de **Littorina planaxis** (cuya longitud promedial de la concha es sólo 8 mm.) son capaces de excavar un volumen de limolita igual al de un litro de agua en 11,5 años (North; 1953). El efecto de la erosión por estos animales es muy aprecia-

ble en partes de la costa de California donde afloran tales rocas, puesto que el desgaste no es uniforme sino que forma numerosísimas pequeñas depresiones en la roca. La erosión por año en una milla cuadrada cuya población de *Littorina* se calcula en  $8,6 \times 10^8$  individuos, es, aproximadamente, de 2.200 toneladas.

Con referencia al material orgánico detrítico, conviene considerar la relación entre éste y los organismos de las grandes profundidades oceánicas. La idea expresada frecuentemente de que éstos se alimentan por una "lluvia" constante de cadáveres de organismos planktónicos, se considera hoy en día como demasiado simplista; durante su largo descenso al fondo, tal material pasará por los cuerpos de animales micrófagos en las profundidades intermedias, quizás varias veces; las únicas excepciones considera Bruun (1957) que serían cuerpos demasiado grandes para ser atacados, como los cadáveres de ballenas, tiburones o peces muy grandes. Se supone ahora que la fuente principal de alimento de los animales en las grandes profundidades, la constituyen las **bacterias** (ZoBell, 1954; Fage, 1955; Ekman, 1955). Los organismos limófagos, como los holotúridos, podrían utilizar directamente el detritus orgánico. Según ZoBell las bacterias convierten, aproximadamente, el 60-70% del carbón orgánico en  $CO_2$ , pero el 30-40% restante lo convierten al protoplasma de sus propias células. Muchos animales ingieren y digieren bacterias, y algunos pueden sostenerse por tiempo indefinido con tal dieta exclusivamente.

Bruun refuta también el concepto general de que el surtido de detritus orgánico tenga una relación directa inversa con la profundidad, o sea, que a mayor profundidad, menos alimento. Este sería el caso, afirma, solamente si la "cadena de alimenta-

ción", es decir, de las diversas especies carnívoras que se alimentan respectivamente de los animales del eslabón antecedente, fuese más larga, a 6.000 m. de profundidad que a 2.000. Pero probablemente debajo de la zona batipelágica, la población es tan escasa que hay muy poca competencia por el detritus. Hasta la descomposición bacteriana probablemente se inhibe, debido a que la presión está aumentando constantemente al paso que los restos se hunden, normalizándose solamente cuando éstos llegan al fondo.

Es notable que hasta en las fosas oceánicas más profundas, por debajo de 6.000 m. en la llamada zona batimétrica **hadal**, hay evidentemente una cantidad de material orgánico suficiente para sostener una fauna que si bien abarca pocas especies, posiblemente sea bastante numerosa en ejemplares. Bruun informa que 3.000 ejemplares de una especie de holotúrido fueron cogidos en un solo dragado de la fosa de Sunda, aunque admite que esta cantidad corresponde a varias horas de pesca y que posiblemente la cantidad por unidad areal no sea tan grande. Pero un dragado de 9.000 m. de profundidad sacó **5.700** ejemplares repartidos entre 17 - 18 especies. Fotografías submarinas a diversas profundidades están revelando a cada rato que las poblaciones bentónicas en las zonas profundas son más ricas y variadas de lo que se hubiera sospechado por los dragados. Es evidente, pues, que así como el surtido de oxígeno y la presión no representan factores limitantes para los moradores de los abismos, el surtido de material orgánico aprovechable para su alimentación tampoco será un factor limitante significativo.

#### La circulación oceánica

Las grandes corrientes oceánicas,

desde luego que son muy importantes en la vida del mar en numerosos aspectos. Sus efectos sobre el clima y la temperatura de las aguas costeras, se notan en la distribución de las especies de las aguas costeras, como se verá más adelante en la sección sobre las provincias faunales. Las corrientes juegan un papel importante en la repartición geográfica de las especies, porque transportan las formas larvales planktónicas de los organismos sésiles. Por supuesto, a veces el efecto es contraproducente, es decir las corrientes pueden llevar el plankton a una región donde no puede sobrevivir.

Un análisis de las causas de las corrientes oceánicas, así como una descripción detallada de éstas, queda fuera del alcance de estas líneas, pero se pueden consultar en los manuales de oceanografía. Kuenen

(1950, pp. 28-56) tiene una buena discusión del tema, que incluye un mapamundi con la representación de las corrientes. Una versión simplificada, quizás más satisfactoria, se encuentra en Clarke (véase nuestra Figura 10).

Estas corrientes, debido a su importancia para la navegación, han sido muy estudiadas, pero no se conocen tan bien las corrientes **verticales** del océano, que son quizás de aún mayor importancia en la ecología, por sus efectos en la redistribución de sustancias tan esenciales como el oxígeno, el fósforo, etc. En varios de los capítulos del **Treatise** se alude a estas corrientes, pero la discusión más clara que hemos encontrado es la de Kuenen. La figura 11 acompañante, tomada de dicho autor, representa la circulación en el Océano Atlántico, en una sección

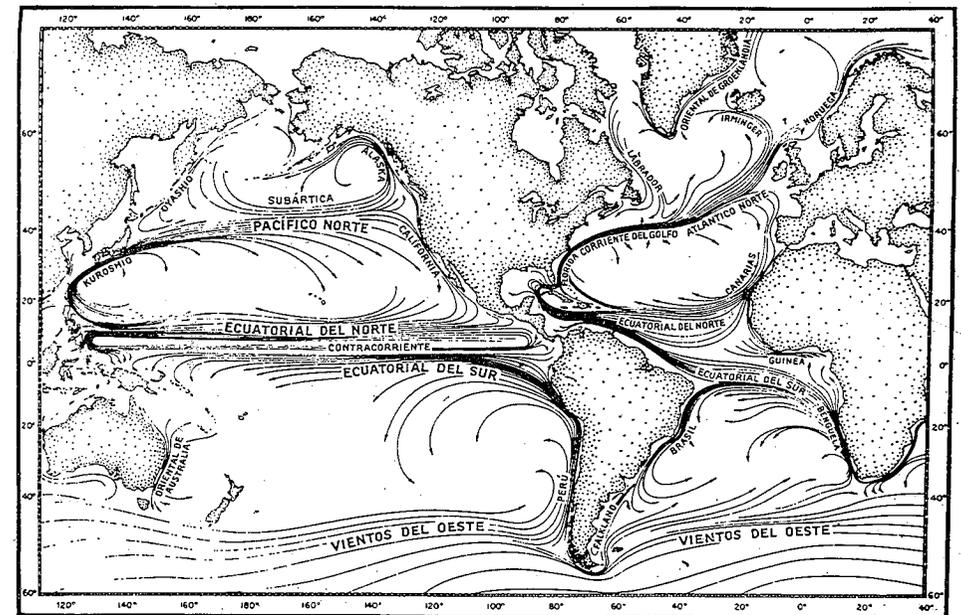


Fig. 10. Principales corrientes oceánicas. (Según Clarke). La mayor proximidad de las líneas indica mayor fuerza de la corriente.

desde Sur a Norte. La enorme exageración vertical de, aproximadamente, 100:1, que produce tanta distorsión de la topografía del fondo, es necesario para poder reproducir en una misma figura las variaciones verticales y horizontales de temperatura y/o salinidad, muy paulatinas en el sentido horizontal, pero en el vertical, muy grandes sobre cortas distancias. En el Océano Pacífico, los gradientes verticales son, aproximadamente, 6.000 veces mayores que los horizontales. Se comprenderá también que las elevaciones del fondo que figuran en el corte, no interfieren con la circulación de las aguas profundas, ya que éstas se desvían por alrededor de aquéllas (véase también la próxima figura).

En esta sección del Atlántico, la corriente más llamativa es la marcada "D" (por "deep", inglés, = profundo) que viene desde la zona ártica. El enfriamiento excesivo de las aguas en el otoño e invierno produce un aumento en la densidad, ya de suyo bastante elevada; estas aguas

frías se hunden en la vecindad de Groenlandia, para formar una corriente profunda que se puede seguir hacia el sur, hasta 60° lat. S, donde finalmente pierde su identidad. Las aguas invernales del Antártico, en esa región, son más densas y frías, y se hunden por debajo de la "corriente profunda" D, formando una corriente que avanza por los fondos hacia el norte, corriente B (por "bottom") de la figura.

Esta agua fría antártica se introduce en todas las cuencas oceánicas, siguiendo las grandes profundidades, según se indica en la Fig. 11 (tomada de la Fig. 14 de Kuenen). Puesto que su densidad la obliga a quedar a tan gran profundidad, estas aguas tienen que seguir unas rutas muy largas e indirectas para doblar, p. ej., la elevación submarina que divide el océano Atlántico en dos. La velocidad de estas corrientes profundas no se sabe a ciencia cierta, pero se estima que pasan varias decenas de años en el desplazamiento desde el Antártico hasta el ecuador. Wüst estimó la ve-

locidad de esta corriente del fondo, en el Pacífico; en 2 - 3 cm./sec., o sea, 1,7 a 2,6 km. por día.

En un nivel menos profundo en el Océano Atlántico, por encima de 1.000 m. de profundidad, se ha identificado una corriente intermedia (I de la Figura 10), que se origina en la región llamada de la convergencia antártica, entre lat. 50° y 60° S. (Se llaman **zonas de convergencia** o de **divergencia**, respectivamente, regiones

donde las corrientes de la superficie tienden a converger o a diverger). Esta corriente intermedia tiene una velocidad entre 5 y 10 cm. por segundo, y se puede identificar hasta unos 30° al N. del ecuador. Una corriente semejante que se origina en la vecindad de Groenlandia y fluye hacia el Sur, es mucho menos claramente distinguida. También hay corrientes menos profundas no indicadas en la sección; aproximadamente, a 30° lat.

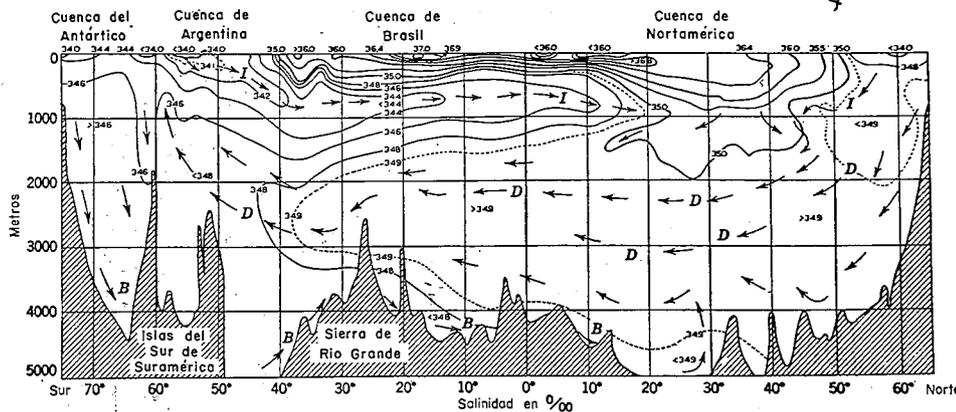


Fig. 11. La circulación vertical de las aguas en el Océano Atlántico; una sección norte-sur, con la escala vertical exagerada aproximadamente 100:1 en comparación con la horizontal. (Según Kuenen, 1950).



Fig. 12. La circulación de las aguas frías antárticas en los abismos oceánicos. (Según Kuenen, 1950).

N. y S., hay corrientes descendientes que fluyen hacia el ecuador, donde suben lentamente formando una zona de temperatura reducida.

Naturalmente, tiene que haber movimientos ascendentes para compensar estas corrientes descendientes, pero éstos son menos claramente definidos, porque se produce mucha mezcla con las aguas de las capas superiores.

El Océano Indico está completamente aislado de la influencia directa de las corrientes frías profundas del Artico, y el Pacífico casi lo está, de modo que las corrientes profundas de estos océanos se deben a las aguas antárticas. Sverdrup et al. (1942) han tratado esta circulación en detalle. Kuenen (1950) reproduce en

su Fig. 15, un esquema de la circulación profunda alrededor de las tierras antárticas (Fig. 12). Barnes (1957, Fig. 16 y pp. 324-325) también trata la circulación en esta región. Lo más notable de esta circulación es la subida de aguas profundas a la superficie, las que traen materiales nutrientes, por cuyo motivo el fitoplankton de esas aguas es excepcionalmente rico. Esto se refleja en los sedimentos pelágicos por la extensa zona de barro de diatomeas.

Kuenen (pág. 42 y siguientes) ha tratado también en considerable detalle el tema de la circulación vertical de las aguas en mares o cuencas más o menos aisladas. Los caracteres de las cuencas estancadas o casi estancadas, se han discutido en relación

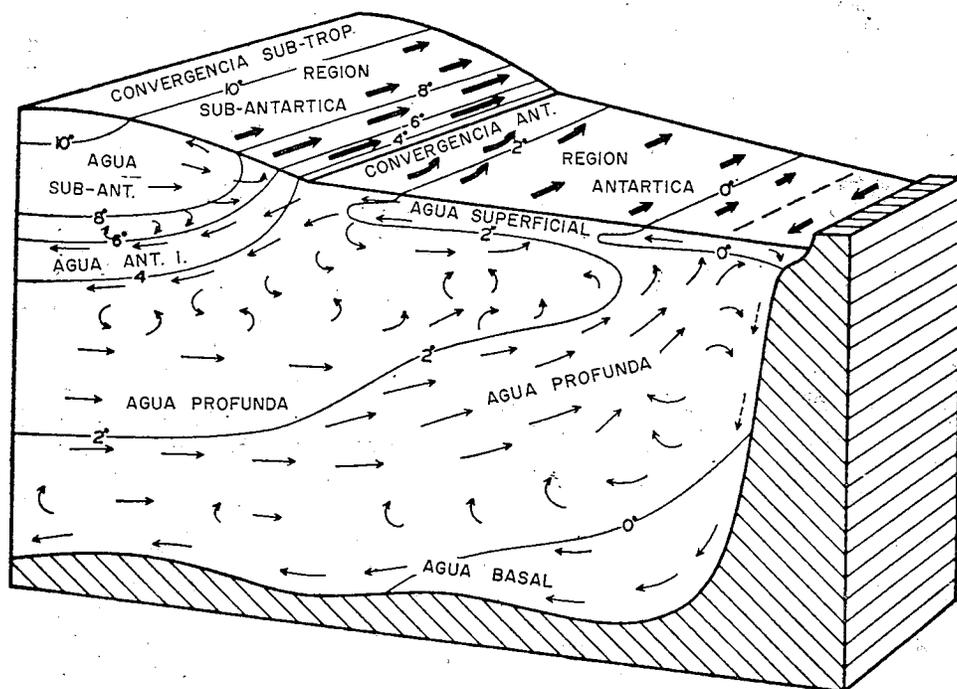


Fig. 13. Esquema de las corrientes y masas de agua de diferentes temperaturas, alrededor de Antártica. (Según Kuenen, 1950).

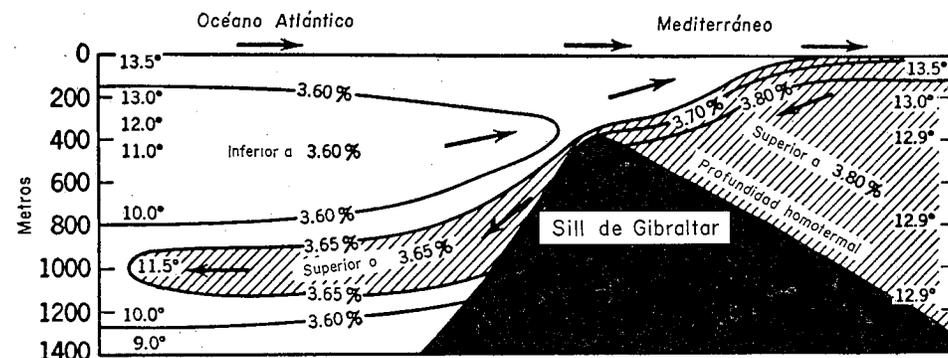


Fig. 14. La circulación de las aguas entre el Mediterráneo y el Océano Atlántico. (Según Kuenen, 1950).

con la oxigenación; pero en esta sección citada, Kuenen trata el tema de la circulación en cuencas que sí tienen una circulación constante, o sea, intercambio de su agua con el océano. El Mar Mediterráneo (Fig. 14) es un caso muy conocido de una cuenca con un umbral o "sill" lo suficientemente elevado para modificar los caracteres del agua de la cuenca, pero no tan alta como para impedir la circulación. En este mar, el exceso de evaporación sobre el aporte de agua dulce por los ríos produce un déficit de casi 3.000 kilómetros cuadrados por año, o en otros términos, la superficie yace a un nivel entre 10 y 30 cm. más bajo que el Océano Atlántico. El agua del Mediterráneo, aunque relativamente cálida (13°C) es densa por su salinidad elevada (38%) y se hunde, de modo que toda la cuenca, materialmente, está llena de agua homogénea de dicha temperatura y salinidad. Por el estrecho de Gibraltar entra una corriente con una velocidad de 4 km./hora, pero en un nivel más profundo, a unos 300 m., fluye en el sentido contrario una corriente de agua que es considerablemente más densa que la del mismo nivel en el Atlántico, a pesar de tener una temperatura más elevada. A pesar de cierta mezcla con la corrien-

te entrante en el estrecho que reduce su salinidad de 38% a 37% y su temperatura de 13 a 11°C, esta masa de agua densa del Mediterráneo tiene que bajar por el declive exterior del umbral de Gibraltar, hasta un nivel alrededor de 1.000 m. de profundidad, hasta encontrar agua de su misma densidad. En este nivel, pues, se extiende hacia el Norte, Oeste y Sur, formando una capa que se puede identificar por la combinación de temperatura alta y salinidad alta.

En el mar Negro, al contrario del Mediterráneo, la salinidad es subnormal, debido a que la precipitación pluvial y el aporte de los ríos son elevados y la evaporación baja; por lo tanto, el agua más pesada fluye por el fondo de los Dardanelos —el Mar de Mármara— el Bósforo, desde el Mar Egeo al Mar Negro, y el agua más liviana de éste fluye hacia el Egeo por la superficie (véase A. Hoimes, **Geología Física**, Fig. 174). El intercambio de aguas con el Mar Negro, sin embargo, es relativamente insignificante para el Mediterráneo, en comparación con el intercambio con el Atlántico (véase Kuenen, tabla 4, pp. 44, para las cifras).

Kuenen ha discutido en detalle las corrientes profundas de la región de Indonesia, donde los mares entre las

istas llegan a profundidades sorprendentes, pero los umbrales en general son elevados, aunque, a excepción del mar de Zulú, entre Borneo y Mindanao, todos tienen al menos un umbral a más de 1.000 m. de profundidad. En todos estos mares, la entrada más profunda admite la capa de agua de mayor densidad; por lo tanto, esta agua de la máxima densidad posible, entra por encima del umbral, y llena la cuenca con agua de una misma densidad y también de una misma temperatura, de ahí que se hable de profundidades **homotermales** (véase Kuenen, Fig. 25).

**Mareas.** Los efectos ecológicos de las mareas se tratan en la sección sobre la zonación de la región litoral, especialmente de las costas rocosas.

#### La clasificación de los ambientes marinos

Habiendo visto ya de manera muy somera los principales factores inorgánicos que se han de considerar en la ecología marina, nos daremos cuenta de la necesidad de establecer algún esquema de referencia, alguna **zonación** del medio ambiente marino en un número conveniente de tipos más restringidos. El padre de la ecología marina en Gran Bretaña, a mediados del siglo pasado, Eduardo Forbes, relacionó sus investigaciones de los organismos marinos con zonas **batimétricas**, y desde entonces, numerosos adeptos de la ecología marina, la oceanografía, la paleontología, etc., han intentado esquemas de zonación. La Comisión encargada de la preparación del **Treatise** se esforzó por preparar un esquema definitivo, y dio a conocer dos versiones preliminares antes de llegar a la versión que aparece en el segundo capítulo del primer tomo (el de Ecología) y el sexto del tomo de Paleocología, y cuya presentación le correspondió al

biólogo J. W. Hedgpeth (Fig. 15). Lamentablemente, dicho autor se dirige en su exposición a los especialistas ya muy conocedores de los antecedentes históricos y omite exponer los motivos que gobernaron la delimitación de algunas de las zonas, especialmente las de aguas más profundas. Como se observa en la Fig. 2 de Hedgpeth (1957a), los límites de las varias zonas batimétricas así como también los nombres aplicados a ellas, discrepan notablemente entre diferentes autores, p. ej., el esquema de Sverdrup, adoptado por Clarke-Fusté, que reproducimos aquí (Figura 16) es notablemente diferente del esquema del Tratado. H. B. Moore (1958) pasa por encima el tema de la zonación y describe los ambientes (o **habitats**): abismal, pelágico de profundidad media, oceánica superior, etc., sin una definición previa de lo que se entiende, p. ej., por "abismal" (o **abisal** como preferimos escribirla), una palabra que ha sido interpretada en sentidos tan diversos por varios autores, que podría referir a niveles batimétricos de 3.800 m. de diferencia. Ph. H. Kuenen (1950), en su tratado de la geología marina, es uno de los pocos autores que ha dado una reseña fácilmente asequible de varios esquemas (pp. 312-362).

Kuenen abarca la clasificación de los ambientes marinos desde el punto de vista de la **sedimentación** marina; pero no existe ninguna contradicción entre tal clasificación y una hecha por un ecólogo, más bien las dos vienen a ser complementarias, y es conveniente incorporar ambos puntos de vista en la zonación, para que ésta sea aprovechable por el paleoecólogo, quien encuentra los restos de los organismos y los sedimentos del fondo unidos en un solo complejo que tiene que interpretar.

Puesto que una reseña de siquiera algunas de las clasificaciones pro-

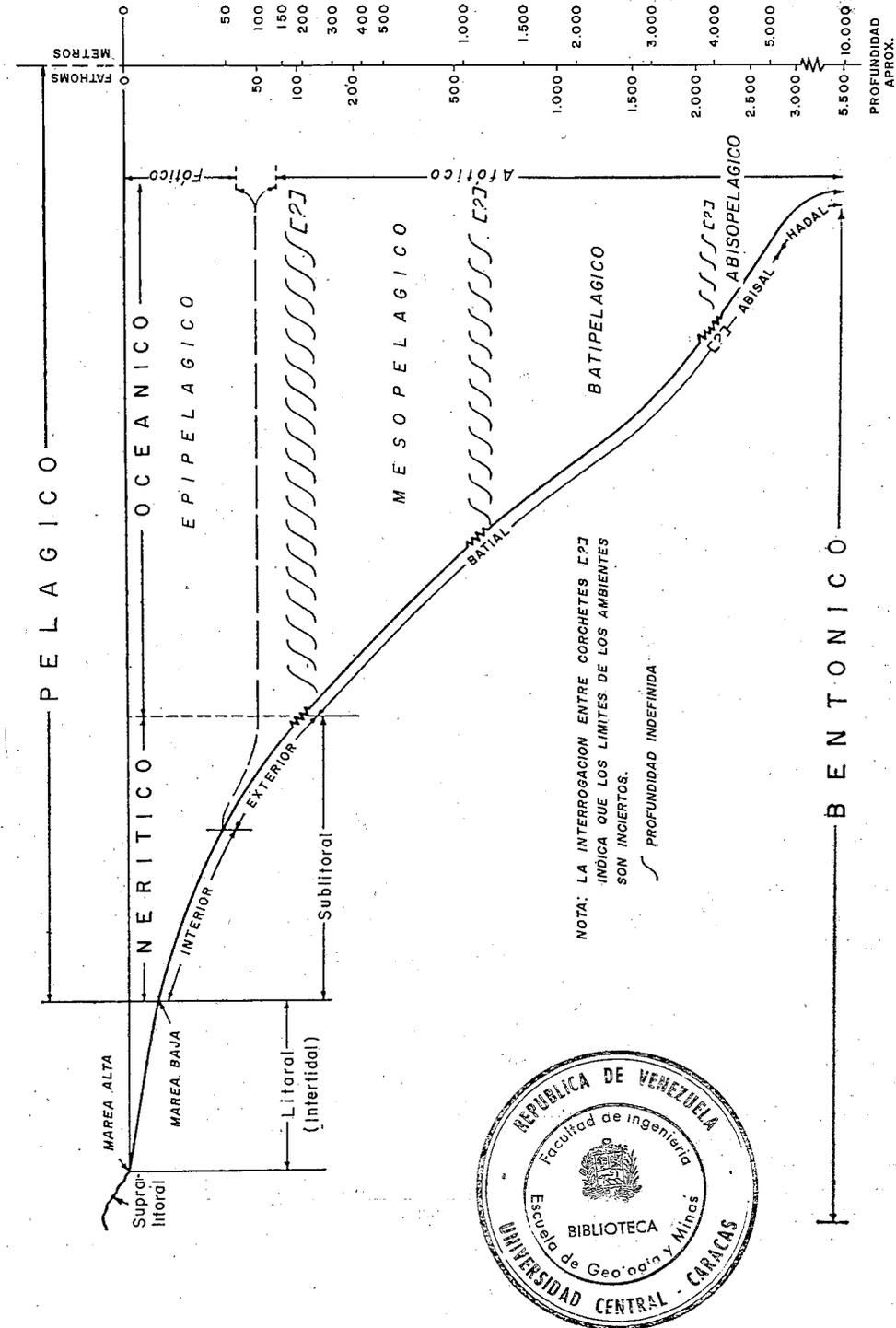


Fig. 15. La clasificación batimétrica de los ambientes marinos adoptada en el "Treatise on Marine Ecology". (Geol. Soc. Amer., Mem. 67).



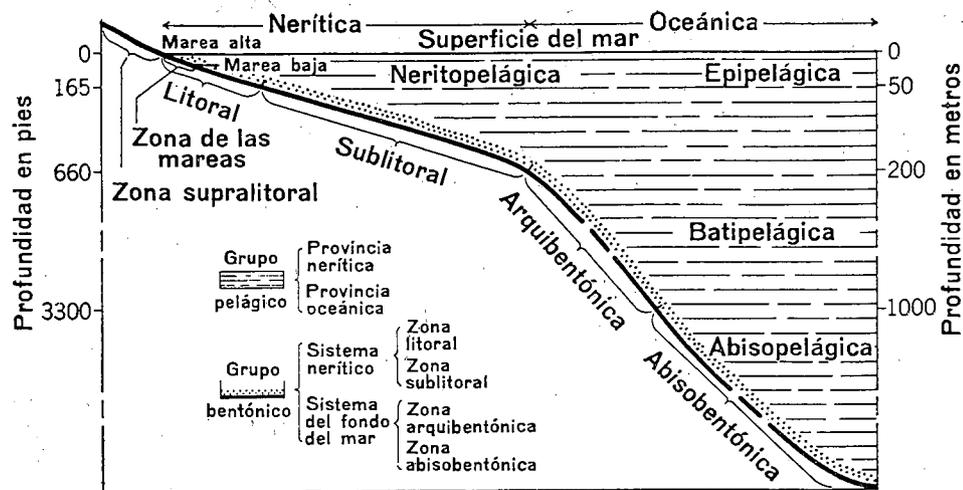


Fig. 16. Otro esquema de zonación del ambiente marino; la clasificación de Clarke, modificada de la de Sverdrup, 1942. (Según Clarke, "Elementos de Ecología").

puestas sería imposible dentro de los límites de este artículo, vamos a utilizar el esquema de Hedgpeth como base de unas aclaratorias sobre las definiciones de las zonas y de ciertas discrepancias que podrían propender a la confusión en la mente de los que quieren hacer lectura de investigaciones originales.

El ambiente de las costas entre las mareas, ha sido generalmente distinguido por los ecólogos como una zona especial, debido a los fuertes cambios diurnos de iluminación, temperatura y, sobre todo, entre la inundación y la emersión. Esta zona ha recibido nombres como "litoral" o en inglés: "intertidal" o "intercotidal". En el esquema del *Treatise* se ha denominado, **litoral**. Hay que notar que algunos autores han interpretado esta palabra en un sentido más amplio, como, por ejemplo, en el esquema de Clarke, que a su vez es una modificación del de Sverdrup *et al* (1942). Grabau (1923) aplicó el término litoral a toda la región desde la marea alta hasta el extremo de la platafor-

ma continental. Quizás hubiera sido preferible utilizar la palabra en inglés "intertidal", pero no se presta para una traducción al español. La extensión de la zona "litoral" a la parte superior de la plataforma continental (como en la figura de Clarke), tiene muchos argumentos en su favor, y quizás convendría más a los sedimentólogos, quienes encuentran que con frecuencia es imposible distinguir dónde estaba la línea de playa en un tiempo geológico determinado, por el estudio de los sedimentos y prefieren hablar de ambientes "mixtos" entre terrestre y marino, en la sedimentación (compárese Krumbain & Sloss, Tab. 12-6). No obstante, con tal que se reconozca que la delimitación de este ambiente litoral no es tajante, parece conveniente conservar la zona entre las mareas como una entidad particular. Para su descripción detallada habrá que buscar una subdivisión más refinada. H. B. Moore, por ejemplo, considera las subdivisiones siguientes: 1) las costas rocosas; 2) las de roca fragmen-

tada, que pueden variar desde playas de arena con peñones sueltos, hasta las de guijarros; 3) las playas de arena; 4) las costas de barro. En el *Treatise* hay capítulos individuales sobre tres de estos tipos 1), 3) y 4) y Moore mismo admite que su segundo tipo es poco importante, porque en esencia es una combinación de 1) y 3).

**Los fondos marinos de las plataformas continentales: zona sublitoral.**

El extremo externo de las plataformas continentales, en todos los esquemas de clasificación, ha sido considerado como una divisoria muy importante, desde los albores de la ecología. Esta coincide de manera aproximada con la isóbata de 100 brazas ("fathoms") en las cartas hidrográficas de los países de habla inglesa. Murray y Renard (1891) consideraron esta cota submarina la más significativa de todas, por coincidir aproximadamente con: 1) el límite de la plataforma; 2) el límite inferior de la penetración efectiva de la luz, bajo condiciones favorables, y 3) el límite para el asentamiento del material terrígeno más fino. Por este último, los autores ingleses a veces mencionan esta isóbata de 100 brazas como "Murray's mud-line" (Davies, 1934).

Aunque la penetración de la luz llega a 200 metros tan sólo bajo condiciones excepcionalmente favorables, y se sabe que barros de origen terrestre llegan a mayor profundidad, el límite de las plataformas continentales sí parece ser una cota natural y conveniente para marcar el límite entre las aguas marinas costeras y las del océano abierto. Haeckel, en el siglo pasado, aplicó el término de **nerítica** a las aguas sobre la plataforma, en distinción a las propiamente "oceánicas" afuera. En años recientes, los paleontólogos, y especialmente los micropaleontólogos, han aplicado el término a los fondos debajo de las aguas "neríticas". Inclusive,

en la versión preliminar de la zonación circulada en copia mimeografiada entre los interesados en la preparación del *Treatise*, se sugirió extender el término "nerítico" para incluir la zona entre las mareas, que se llamaría "nerítica superior". Naturalmente, surgieron críticas de este esquema, y Hedgpeth (1957) hace hincapié en que el término **nerítico** debe conservarse para las aguas y su biota (plankton y nécton).

Para los fondos y sus organismos bentónicos, pues, la comisión redactora del *Treatise* adoptaron por fin la denominación **sublitoral** para denominar toda la región desde bajamar hasta, aproximadamente, la isóbata de 200 metros (100 brazas). Una ojeada a la Fig. 2 de Hedgpeth y a la figura de Clarke, demostrará que tal denominación no es enteramente feliz, ya que ha sido restringida por Sverdrup y otros varios autores a la parte más profunda de la plataforma.

Los ecólogos, en especial, han buscado una subdivisión más refinada de esta zona de la plataforma. Forbes (en Forbes y Hanley, 1853) propuso una zonación que ha sido muy citada (p. ej., por Davies, 1934), distinguiendo:

a) Una "zona laminaria", definida por el límite inferior de crecimiento del alga parda **Laminaria**, que en la zona templada es, aproximadamente, 15 brazas o sea 27 metros;

b) Una "zona coralina"; cuyo límite inferior se define por el límite inferior de crecimiento de las algas rojas llamadas **coralinas** (no tienen nada que ver con los corales) a, aproximadamente, 50 brazas (90 m.).

c) Por debajo de la anterior, ya "zona de los corales solitarios", con su límite inferior, aproximadamente, a 100 brazas.

Davies (1934, Fig. 1) señala que la distribución de las "comunidades"

de moluscos estudiadas por Petersen en las aguas danesas, definen zonas batimétricas someras para esa región, pero naturalmente no son de valor mundial. Otros autores han notado que las zonas de Forbes tampoco son de valor universal, porque los organismos utilizados no se hallan en todas las latitudes ni en todas las costas. No obstante, esta subdivisión del ambiente de la plataforma continental en dos o tres zonas, ha sido apoyada modernamente por Sverdrup *et al* (1942) en su tratado de oceanografía, y por Clarke (1958, p. 47). Kuenen, sin cita de autores, alude a este esquema (p. 315) como "una que asigna mayor importancia al fondo, que a las aguas que lo cubren". En la figura de Clarke, se notará que la zona entre las mareas no se separa como una zona distinta, pero que en contraste, los fondos marinos sobre la plataforma se dividen en una zona "litoral", definida como "la parte superior de la zona bentónica nerítica" y una zona "sublitoral" que corresponde a la parte más profunda de la plataforma. La zona "litoral" tiene su límite inferior "en las proximidades de los 40 a los 60 metros". Clarke no entra en detalles sobre la subdivisión, aunque alude a la "fuerte acción del oleaje y de las corrientes" en la zona superior, así como también a que recibe luz suficiente para el desarrollo de los vegetales.

En la tabla de Clarke, se encuentran algunos términos no bien aclarados, como los de "grupo" bentónico. Sin tener el tratado de Sverdrup y otros a la mano, no podemos averiguar si aquéllos usaron tal frase de "grupo"; presumimos que se refiere al conjunto de los organismos. Se observa que hay cierta confusión en esta tabla; porque el adjetivo "nerítico", que conviene restringirlo a las aguas, se aplica a la vez a éstas ("grupo pelágico, provincia nerítica")

como a los **fondos**, para los que ya se definen una zona "litoral" y "sublitoral" sobre la plataforma; entonces, ¿por qué los organismos del "grupo bentónico" se habrían de llamar un "sistema nerítico"? También debe ser evidente que, si "nerítica" se aplica a las aguas y su biota, el término de "neritopelágica" es superfluo.

En el esquema de Hedgpeth, se indica en la figura el adjetivo "**pelágico**" como aplicable a todas las **aguas** (en contraposición a los fondos). Esta palabra es una que nosotros personalmente quisiéramos ver suprimida, porque se ha prestado a confusiones, y sin lugar a dudas, las creará en el futuro mientras se siga usando. La misma explicación de Hedgpeth deja entrever la ambigüedad, cuando escribe que el término

"...pelágico - perteneciente al ambiente habitado por el plankton y el nécton, con frecuencia considerado como sinónimo del "alto mar" (o sea, **oceánico**), y en varios términos compuestos, - se entiende universalmente".

Como puede observarse, **no** son idénticas las interpretaciones de la palabra. El sentido puede ser: a) referente a las **aguas** de los océanos en contraposición a los **fondos**; o b) como sinónimo de las aguas "oceánicas" o sea, de esa parte de los océanos **fuera** de las plataformas, en cuya acepción sería el antónimo de "nerítico". Por más que varios autores, incluso los del **Tratado**, se empeñan en imponer la definición anterior, y distinguen una zona "neritopelágica" de una "oceanopelágica" (o "epipelágica"), el concepto de alguna relación entre **pelágico** y el océano abierto, de ahí de gran **profundidad**, queda muy enclavado en la literatura. Esto se nota especialmente en el valioso tratado de Kuenen, quien usa consistentemente el término con la implicación de **distancia**

**de las costas**. Dicho autor establece, con mucho acierto, que en la interpretación paleoecológica de sedimentos o de faunas marinas, con mucha frecuencia se ha atribuido a la **profundidad** en que se formaron, aspectos que en realidad dependen de la **distancia de la costa**. Para los fines de la sedimentología y de la geología marina, él distinguiría los ambientes siguientes: (pp. 316-317; hemos cambiado su orden para empezar con los de aguas más someras):

1) El ambiente de las costas o ambiente litoral ("littoral or beach environment"), la zona entre bajamar y el límite más alto alcanzado por las olas de las tempestades;

2) El ambiente de la plataforma continental ("shelf");

3) El ambiente **hemipelágico**, donde se acumulan los sedimentos terrígenos más finos (aproximadamente equivalente a la zona batial, a ser definida más adelante);

4) El ambiente **pelágico-abisal**, sin influencia terrígena en la sedimentación.

Esta clasificación, señala Kuenen, que por lo general es paralela a una clasificación batimétrica, debido al declive muy gradual de los fondos oceánicos, de modo que las zonas batimétricas más profundas yacen a gran distancia de las costas; pero que hay excepciones, como en partes de Indonesia (y podríamos agregar, de nuestras Antillas) donde hay grandes abismos a poca distancia de las costas, y donde sedimentos "hemipelágicos", normalmente hallados en profundidades muy inferiores, yacen a 7.000 metros. **Vice versa**, expresa que en zonas remotas de las tierras, hay sitios a relativamente poca profundidad (digamos, como la loma submarina del Atlántico central) que están recibiendo sedimentos "pelágicos".

Otro ejemplo de la ambigüedad del término "pelágico" se encuentra

en un autor de tanto prestigio como el paleontólogo inglés A. M. Davies, en su tratado de las faunas terciarias. Dicho autor define la fauna pelágica como constituida por el nécton y plankton, éstos a su vez definidos como formados de los animales y plantas que flotan en o cerca de la superficie del mar (una definición a la que hay que hacer ciertos reparos). Luego, al indicar los aspectos generales de la "fauna pelágica" (p. 24), Davies considera que el cefalópodo dibranquiado **Spirula** "no es pelágico en el sentido estricto, porque vive a considerable profundidad debajo de la superficie". Aquí tenemos un caso de cierta confusión entre **pelágico** y **planktónico** (y sobre todo, el plankton de las aguas superficiales) que ha inducido a Hedberg a sugerir la eliminación del término "pelágico" con referencia a los foraminíferos. No hay ambigüedad si se describen determinadas familias de éstos como "planktónicas", pero sí la hay si se emplea la palabra "pelágica".

Con la restricción propuesta por Hedgpeth, de llamar "neríticas" las aguas sobre la plataforma, en contraposición a una zona "sublitoral" de los fondos, una palabra como "neritopelágica" está de más.

También hay cierta falta de constancia en el uso de "pelágico" como indicado por Hedgpeth, porque si por una parte se indica como correspondiendo a todas las aguas, por otra parte, en combinación con varios **prefijos** (epi-, meso-, bati- y abiso-) se emplea para denominar zonas completamente **fuera** de las plataformas.

En resumidas cuentas, nos parece conveniente evitar en lo posible el uso de "pelágico", para evitar caer en ambigüedades como las arriba señaladas, y al consultar cualquier trabajo que utiliza el término, poner mucha atención en la aceptación que le

dé el autor particular. Se puede sustituir por mención del plankton y/o nécton o hablar de organismos que viven entre dos aguas. Hubiera sido conveniente, a nuestro parecer, redefinir la palabra en el *Treatise* como antónimo de "nerítico", en sustitución del término ambiguo de "oceánico" para las aguas fuera de las plataformas; pero ya es tarde para pensar en una redefinición.

**Zona batial.** Los paleontólogos, al menos los norteamericanos de la generación que estudió con los textos de Twenhofel o de Moore, están familiarizados con el término **batial** para describir los fondos oceánicos por debajo de los 200 metros, hasta un límite inferior nunca muy satisfactoriamente definido, pero considerado como separando fondos de profundidad intermedia de las grandes profundidades o zona "abisal" (o abismal, de los abismos). Con frecuencia se define esta región batial como la región del **talud continental**. Kuenen la describe, en términos de la sedimentología, como abarcando los fondos entre 200 y 1.000 metros, cuya distancia de la costa normalmente se mide en unas decenas hasta unos pocos centenares de kilómetros, y cuyo sedimento más típico es el **barro azul** y algunos otros barros afilados menos importantes. Este barro azul consiste de material terrígeno fino con cierta proporción de foraminíferos planktónicos, pero la proporción de  $\text{CaCO}_3$  no debe pasar de 35%. El color es gris plomo a oscuro cuando húmedo. (Kuenen, p. 338). Otros tipos de barros hallados en esta zona son barros coralinos, derivados de erosión de los arrecifes; barros de ceniza volcánica, etc.

Los organismos que han sido citados de la "zona batial", son principalmente foraminíferos bentónicos; los ecólogos, por lo general, no nos proporcionan una idea clara de la na-

turalidad de los habitantes ni de criterios para separar tal zona de los fondos más profundos. Hedgpeth, por ejemplo, se limita al comentario siguiente:

(Los términos) "arquibentónico, arquibentónico, talud continental, batial, o arquibatial, se han aplicado con frecuencia al ambiente del talud continental hasta la profundidad de unos 1.000 a 2.000 metros, pero su uso casi no ha trascendido fuera de los diagramas en los libros de texto. Sospechamos que existe alguna diferencia entre el ambiente de los fondos de profundidad intermedia y los grandes abismos, pero ignoramos dónde se halla la transición".

Después de tal confesión, no podemos esperar que dicho autor nos ayude a determinar un límite inferior de la zona. En el diagrama, parece que se han acomodado los límites de las zonas bentónicas para que correspondan, aproximadamente, con los de las zonas pelágicas como definidas por A. F. Bruun en otro capítulo del *Treatise*, y que definiremos un poco más adelante. La zona batial, pues, se ha indicado como, aproximadamente, equivalente a las zonas meso- y batiipelágicas de Bruun, con su límite inferior definido más bien por la temperatura (la isoterma de 4° C) que por la profundidad. Pero mientras que Bruun indica la profundidad como, aproximadamente, entre 1.000 y 2.000 metros, Hedgpeth (p. 21) menciona el límite como "aproximadamente, entre 2.000 y 3.000 m." y en su Fig. 4, (reproducida aquí como Fig. 17) que es una curva hipsográfica de los fondos, lo indica alrededor de 4.000 metros; esto es, sin duda, porque hay una marcada inflexión de la curva a tal profundidad. Es bastante evidente, pues, que en realidad, no existen criterios firmes para definir el límite inferior de la zona batial, sino que un autor se basa en la

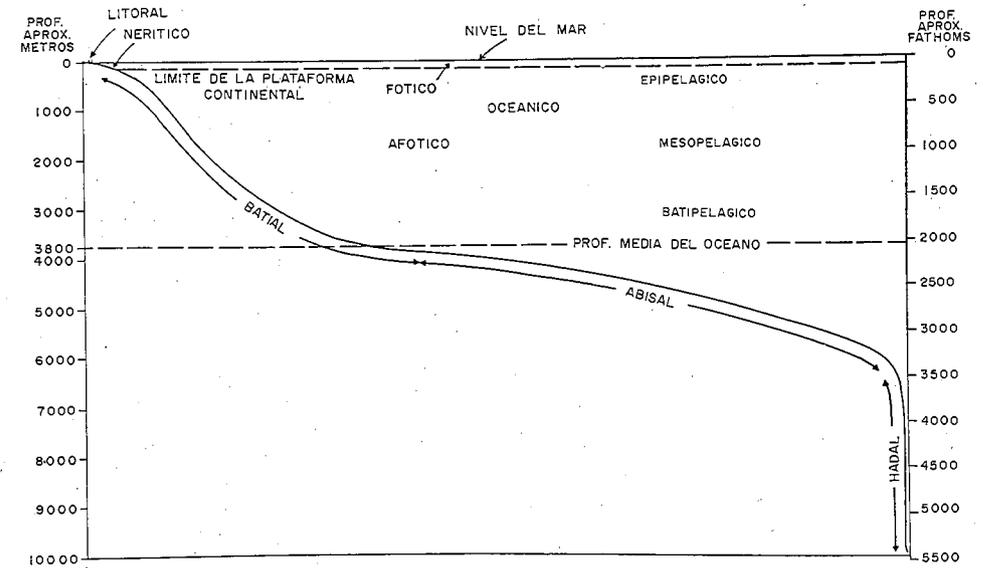


Fig. 17. Las zonas batimétricas de la Fig. 15, representadas en relación con la curva hipsográfica. (Según Hedgpeth, 1957 b, fig. 3).

sedimentología, otro en una relación matemática (la inflexión de una curva), y otro en un paralelismo con cambios en la fauna que vive entre dos aguas. Indudablemente, un estudio más detenido del problema está indicado. Mientras tanto, cabe notar que Kuenen y Bruun están de acuerdo en admitir más bien la cifra menor (2.000 metros máximo) para el límite inferior de la zona batial y superior de la abisal.

**Zona abisal.** Admitiendo la cifra que acabamos de indicar, como el límite superior de la zona abisal, la extensión areal de ésta es impresionante, según las cifras dadas por Bruun (p. 645); de los 361 millones de kilómetros cuadrados de los océanos y mares, aproximadamente, un 84% corresponde a dicha zona. Aun si se resta a la zona la región de los fondos entre 2.000 y 3.000 metros, se

rebanaría solamente 6,8%. Se ha convenido modernamente, viendo la distribución de los fondos por debajo de la cota de 6.000 metros, que esta cifra se puede considerar como el límite inferior de la zona abisal; pero al restar esta zona "hadal" de los 84% originalmente asignados a la abisal, la rebaja es de solamente 1,2%; en fin, la zona abisal cubre, aproximadamente, un 76% de los océanos, o sea 273 millones de  $\text{km}^2$ . En comparación, el área de todos los continentes es de 149 millones. En otras palabras, más de la mitad del área de nuestro planeta está ocupada por los abismos, de cuyos habitantes tenemos tan poca información.

Esta región abisal está cubierta por los sedimentos que Kuenen describe como "pelágicos". Los barros calcáreos ocupan unos  $128 \times 10^6 \text{ km}^2$ , los barros silíceos 38, y la arcilla abismal (generalmente llamada el "barro ro-

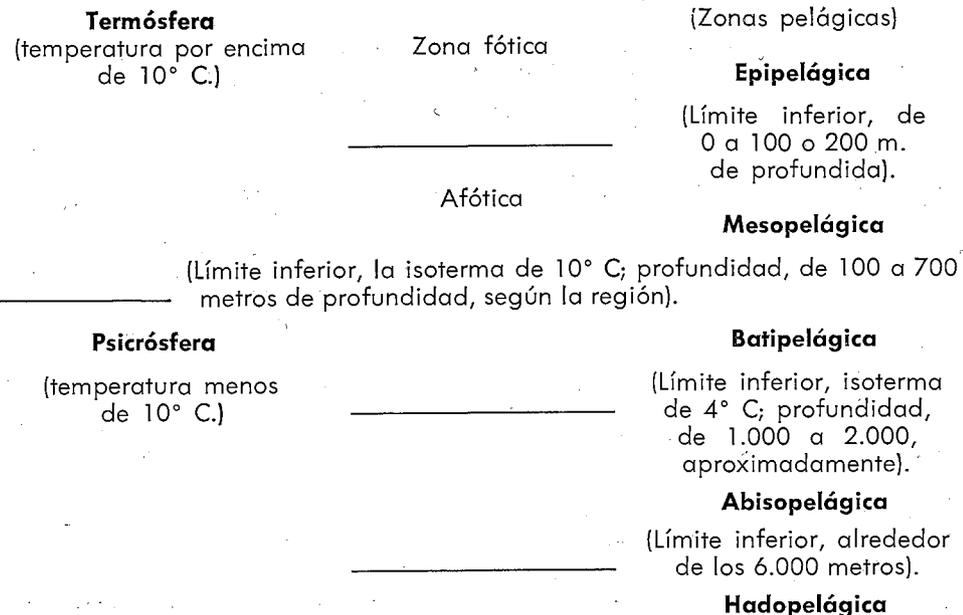


Fig. 17 bis. — La zonación de las aguas pelágicas, según Bruun.

jo") unos 102 x 10<sup>6</sup> km. (Bruun, página 645).

La presión hidrostática en la zona, dada la amplitud vertical, varía desde 200 a 600 atmósferas. Hay que señalar que las observaciones no apoyan la opinión vulgar de que los animales procedentes de las grandes profundidades "se revientan" al ser izados a la superficie a consecuencia del cambio brusco de presión. No hay lugar a duda de que la adaptación a la vida bajo tan grandes presiones es el rasgo más característico de los organismos abisales, ya que la baja temperatura y la ausencia de luz no se restringen al abismo, pero la fisiología de estos animales todavía no está bien estudiada. (Para algunas consideraciones, véase Bruun, p. 646).

**Las zonas pelágicas profundas.** Hedgpeth considera que "la zonación de las aguas por encima de los fon-

dos, del gran dominio pelágico, está establecida de manera más satisfactoria" (entiéndase, que la de los fondos) "debido al mayor volumen de investigaciones sobre los organismos planktónicos y nectónicos". Este punto nos parece algo discutible; quizás lo que tiene en mente dicho autor es, que el capítulo sobre los aspectos de los océanos profundos y su zonación, redactado para el Tratado por A. F. Bruun, es uno de los más satisfactorios del simposio. No obstante, es un poco difícil saber, sin haber estudiado la bibliografía detallada de las investigaciones de estas grandes profundidades, hasta qué grado los organismos mencionados como característicos de determinados niveles son independientes de los fondos. El mismo Bruun reconoce que en las zonas profundas es difícil en muchos casos distinguir entre las especies pelágicas y bénticas y depende de a cuál distancia del fondo debe vivir un orga-

nismo para ser considerado como pelágico (Bruun, p. 643).

En los grandes abismos, por debajo de los 6.000 metros de profundidad, para los que Bruun ha propuesto el término de zona **hadal**, los animales recogidos, por cierto sorprendentemente numerosos y variados, son todos bentónicos (véase la Figura 3). Expresa Bruun, que "si existe una fauna hadopelágica, es probablemente pobre, puesto que la mayoría de sus especies se hubieran derivado del bentos hadal igualmente pobre".

Bruun se ocupa principalmente de las zonas de las aguas, pero opina que la isoterma de 4° C, que considera que marca el límite entre las faunas batipelágica y abisopelágica, probablemente marca también el límite entre las faunas bentónicas batial y abismal, respectivamente. En el océano Atlántico esta isoterma de 4° C se halla, aproximadamente, a 2.000 metros de profundidad, mientras que en los Océanos Pacífico e Índico, yace a 1.500 o hasta los 1.000 metros. Gran parte de las divergencias de criterio sobre los límites batimétricos de las zonas batial y abismal, sin duda que se deben a la ubicación diferente de la isoterma en las varias regiones.

La zonación usada por Bruun, de las aguas profundas, se ha mencionado ya, a propósito de la temperatura, pero se puede resumir aquí en la Fig. 17 (bis).

Las diferencias de criterio sobre la zonación de los fondos profundos, no afecta en mucho a los paleontólogos, quienes no tienen equivalentes fósiles de las faunas de esas aguas; pero sí interesa la advertencia de Hedgpeth, de que algunos investigadores han aplicado el término "abisal" a cualquier profundidad por debajo del borde de la plataforma continental, hasta el

extremo de indicar una fauna "meso-abisal" en 60-500 metros de profundidad. El autor de un texto francés moderno de ecología (Bodenheimer, 1955, *fide* Hedgpeth) describe los géneros **Lingula**, **Spirula** y **Chimaera**, como "fósiles vivientes" que se han refugiado en la zona "abisal" v. gr. por debajo de 200-500 metros, lo que por cierto es exacto tan sólo de **Spirula**, si se admitiera tal definición de "abisal", y ni siquiera de ella si se define la zona como la define Hedgpeth.

H. B. Moore, en su tratado de la ecología marina, empieza su descripción de los **habitats** o ambientes marinos, con el abisal, pero sin haberlo definido. El distingue, en su discusión de los ambientes y los organismos, las divisiones siguientes: los abisales; los pelágicos de profundidades medianas (mid-depth pelagic); los de la "zona oceánica superior" (upper oceanic zone) y los de las aguas costeras. Semejante agrupación de los datos, sin haber definido sus zonas, dificulta la utilización del libro.

**La vida de los fondos someros sobre la plataforma continental (zona "nerítica" o "sublitoral" en el sentido de Treatise)**

Vamos a empezar nuestra discusión más detallada, con esta zona, en vez de la litoral, como quizás parecería más lógico; en realidad, esta zona de los fondos someros es la más interesante al paleontólogo, y la que está representada por la mayoría de las formaciones fosilíferas. A la vez, las condiciones son más uniformes, digamos que más típicamente marinas, que en la zona entre las mareas, la que en cierto modo representa una transición al ambiente aéreo. Hemos visto ya que varios autores (p. ej., Clarke) no separan la zona entre las mareas de la de la parte superior de la plataforma, esto, porque muchas de las mismas especies de ésta lo-

gran adaptarse a la zona entre las mareas, principalmente por enterrarse en las arenas de la playa.

Desde principios de la Era Mesozoica, y especialmente en la Cenozoica, dos de los grupos predominantes entre los habitantes de estos fondos someros han sido los moluscos pelecípodos y gasterópodos. A la vez, son grupos que se prestan para la fosilización, a diferencia de algunos otros abundantemente representados en los fondos actuales, como, por ejemplo los gusanos poliquetos, los ofiúridos y otros. Cualquier información sobre los factores que gobiernan la distribución actual de los moluscos es, por lo tanto, interesante al paleontólogo.

En las zonas litoral y sublitoral, las variaciones de la **temperatura** con la latitud son importantes, como también lo son las variaciones del **substrato**. Hasta qué punto son importantes las variaciones menores de la profundidad de las aguas (excepto en cuanto a la penetración de la luz), no parece enteramente clara. En vez de tratar de establecer generalidades, es más interesante conocer lo que se sabe en concreto sobre la distribución de algunos organismos. Un trabajo moderno muy interesante al respecto es el de G. Thorson en el **Treatise** (Capítulo 17), sobre "las comunidades de los fondos planos" (entiéndase, de las plataformas).

Al tratar los ambientes bentónicos, especialmente los de las zonas litoral y sublitoral, conviene recordar algunos conceptos ya mencionados. Los paleontólogos están acostumbrados a distinguir un bentos **sésil**, que comprende todos los organismos, plantas y animales que están fijados en el substrato; las algas macroscópicas, las esponjas, las anémonas y los corales, los briozoarios, los percebes, los braquiópodos y los equinodermos fijos, y diversos otros animales que se

fijan al fondo por algún tipo de pedúnculo o se anclan por un biso (como si fuera un cable) como hacen ciertos bivalvos. Este bentos **sésil** se ha contrastado con el bentos **vagante** o móvil, o sea que comprende los animales capaces de trasladarse de un sitio a otro por sus propios movimientos. Por cierto, el grado de facilidad del desplazamiento, ha sido poco tomado en cuenta, siendo muy lento en algunos de ellos —los erizos, las estrellas, los pelecípodos, por ejemplo—, en comparación con otros más activos, como lo son los anélidos marinos. No obstante, algunos de estos organismos torpes son más activos de lo que parecen; se ha comentado que **Donax variabilis**, el "chipichipe", en algunas costas está frecuentemente enterrado bajo la arena por el oleaje, pero a poco rato llega a la superficie. Más que el grado absoluto de movilidad, tal facilidad de desenterrarse es el criterio más interesante, en la opinión de algunos ecólogos; pero aquí también el límite tendría que ser relativo, dependiendo de la magnitud del enterramiento catastrófico.

Mucho menos conocida de los geólogos y paleoecólogos, es una subdivisión del bentos introducida por el célebre biólogo danés C. G. J. Petersen (1931) y utilizada por su compatriota G. Thorson en el **Treatise**. Petersen consideró que la subdivisión más significativa del bentos en el sentido ecológico, es en dos grupos contrastados, que él llamó, respectivamente, la **epifauna** y la "infauna" (literalmente, la "fauna de adentro").

La **epifauna** comprende los animales que viven sobre algún substrato, sea fijados a él o desplazándose lentamente por la superficie. Tal substrato podría ser, p. ej., los peñones de la costa, los muelles con su población de percebes, mejillones, etc., la vegetación marina que en aguas so-

meras sostiene una población variada de foraminíferos, pequeños gasterópodos, etc., que se desplazan lentamente por sus fondos; o los mismos moluscos coloniales, como las ostras y/o **Mytilus**, pueden ellos mismos constituir el substrato a que se asocia una epifauna diversificada. Tal, por ejemplo, es la "Epifauna de **Modiola modiolus**" que Thorson ilustra como ejemplo (Fig. 18).

La "infauna" comprende todos los animales que cavan en el fondo arenoso o barroso, sea desplazándose

con frecuencia, sea viviendo enterrados casi permanentemente. En la Figura 19 se ilustra la "infauna" de un fondo arenoso a 10 metros de profundidad en el estrecho del Kattegat. Algunos miembros de la "infauna", como el erizo irregular de la figura, viven casi permanentemente enterrados; en contraste, el gasterópodo se desplaza con mucha más facilidad y subirá con frecuencia al fondo. La estrella y el camarón de la izquierda se refieren a la "infauna", según nos parece, principalmente porque no hay



Fig. 18. Una epifauna bentónica, la de *Modiola modiola*, representada en el Océano Atlántico nororiental. (Según Thorson, 1957).

Ilustrada de una muestra recogida en el Kattegat, a unos 25 metros de profundidad. Sobre las valvas del ejemplar de *Modiola modiola* hacia la izquierda, se observan: un hidroideo, *Tubularia*; un octocoralario, *Alcyonium*, y el ofiúrido *Ophiothrix*; más abajo en la misma concha, tubos del poliqueto *Pomatoceros*, el ofiúrido *Ophiopholis*, y un cirrópodo, *Balanus* (que no se destaca claramente en la figura). Sobre el ejemplar a la derecha, se observa un holotúrido, *Psolus*, y un hidroideo *Hydrallmania*, con otro cirrópodo, *Scalpellum* a la extrema derecha. Sobre las piedras en primer plano, de izquierda a derecha, se observan: el hidroideo *Abietinaria*, un diminuto cangrejo del género *Eurynome*, el gasterópodo *Calliostoma*, dos algas rojas *Delesseria* y *Rhodomenia*, y un ascidio colonial, *Botryllus*.

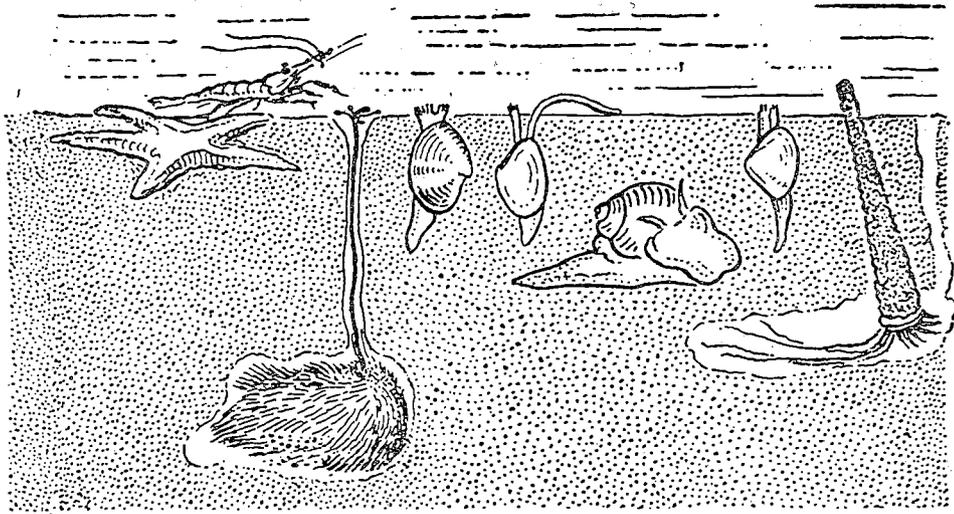


Fig. 19. La infauna llamada de Venus gallina, representada en un fondo arenoso en el Kattegat, a unos 10 metros de profundidad. De izquierda a derecha; el asteroide *Astropecten*, con el crustáceo *Leander* arriba; enterrado en la arena, el equinido *Echinocardium*; a poca profundidad, los pelecípodos *Venus*, *Tellina* y *Spisula*, con sus sifones respiratorios por encima de la superficie, mientras que el gasterópodo prosobranquiado *Polinices* se desplaza lentamente a través de la arena. A la extrema derecha, el poliqueto túbicola *Pectinaria*. (Según Thorson, 1957).

una epifauna con la que estén asociados (una estrella en un banco de ostras probablemente se referiría a la epifauna). Como se ve por estos ejemplos, la diferencia entre epi- e infauna no parece terminante, pero sin duda el concepto de estos grupos contrastados es de considerable interés para la ecología.

Petersen fue también el padre intelectual de un concepto que ha asumido una importancia cada vez mayor en la ecología, el de la **comunidad**. Antes de intentar una definición, veamos los antecedentes históricos. A raíz de una investigación para determinar la productividad anual de macroorganismos en los fondos de las aguas cerca de Dinamarca y que sirvieran como alimento a los peces, Petersen iba recogiendo muestras del fondo con la draga, y haciendo sus cálculos estadísticos. Notó que sobre extensas áreas del fondo había

unas pocas especies notables por su abundancia, aunque la lista total de las especies, incluyendo las escasas, podría variar considerablemente de una estación dragada a otra. En otras zonas, por razones no siempre aparentes, pero principalmente gobernadas por el tipo de fondo y la profundidad, se hallaban otras especies predominantes. Petersen distinguió por fin nueve diferentes asociaciones o "comunidades", que nombró por una o dos especies predominantes. (Una lista de las comunidades originales de Petersen se puede consultar en H. B. Moore, 1958, p. 305).

Aunque Petersen no atribuía una significación ecológica a sus comunidades, Thorson (1957) se inclina a creer que en realidad la tienen, es decir que la repartición observada de las especies no depende de la mera casualidad, sino que refleja adaptaciones de las especies al medio am-

biente, y entre sí mismas. A propósito de la distribución, Thorson manifiesta que la casualidad probablemente influye menos en la distribución de las especies bentónicas de lo que se había creído, porque las larvas planktónicas de dichas especies demuestran considerable selectividad en cuanto al fondo donde se asientan. En tal sentido, las comunidades de Petersen sí corresponderían con el concepto ideal de una **comunidad ecológica**, según la definición por Allee *et al.* (1949), quienes expresan que "las comunidades se componen, no de asociaciones casuales de especies, sino de poblaciones de especies ecológicamente compatibles y cuyas exigencias colectivas en materia de alimentación, abrigo y reproducción, se satisfacen por ciertas condiciones del ambiente".

Algunos ecólogos se han entusiasmado tanto con el concepto de la comunidad en este sentido, que definen la Ecología como "el estudio de las comunidades" (Shelford, 1929). Otros, sin ir tan lejos, consideran que al menos tal estudio comprende una división principal de la ciencia, que llaman **sinecología** ("synecology"), contrastada con el estudio ecológico de una especie individual o **autecología** (cf. H. B. Moore p. 7). Algunos otros han mantenido una posición más conservadora respecto a estas comunidades, p. ej., la definición de MacGinitie: "la comunidad es una asociación de animales con o sin plantas asociadas, que viven en una misma localidad bajo condiciones ambientales semejantes, y al **parecer**" (italicas nuestras) "con alguna asociación en cuanto a sus actividades y hábitos".

Clarke, en su excelente texto de ecología general, (trad. de Fusté, página 468) da la definición siguiente: "un grupo de vegetales y animales mutuamente acoplados y que pueblan una misma zona natural se de-

signa con el nombre de **comunidad**". A continuación, sin embargo, manifiesta que debido al empleo de la palabra en el lenguaje corriente en varios sentidos, puede resultar una considerable ambigüedad, de manera que muchos ecólogos prefieren el término **biocenosis**, propuesto por Moebius en 1880. Como ejemplo de lo que él quería expresar con este término, Moebius tomó como ejemplo un banco de ostras; Clarke resume la exposición de Moebius como sigue:

"Cada banco de ostras constituye, en cierto grado, una comunidad de seres vivientes, un conjunto de especies y una masa de individuos, que encuentran en él todo lo necesario para su desarrollo y perpetuación, tal como suelo conveniente, alimento suficiente, la concentración necesaria de sales y una temperatura apropiada para su desarrollo". Clarke opina que una biocenosis no necesita obligadamente ser autosuficiente; p. ej., las ostras de la biocenosis típica de Moebius necesitan partículas alimenticias transportadas por las corrientes de agua desde otras zonas. En contraste, Wells (1957) considera que la biocenosis de un arrecife madreporico es materialmente autosuficiente, y que los animales carnívoros de ella se alimentan casi exclusivamente de larvas planktónicas producidas en el mismo arrecife.

Otro concepto importante relacionado con el de comunidad o biocenosis, es el de **biotopo**. Un biotopo con frecuencia se define en los textos como el área habitada por una comunidad o biocenosis, pero puesto que tal definición exige una definición antecedente de lo que se entiende por "comunidad", veamos si se puede definir de manera más directa, acudiendo otra vez a Clarke. Dicho autor aclara, en primer término, que las diferencias entre dos comunidades pueden ser muy acusadas, o pueden al

contrario existir graduaciones lentas o irregulares entre ellas. "Allí donde varía definitivamente la composición específica... ha acaecido algún cambio importante en el ambiente". De manera que desde el punto de vista descriptivo, una comunidad puede reconocerse: 1) basándose en el hábitat que ocupa; o 2) basándose en las especies animales o vegetales que la componen. Recibe el nombre de **biotopo** "una unidad ambiental fácilmente distinguible cuyas principales condiciones de hábitat son uniformes. Este término puede emplearse tanto para describir un área en particular como para determinado tipo de área. Un fondo de barro, una playa de arena, un desierto arenoso, un arroyo de montaña y una parte del océano, son ejemplos de biotopos, cada uno de los cuales es asiento de un tipo determinado de comunidad. Estos biotopos se caracterizan principalmente por sus rasgos físicos. Otros biotopos se distinguen, ante todo, por sus elementos vivientes, como por ejemplo, un bosque de falsos abetos"... (que en unión de) "los organismos que en él viven, comprenden una biocenosis, y al propio tiempo, el bosque sirve de biotopo para las plantas y animales subordinados presentes en él". (Clarke-Fuste, p. 471).

Si el biotopo se define por las condiciones físicas de ambiente, p. ej., el biotopo de las costas rocosas, las especies que componen la biocenosis correspondiente, pueden variar considerablemente, según las condiciones geográficas y climatológicas. Una playa rocosa en la costa de Venezuela, no va a tener las mismas especies como una playa semejante en Inglaterra, y ninguna de ellas tendrán mucho en común con el mismo biotopo en la costa del Perú. Por otra parte, un biotopo con frecuencia se define en términos de las especies que

le habitan, y hace constar Thorson, que las poblaciones son probablemente el mejor criterio para definir biotopos, porque las especies son susceptibles a pequeñas modificaciones del ambiente que el científico puede ser incapaz de medir. Tales biotopos necesariamente tendrán una distribución areal limitada por la repartición geográfica de las especies características. Esto es especialmente cierto de los biotopos de las zonas litoral y sublitoral y/o nerítica; en las grandes profundidades del mar, las condiciones son muy uniformes en todas partes, y las especies pueden tener una distribución muy cosmopolita.

Por lo tanto, tenemos que considerar como un aspecto esencial de la ecología, la **biogeografía**, tema al que Hedgpeth ha hecho una contribución importante con otro capítulo (13avo) del **Treatise**. Uno de los conceptos que facilita la organización y la presentación de los datos sobre la distribución geográfica de los organismos, es el de **provincias faunales**. Estas "provincias" constituyen una forma conveniente de expresar, en forma generalizada, datos que dependen no solamente de la zonación climática, sino también de la historia geológica anterior. Por ejemplo, desde la península de Florida por el Golfo de Méjico y las costas del Mar Caribe, siguiendo por la costa oriental del continente hasta más al sur de Río de Janeiro, las especies, en un mismo tipo de biotopo físico, son muy semejantes; tal región se puede definir como una provincia faunal. Por el otro lado del Océano Atlántico, en la costa occidental de África, así como también por el otro lado del istmo de Panamá, tenemos aguas oceánicas de la misma latitud geográfica, pero con faunas algo distintas aun en un mismo biotopo físico. En otra sección, describiremos más

detalladamente los aspectos de la distribución de los animales invertebrados (principalmente moluscos) que permiten separar las provincias faunales generalmente aceptadas. Por el momento, conviene tener presente, que un biotopo definido por sus rasgos físicos, se repetirá sobre la mayor parte del globo, pero con diferentes biocenosis en distintas provincias; mientras que un biotopo definido por las especies, probablemente estará restringida a una provincia, o cuando más con cierta extensión dentro de las provincias vecinas.

Los ecólogos europeos y especialmente los daneses, parecen haber puesto mucho empeño en estudiar y describir las comunidades de la zona sublitoral; en contraste, Thorson cita muy pocos estudios por este lado del Atlántico. Cabe mencionar, sin embargo, que hay muchos estudios ecológicos efectuados especialmente en relación con la paleoecología y la geología, en los que se alude a comunidades, biocenosis o biotopos, a título de **facies (o biofacies)**. Por ejemplo, en el segundo tomo del **Treatise** (que versa sobre paleoecología) hay un estudio por Ladd, Hedgpeth y Post (capítulo 23) sobre "Ambientes y facies de las bahías actuales de la costa central de Tejas", en el que los varios biotopos (incluyendo uno de bancos de ostras) se describen como "facies". Es muy natural que los adeptos de la paleoecología apliquen esta palabra a las biocenosis o los biotopos actuales, porque las diferencias en el aspecto inorgánico o paleontológico de las formaciones geológicas a que se alude por el término de **facies**, tienen estrecha relación con los ambientes del pasado y sus habitantes.

Después de estos conceptos generales, vamos a considerar la aplicación concreta de ellos, en la descripción de unas comunidades princi-

palmente de aguas frías, como reseñadas por Thorson (p. 504-521). Aunque parecería, a primera vista, que tales comunidades de aguas frías tendría poca importancia para los científicos de las regiones tropicales, Thorson considera que tales comunidades, sobre todo cuando se basan en especies de la **infauna**, pueden tener una repartición geográfica bastante amplia, o cuando menos, estar representadas en otras regiones por "iso-comunidades" o sea, comunidades dominadas por especies afiladas. Estas comunidades de Thorson son:

1) **Las comunidades de Macoma**; en el sentido biológico, éstas se caracterizan por la abundancia de alguna especie de este género de pelecípodos, más especies de **Mya**, **Cardium**, a veces también **Scrobicularia**, con o sin el gusano poliqueto **Arenicola**. Habitan fondos de sedimentos mezclados (arena, limo y barro), principalmente en regiones asociadas con estuarios, y en profundidades desde la zona litoral hasta 10,61 metros de profundidad o algo más. En todos los tipos de fondo, un aumento en la cantidad de limo o barro conducirá al predominio de **Macoma** y **Arenicola**, un aumento en la proporción de arena favorece el predominio de **Cardium**. Thorson hace consideraciones sobre el crecimiento de las especies, la duración de la vida, la productividad anual de material orgánico, que tenemos que suprimir aquí.

Bajo esta agrupación general de "comunidades con **Macoma**", Thorson distingue 4 comunidades más restringidas; y describe para cada cual las especies, profunidad, distribución geográfica, transiciones a otras comunidades. Por ser demasiado extensos los datos, mencionaremos simplemente las especies y la distribución, a saber:

a) La comunidad de **Macoma cai-**

cárea o "la comunidad ártica con *Macoma*", en la región circumpolar ártica;

b) La de *Macoma baltica*, en el Mar Báltico, también en partes del Zuidersee de Holanda;

c) La de *M. nasuta* - *M. secta*, en la costa occidental de Norteamérica, en fondos mezclados, desde el archipiélago de San Juan en la frontera canadiense, hasta el sur del Estado de California;

d) La de *M. incongrua* en el noroeste del Japón.

Además, manifiesta Thorson que con cambios locales de condiciones o distancias de las regiones típicas, pueden presentarse comunidades afiliadas pero en las que falten algunas de las especies características. La comunidad de *M. baltica*, p. ej., en forma típica no parece hallarse al sur del Canal de la Mancha. *Mya arenaria* no llega al sur del Mar Cantábrico; *Macoma baltica* y *Arenicola* llegan al Mediterráneo pero son raras, en contraste *Cardium edule* persiste en considerable frecuencia. Se podría hablar de tal comunidad dominada por *Cardium edule* como una "comunidad fuertemente reducida de *Macoma baltica*". Inclusive, a veces *M. baltica* misma está reemplazada por la especie *Scrobicularia plana*, como en algunos sitios en la costa de Portugal y en el Mar Adriático.

Con las siguientes familias de comunidades, no indicaremos las varias comunidades, ya que el ejemplo anterior sirve para ilustrar el principio; nos limitaremos a una enumeración somera;

2) Comunidades con *Tellina*, asociado con los lamelibranquios *Donax* y *Dosinia*, el equinodermo asteroide *Astropecten*, y, en regiones tropicales, los gasterópodos *Terebra* y *Ancilla*. En fondos de arena pura, frecuentemente muy firme, principalmente en playas abiertas, desde la zona litoral

hasta 5 - 10 metros, raras veces más profundos. Cuatro comunidades de diferentes regiones en aguas templadas, ninguna en aguas árticas.

3) Comunidades con *Venus*; caracterizadas por especies de los pelecípodos *Venus*, *Spisula* (o de *Macra*), *Tellina*, *Thracia*, el gasterópodo *Natica* o *Polinices*, la estrella *Astropecten*, y el poliqueto *Ophelia*, con o sin el erizo irregular *Echinocardium* y *Spatangus*. Condiciones de mar abierto, en fondos arenosos de 7 a 10 m. hasta 30-40 m. En arena floja *Spisula* puede dominar, en fondos progresivamente más firmes, hay aumento de *Tellina* hasta con transición a una comunidad "pura" de *Tellina*. Si la arena es basta con mayor o menor proporción de grava formada por fragmentos de conchas, *Spisula* y *Tellina* estarán representadas por especies de concha más grande y sólida, y aparecerán *Branchiostoma* (un protocordado), y una microfaua característica con el gusano *Polygordius*, el gasterópodo *Caecum* y pequeños gasterópodos sin concha (nudibranchios). Thorson describe cuatro comunidades, que en combinación tienen una distribución desde el Artico al Mediterráneo y menciona dos "isocomunidades", una del Golfo Pérsico.

4) La comunidad de *Syndosmya* (antes llamada *Abra*); en la comunidad típica (y única) la especie es *S. alba*, con otros lamelibranquios, *Cultellus*, *Corbula* y *Nucula*, los poliquetos *Pectinaria* y *Nephtys*, con o sin *Echinocardium*; H. B. Moore menciona también los lamelibranquios del género *Astarte*, *A. banksii*, *borealis* y *elliptica*. Esta comunidad habita regiones abrigadas, muchas veces estuarinas, de salinidad frecuentemente subnormal, en fondos de arena mezclada con limo o de barro puro, ricos en material orgánico; en profundidades desde 5 - 10 m. hasta unos

20 m. en aguas boreales, en el Mediterráneo y el Mar Negro hasta unos 75 m.

5) Comunidades con *Amphiura*; se caracterizan por el predominio de este pequeño poliqueto, frecuentemente al número de 400-500 ejemplares por metro cuadrado, con los moluscos *Turritella*, *Thyasira* y *Nucula*, los poliquetos *Nephtys*, *Terebellides*, *Lumbriconereis*, el escafópodo *Dentalium*, el alcionario *Pennatula* (o *Virgularia*) y uno cualquiera de los géneros *Echinocardium*, *Brissopsis* o *Schizaster* (erizos irregulares). Viven en fondos blandos de limo o barro, en profundidades desde unos 15-20 metros hasta 100 metros, a veces algo más profundos. Un pequeño aumento de arena conducirá frecuentemente a una preponderancia de *Echinocardium* o sobre todo, de *Turritella*, mientras que un cambio a un fondo más blando, lo que con frecuencia va paralelo a un aumento de profundidad, dará una preponderancia de *Brissopsis*, *Thyasira* y los poliquetos sedentarios, con transición eventual a una comunidad con *Maldane* (véase más adelante). En la Figura 14, p. 512, de Thorson se ilustra el conjunto de una de las comunidades típicas, que él llama "la comunidad boreo-mediterránea con *Amphiura filiformis*-*Amphiura chiajei*". Esta es la que Petersen llamó la "comunidad de *Echinocardium filiformis*", es decir, caracterizada por *Echinocardium cordatum* más *Amphiura filiformis*; su sistema de nomenclatura, combinando el nombre genérico de una de las especies dominantes, con el específico de otra, ha sido rechazado por los ecólogos más modernos. Thorson incluye con esta comunidad, la de "*Brissopsis-Chiajei*" de Petersen, por considerar que las dos son perfectamente transicionales. Indica otras tres comunidades con *Amphiura*, una del Mar

Negro, otra de Japón y la tercera de Nueva Zelandia.

6) Comunidades con *Amphipodia*-*Amphioplus*. Estas se pueden describir como "isocomunidades" de las anteriores, puesto que se hallan en varias regiones de fondos blandos en el Océano Pacífico, y se caracterizan por dos géneros de poliquetos estrechamente relacionados, *Amphipodia* y *Amphioplus*, que tienen estrecha semejanza morfológica y ecológica con *Amphiura*. Otros géneros característicos son *Turritella*, *Schizaster*, *Nucula*, y los poliqueros *Sclerocheilus*, *Nephtys*, *Terebellides*, *Sternaspis* y *Ammotrypane*. Hay cuatro comunidades, una todavía sin describir, hallada en fondos blandos fuera de la costa de Chile en latitudes templadas.

7) Comunidades con *Turritella* o *Cerithium*. Se ha señalado ya que en ciertas regiones las comunidades de *Amphiura filiformis* pueden tener una preponderancia de *Turritella communis*, combinada con una disminución tan grande de *Amphiura* que se hubiera podido describir como un tipo especial, si no fuera por las transiciones. Pero las dos comunidades que Thorson denomina por *Turritella* han sido descritas de dos regiones del Océano Pacífico, donde no existen datos sobre sus relaciones con otras comunidades. Ellas son: a) La comunidad con *Maoricolpus roseus* de Nueva Zelandia (género relacionado con *Turritella*); y b) La con *Cerithium pfefferi*, del Japón. Esta última se describió de 4-17 metros de profundidad, en fondos fangosos, y se caracteriza por la enorme abundancia de la especie nombrada (500 a 1.000 individuos por m<sup>2</sup>), más *Terebellides stroemi*, *Echinocardium cordatum*, *Nucula mirifica*, *Paphia undulata*, *Theora lubrica* (género afiliado con *Syndosmya*), *Pectinaria bocki*, *Sternaspis scutata* y *Glycera* sp. En vista

de que *Cerithium* a veces se indica como un género de aguas salobres, su abundancia aquí en unión de especies típicamente marinas como las mencionadas, es digno de nota.

Las comunidades que se describen a continuación (8-10) son de aguas frías:

8) La de *Maldane sarsi* - *Ophiura sarsi*. (La comunidad de *Brissopsis sarsi* de Petersen es una variante). Una sola comunidad, que habita mares circumpolares (con una variante en el estrecho del Skagerak), en fondos someros de barro fino y profundo en estuarios, y a mayor profundidad (aproximadamente 100 a 300 metros) en mares abiertos. Caracterizada por los poliquetos *Maldane* y *Terebellides*, por *Ophiura sarsi*, los pequeños lamelibranquios *Nucula*, *Syndosmya*, *Theora*, *Thyasira*, los gasterópodos *Philine* y *Cylichna*, y una diversidad de poliquetos, con o sin equinodermos de los géneros *Ctenodiscus*, *Brissopsis* o *Echinocardium*. De 4 a 18 m. en fiordos del Japón, a 80 - 220 m. en los mares árticos-subárticos y el Skagerak. En los mares árticos, con disminución de la profundidad puede haber transición a una comunidad de *Macoma calcarea*.

9) **Comunidades de foraminíferos ártico-boreales.** Muy pobres en productividad de material orgánico (la "cosecha" en un momento dado o "standing crop", es de unos pocos gramos por metro cuadrado). Se caracterizan por algunas especies de foraminíferos (principalmente de tipos aglutinados) más los pequeños bivalvos *Thyasira* y *Axinopsis*, y el poliqueto *Asychis*. Estas comunidades fueron descritas por ecólogos, no micropaleontólogos; la casi ausencia de otras especies (véase Fig. 17 de Thorson, p. 516) sirve para ilustrar el predominio de estos foraminíferos en las aguas frías. Thorson distingue dos comunidades:

a) La **ártica**, en fondos de barro con un poco de arena y guijarros, entre 50 y 700 m. en fiordos del NE. de Groenlandia. Caracterizada por *Rhabdammina cornuta*, "*Miliolina*" *bucculenta*, *Asychis biceps* y *Axinopsis orbiculata*.

b) La **boreal**, de la parte más profunda del Mar del Norte, en fondos blandos un poco por debajo de 100 metros. Especies: *Astrorhiza arenaria*, *Saccamina sphaerica*, *Psammosphaera fusca*, el lamelibranquio *Thyasira flexuosa* y unos pocos *Amphiura*. Unas áreas restringidas en el sur del mismo mar, fuera de Heligoland y en agua somera, 5 m. o menos, están habitadas por una comunidad afiliada dominada por otra especie de *Astrorhiza*, *A. limicola* (Thorson, fig. 17, a la izquierda).

10) **Comunidades dominadas por anfípodos** (Crustáceos). En fondos relativamente blandos, aguas generalmente estuarinas o salobres. 3 comunidades de este tipo, una de ellas la de *Haplöops tubicula* descrita por Petersen (Fig. 18 de Thorson, p. 517).

11) Varias comunidades aisladas, conocidas solamente de aguas árticas o antárticas, a saber:

A — De aguas árticas; una comunidad con *Portlandia artica*, Groenlandia, en sitios periglaciares. b) Una con *Arca glacialis* - *Astarte crenulata*, acompañados por *Thyasira flexuosa*, *Pecten groenlandicus*, *Ophiopleura borealis*, con o sin *Ctenodiscus crispatus*. Todas las especies de esta comunidad tienen un desarrollo no-pelágico, es decir, pasan toda la vida en la comunidad, por lo que la composición de ésta es muy estable.

B — De aguas subárticas; comunidad con *Yoldia hyperborea*, 10 - 70 metros en fondos fangosos, en el Mar Blanco, Islandia y el archipiélago de San Juan, cerca de Vancouver.

En contraste, las comunidades si-

guientes parecen ser características de aguas **cálidas**;

12) Comunidades dominadas por **cangrejos**; hay que notar que se trata aquí de comunidades de la zona **sub-litoral**, porque cangrejos son comunes en muchas partes de la zona entre las mareas. Dos comunidades caracterizadas por cangrejos han sido descritas, una del Japón, otra del Golfo Pérsico. Se caracterizan por pequeñas especies que aparentemente se alimentan exclusivamente de plankton filtrado del agua. Fondos de arena floja, en 10 - 30 m. de fondo.

13) Aquí Thorson menciona varias comunidades que considera imperfectamente descritas o cuyas relaciones con otros tipos se ignoran, por ejemplo, la comunidad con *Amphilepis norvegica*, *Pecten vitreus*, *Thyasira flexuosa* y varios poliquetos pequeños, descrita por Petersen de aguas relativamente profundas (300 - 400 metros y más). Thorson opina que posiblemente tenga una repartición extensa en aguas profundas, pero ha habido muy pocos estudios cuantitativos en la zona batial. Hay otras 8 comunidades locales de diversas regiones (Thorson, p. 519-520).

Thorson da una tabla que indica la distribución geográfica de las comunidades descritas y expresa las siguientes conclusiones generales: el "fondo plano del mar" o "level bottom" (aparentemente la parte más somera de la plataforma continental) tiene una **infauna** dominada por relativamente pocos géneros, que probablemente serán los "fósiles característicos de los sedimentos actuales, en un futuro geológico lejano": Hay evidencia de que hay una serie de "comunidades paralelas", caracterizadas por especies diferentes de un mismo género, y las que varían según la región geográfica. Se conocen cuatro comunidades de **Mac-**

**ma**, y hay indicios de dos más; cuatro de **Tellina**; tres de **Venus**; etc. Estudios más pormenorizados de la biología y ecología de esos pocos géneros, deben ser de gran interés. Nos parece que hay grandes posibilidades en la identificación y descripción de comunidades fósiles. Por ejemplo, la capa de Mare en Cabo Blanco, tienen como la especie dominante el bivalvo **Macrocallista maculata**, de la familia **Veneridae**, lo que sugiere de inmediato la posibilidad de comparación con una de las comunidades modernas con **Venus**. Estudios modernos de ecología marina podrían dar a conocer si en la actualidad hay comunidades en las costas de Venezuela, dominadas por la misma especie, o si está reemplazada por otro venéreo (quizás especies de **Chione**), lo que parece plausible por la rareza de las conchas de **Macrocallistas** en las playas. Tales diferencias a su vez, podrían quizás ser relacionadas con diferencias de edad geológica, tan difíciles de resolver por especies características, debido a la larga duración de vida de las especies individuales de bivalvos en el Terciario, desde el Mioceno en adelante.

## PROVINCIAS FAUNALES

Este estudio de Thorson que acabamos de reseñar, es notable por tratar la distribución geográfica de las comunidades, en cuyo respecto es un trabajo realmente pionero, en la opinión de Hedgpeth (1957c). Pero existe un amplio caudal de conocimientos sobre la distribución de entidades sistemáticas (taxonómicas), tales como especies, familias, etc., si bien no siempre estudiadas desde el punto de vista de sus relaciones ecológicas, y las que se consideran generalmente a título de la **biogeografía marina**. Un capítulo del **Treatise** por Hedgpeth, lleva este título, y

aclara unos conceptos importantes al estudiante de paleontología, especialmente el de una **provincia faunal**.

La noción de que diferentes regiones del mar, en el sentido horizontal o geográfico (a diferencia de la zonación vertical o batimétrica que hemos considerado hasta ahora), se distinguen por diferentes agrupaciones de especies, por supuesto que no es nada novedosa. Según nos informa Hedgpeth, el concepto de provincias faunales fue esbozado por J. D. Dana en 1848, a propósito de sus estudios de los corales madreporicos. S. P. Woodward, en su manual de los moluscos, aparecido en 1856, precisó más el concepto, al definir una provincia malacológica como una región donde al menos un 50% de las especies son endémicas o indígenas. En 1859, Forbes y Godwin-Austen, en su **Historia Natural de los Mares Europeos**, que se considera como el trabajo fundamental de la ecología marina, dieron mayor difusión al concepto de las provincias faunales marinas, el que constituye hoy en día un elemento imprescindible de la paleontología y de la geología histórica, como ejemplificado, por ejemplo, en la **Historia de la Biósfera** por los Termier. Importantes obras modernas relacionadas con la biogeografía marina, son las de Clements y Shelford (1939) y de Ekman (1953).

Hedgpeth (1957c) reseña algunos intentos modernos de definir las provincias por criterios puramente objetivos estadísticos p. ej. Schenck y Keen (1936). Pero estos mismos terminaron por definir una provincia subjetivamente: "una provincia marina malacológica es una subdivisión de una región, subregión o dominio, poblado por un conjunto distinto de especies". En realidad, Hedgpeth considera que la opinión inteligente de los especialistas es el mejor criterio por la definición de las provincias, y que el

acuerdo general sobre sus límites, indica que corresponden a hechos reales, no a meras construcciones imaginarias.

Antes de delimitar estas provincias y de indicar algunos de sus géneros característicos, pensemos un momento en los factores que influyen en la distribución geográfica de las especies. Al hablar de **provincias faunales**, casi siempre se sobreentiende (o se hace constar) que se trata de las especies de las zonas litoral y sublitoral. Hay cierta zonación en la repartición geográfica de los organismos del plankton, pero es mucho más regular y casi paralela a la latitud geográfica. En contraste, se nota que la distribución geográfica de los organismos litoral-sublitorales es más irregular. Si hay relaciones con la **latitud**, pero puesto que las **corrientes oceánicas** modifican notablemente las **temperaturas** de las aguas oceánicas, los límites de las provincias tienen mayor relación con éstas que con los círculos de latitud.

Otro factor importante, quizás el primario, es la facilidad de **dispersión** de las especies. La dispersión geográfica de las especies marinas, especialmente las especies bentónicas, se logra gracias a que éstas por regla general tienen larvas **planktonicas**, que flotan por un intervalo más o menos largo, que varía entre unos días y unas semanas, terminando por caer al fondo y, de encontrar condiciones favorables, continuar la vida allí. Obviamente, la **temperatura** es una de las condiciones que pueden influir en la dispersión, pero pueden existir otros impedimentos o **barreras** a la dispersión de una especie. Puede ser la presencia de **tierras**; un istmo, como los de Panamá o de Suez; o al extremo contrario, el **océano abierto**, que puede representar una distancia demasiado grande para ser atravesado en el curso de la

vida larval flotante, aun suponiendo que las corrientes oceánicas sean favorables. Por ejemplo, a pesar de la corriente del Golfo, hay casi ninguna especie, común a la costa oriental de Norteamérica y las Islas Británicas.

Otro factor importante es la **historia geológica antecedente** de las regiones. Hay diferencias faunales entre, p. ej., la región del Mar Caribe-Golfo de Méjico y la al sur del istmo de Panamá, o entre el Mar Mediterráneo y el Rojo, las que encuentran su explicación en la historia anterior de la región, las facilidades para la migración en el pasado, o en la fecha en que se aislaron las provincias actuales.

A continuación describiremos las provincias faunales como distinguidas por DAVIES (1934) en su importante estudio de las faunas terciarias y de la paleontología sistemática de los grupos importantes (foraminíferos, moluscos, equinodermos). Los límites de las provincias se indican en el mapa acompañante (Fig. 20) tomado de Davies:

**Provincia Céltica.** — Este término ha sido aplicado a la región de las Islas Británicas, y las costas del otro lado del Mar del Norte y considerable parte de la costa norte de Francia. En una forma empobrecida, se puede considerar el Mar Báltico como perteneciente a la misma provincia; tan sólo un 12% de las especies típicas de la provincia céltica penetran en el Báltico, debido a la reducción en salinidad. Davies (pp. 11-12) ha dado una lista de los moluscos conchíferos (pelecípodos y gasterópodos), braquiópodos y equinidos de esta provincia, como representados en las costas de Gran Bretaña; en vez de reproducir su lista, mencionaremos aquí los caracteres **negativos** de la fauna, especialmente llamativos si los contrastamos con la de nuestras costas: la ausencia de las siguientes

familias de gasterópodos: **Turbiniidae**, **Architectonicidae**, **Vermetidae**, **Strombidae**, **Cassidae**, **Tonnidae**, **Cymatiidae**, **Columbellidae**, **Xancidae**, **Marginellidae**, **Volutidae**, **Mitridae**, **Harpidae**, **Olividae**, **Cancellariidae**, **Terebridae** y **Conidae**; entre los lamelibranquios, la ausencia de **Carditacea**, **Corbidae**, **Tridacnidae**, **Crasatellidae** y **Spondylidae**. En contraste, señala Davies que muchos de estos grupos están bien representados en las faunas terciarias de la misma región. Para otros aspectos de la fauna reciente de esta misma región, se podría consultar la parte de Thorson (1957) referente a las comunidades de la región.

**Provincia Lusitana.** — Davies señala que, al cruzar el Canal de la Mancha aparecen ya en las islas inglesas de Jersey, etc., no solamente nuevas especies, sino varios nuevos géneros y subgéneros: **Haliotis**, **Cymatium**, **Thais**, y **Cerithium** entre los gasterópodos, **Coralliophaga** y **Cardium (Parvicardium)** entre los lamelibranquios, **Megathyris** (braquiópodo) y los equinidos **Strongylocentrotus** (también conocidos más al N.) y **Sphaerichinus**. En el Mar Cantábrico o Golfo de Vizcaya, aparecen también los gasterópodos **Bolma**, **Architectonica**, **Fossarus**, **Cassis**, **Cassidaria**, **Bursa**, **Ringicula** y los pelecípodos **Mesodema** y **Lithodomus**. En la costa de Portugal, aparecen: **Sinum**, **Mesalia**, **Cymbium**, **Columbella** y **Conus**; **Cardita**; los braquiópodos **Gryphus** y **Muehlfeldtia**; y el equinido **Arbacia**. Finalmente, en el Mediterráneo aparecen además: **Clanculus** (familia **Trochidae**), **Xenophora**, **Vermetus**, **Tenagodes**, **Euthria** (fam. **Neptuneidae**), **Pisania** (fam. **Buccinidae**), **Tonna**, **Fasciolaria**, **Typhis**, **Marginella** y los pelecípodos **Chama** y **Spondylus**. Se notará que con la transición a aguas más cálidas, vienen apareciendo muchos géneros conocidos de la provin-

cia Caribe. Paralelamente, varios de los géneros típicos de aguas más frías desaparecen de N. a S. en la provincia, principalmente en la bahía de Vizcaya; **Buccinum**, **Neptunea**, **Lacuna**, **Velutina**, **Thais** (*Nucella*), **Macoma**, **Astarte**, **Cyprina** y **Mya**, aunque algunos de éstos persisten en sitios fríos aun en el Mediterráneo. Toda la costa de Europa occidental al Sur de Bretaña, y la costa occidental del Africa, más las Islas Canarias, Madeira y las Azores, y todo el Mar Mediterráneo, se pueden incluir en esta provincia. En la costa occidental del Africa hay una transición con la provincia africana occidental más al Sur.

Pasando de las islas Británicas hacia el N., hay cambios que permiten definir una **provincia Boreal**, cuya fauna litoral se puede estudiar ya en las Islas Shetland. Desaparecen los géneros que sirven como eslabón entre las provincias céltica y lusitana; **Capulus**, **Erato**, **Trivia**, **Ocenebra**, **Ostrea**. En su lugar, aparecen nuevos: **Admete**, **Newtoniella**, **Spirotropis**; **Cadulus**; **Limopsis**, **Limaea** y los braquiópodos **Terebratalia**, **Macandrevia** y **Dallina**. Si bien no todos están restringidos a aguas frías (**Limopsis** se halla al Sur de la provincia céltica), la mayoría sí lo están, o al menos tienen allí mayor número de especies.

La **provincia Artica** tiene tantos géneros en común con la boreal, que Davies los trata en conjunto. El límite septentrional hasta donde la corriente del Golfo hace sentir su influencia benigna. Davies enumera los géneros siguientes como los más típicos de las dos provincias, con los marcados con (\*) siendo más bien de la provincia boreal:

Gasterópodos: **Acmaea**, **Eumargari-ta** s.s., **Euspira** (*Lunatia*), **Aporrhais**, **Trophon** (*Boreotrophon*), **Buccinofusus**, **Buccinum**, **Liomesus**, **Neptunea**,

**Sipho**, **Nucella**, **Admete**, **Volutomitra**, **Bela**.

Lamelibranchios: **Nuculana**, **Yoldia**, **Astarte**, **Thyasira**, **Cyprina**, **Ensis** (\*), **Anomia** (\*), **Mytilus** (\*), **Crenellia**, **Lyonsia**, **Zirphaea** (\*), **Saxicava**, **Panopaea** (\*), **Mya**.

Braquiópodos: **Hemithyris** ("Rhy-nchonella"), **Dallina**, **Terebratalia**, **Macandrevia**.

Equínidos: **Strongylocentrotus** (un inmigrante desde el Océano Pacífico).

La costa oriental de Norteamérica, "provincia trasatlántica" de Davies, la podemos llamar del **Nor-Atlántico occidental**. Su límite norte con la provincia boreal (que incluye Terranova) es bastante abrupto, porque entre Terranova y Cabo Cod hay un cambio de temperatura tan grande, que Davies no encuentra en este lado del Atlántico ninguna provincia análoga con la céltica de Europa; para él, esta "provincia trasatlántica" es más comparable con la lusitana. El límite sur de la provincia es menos clara; en la figura de Davies se indica como llegando hasta el sur de la península de Florida, pero si se va a llevar hasta ésta, hay que notar un cambio muy marcado en la composición de la fauna, al sur de Cabo Hatteras, región donde la corriente del Golfo se aparta de las costas. Al sur de dicho cabo, hay muchos elementos faunales de la provincia caribe. Davies considera que los dos géneros más característicos de esta provincia noratlántica son: el bivalvo **Mercenaria** (un Venérido), y el gasterópodo **Busycon**, y en segundo término los gasterópodos **Astyris** y **Atilia**, de la familia Columbelidos\*. Las especies de **Macoma**, **Mya** y **Mytilus**, se extienden más lejos hacia el Sur, que las especies correspondientes

\* "Abbott, en su libro "American Seashells", clasifica *Astyris* como un subgénero de *Mitrella*; no menciona *Atilia*".

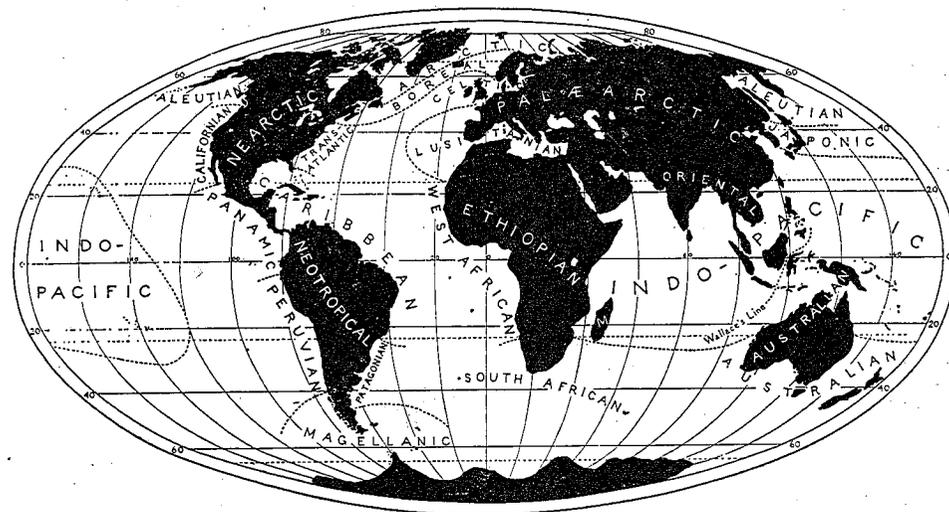


Fig. 20. Las provincias faunales de las regiones litoral-neríticas del dominio marino, y las grandes regiones zoogeográficas de las faunas terrestres de mamíferos. (Según Davies, 1934).

europas, pero **Nucella** se restringe aquí a la provincia boreal; Davies señala que tales datos constituyen otra ejemplificación de que la temperatura es solamente uno de los factores que determinan la repartición geográfica de los géneros biológicos. Las ostras americanas se refieren ahora al género **Crassostrea**, la especie es **C. virginica**. En común con la costa occidental de Norteamérica, la oriental tiene el erizo **Echinarachnius parma**, pero la ausencia del gasterópodo **Haliotis**, tan común en la costa occidental, es llamativa. Hacia el sur de la provincia se presentan los moluscos **Scaphella** y **Semele**, el braquiópodo **Glottidia** y el erizo **Melitta**, ninguno conocido de la provincia lusitana. Al sur de Hatteras, varios géneros tropicales se presentan, pero desaparecen completamente al N. de él por la desviación de la corriente del Golfo de Méjico fuera de la costa; ejemplos son **Conus**, **Cypraea**, **Strombus**, **Oliva**, etc.

Antes de continuar con las provin-

cias más australes de los dos lados del Océano Atlántico, Davies describe someramente las del **Pacífico septentrional**, las análogas de las provincias boreal y lusitana y la nordatlántica respectivamente. Estas son: la **Aleutiana** (paralela a la boreal), la **Japónica** y la **Californiana**. Las tres pueden tratarse juntas, puesto que tienen faunas bastante semejantes, modificadas localmente por formas árticas, indopacíficas o panameñas, respectivamente. **Ostrea** se halla en las tres, la **O. gigas** hasta en la más septentrional. **Crepidula** adquiere su mayor abundancia aquí. **Siphonalia** y **Placunanomia** se hallan en California y el Japón, pero no en las regiones intermedias. Otros gasterópodos que son indígenas aquí son: **Buccinum**, **Neptunea**, **Searlesia**, **Nucella** y el lamelibranchio **Acila**; estos géneros entraron en los mares de Gran Bretaña en el Plioceno.

La **provincia japónica** tiene mayor número de braquiópodos que cualquiera región de igual tamaño en el

mundo; 12 géneros con 30 especies. Las costas Oeste y Este de las islas tienen faunas de braquiópodos muy diferentes, con solamente 2 especies en común, y 4 géneros; uno de ellos, **Lingula**, representado por diferentes especies. Algunos moluscos japoneses típicos son: **Haliotis**, **Hemifusus**, **Rapana**, **Fusinus** y **Fulgoraria** (familia **Volutidae**). **Haliotis** es común en la costa de California también, de cuya región Davies menciona además **Amphissa**, **Volutharpa** y **Euthria**. Erizos aplanados de la familia **Scutellidae** se presentan en las tres provincias, p. ej., **Dendraster** en California. La costa de California tiene muchos géneros que se extienden hacia el Sur, hasta la misma región del Perú.

Los autores norteamericanos han hecho varios intentos de subdivisión y redefinición de las provincias en las costas del Pacífico, pero las limitaciones del espacio nos impiden desarrollar este tema. (Véase Schenck y Keen, 1936; Hedgpeth, G.S.A. Mem. 67, p. 364-367).

Las cuatro grandes provincias tropicales —la del **Africa occidental**, la **indo-pacífica**, la **panameña**, y la del **Caribe**— tienen tantos géneros en común que Davies los enumera primero para evitar repetición. Estos son:

Gasterópodos: **Trochus** s.s., **Nerita**, **Hipponyx** (no en Africa oc.), **Vermetus**, **Strombus**, **Cypraea**, **Ficus** (no en Africa oc.), **Cassis** (no panameño), **Bursa**, **Columbella**, **Tritonidea**, **Phos**, **Pisania** (los tres últimos no en Africa oc.), **Fusinus**, **Fasciolaria**, **Latirus**, **Murex**, **Melongena**; la mayoría de los géneros de **Volutidae**, **Harpa**, **Mitra**, **Oliva**, **Terebra** y **Conus**.

Lamelibranchios: **Codakia**, **Divaricella**, **Strigilla**, **Apolymetis**, **Semele**, **Tagelus**, **Crassatella**, **Chama**, muchos géneros de venéridos; **Basterofia**, **Anadara**, **Pinctata** (no en Africa), **Perana**, **Spondylus**.

Muchos de éstos géneros se extien-

den dentro del territorio de las provincias vecinas de la zona templada, en general con especies menos grandes y menor número de ellas. Otros géneros, con una repartición demasado cosmopolita para ser enumerados arriba, adquieren su mayor tamaño aquí en los trópicos, p. ej., **Turricula**.

**Provincia Indo-Pacífica.** Esta es la región más grande del mundo con una fauna tan uniforme, relativamente, a través de toda su extensión sobre 210 grados de longitud y 60 de latitud; desde el Golfo de Suez y Mozambique hasta el Mar Amarillo, e inclusive, según Dall, hasta la isla Ciarrion en long. 116° O. a 550 millas de la costa americana. Los siguientes géneros o se restringen a la provincia, o se extienden cuando más dentro de las provincias vecinas de temperatura moderada; es interesante notar que muchos de ellos fueron característicos de las faunas cenozoicas de Europa occidental.

Cefalópodos: **Nautilus** (esta es la única región del mundo donde persisten cefalópodos nautiloideos).

Gasterópodos: **Rimula**, **Scutus**, **Neritopsis**, **Delphinula**, **Pterocera**, **Rostellaria**, **Rimella**, **Terebellum**, **Latrunculus**, **Nassa** s.s., **Clavilithes**, **Hemifusus**, **Rapana**, **Drupa**, **Cryptospira**, **Ancillaria** (1 esp. en el Caribe), **Harpula**, **Melo**, **Aulicina**, **Aplustrum**, **Dolabella**.

Lamelibranchios: **Corbis**, **Sanguinolaria**, **Papyridea**, (también en el Caribe), **Tridacna**, **Hippopus**, **Meiocardia**, **Libitina**, **Coralliophaga**, **Trisodas**, **Cucullaea**, **Vulsella**, **Malleus**, **Placuna**, **Amussium**, **Myodora**, **Jouannetia**, **Brechites**.

Branquiópodos: **Lingula**.

Equinidos: **Temnopleurus**, **Amphiope**.

Foraminíferos: **Marginopora**, **Cycloclipeus** y **Alveolinella**, los únicos macroforaminíferos vivientes, comparables en tamaño y complejidad con

los Discocyclínidos, Numulítidos y Lepidocyclínidos del Terciario europeo y americano.

Los siguientes moluscos alcanzan su máximo tamaño aquí: **Trochus**, **Clanaculus**, **Cypraea**, **Bursa**, **Conus**, **Turris**, **Turricula**, **Drillia**, y los pelecípodos del orden Dysodonta, los que abundan especialmente en el Mar Rojo.

Según Davies, hay solamente 8 especies en común entre el Mediterráneo y el Mar Rojo, y en los 60 años de haberse abierto el canal de Suez, muy pocas especies han seguido esa ruta potencial de migración.

La provincia **africana occidental**, definida en la costa occidental del continente, parece ser deficiente en varios géneros tropicales, según se ha notado en la lista general; pero en contraste, contiene algunas formas peculiares, sobrevivientes del Mioceno o más antiguo de Europa; **Mesalia**, **Profoma**, **Dorsanum**, **Desmoulea**, **Genotia**; **Tugonia**, **Senilia**, **Voluta** s. s., **Cymbium**. Es la región donde se originó el gasterópodo **Marginella**, que tiene mayor variedad de subgéneros y especies allí que en otras regiones; de allí se extendió al Caribe. Hay dos equinidos muy especiales, **Heliophora** y **Rotula**.

La **provincia caribe** incluye no solamente el Mar Caribe y el Golfo de Méjico, sino la costa oriental de Suramérica hasta aproximadamente 27° S. Davies menciona como caracteres negativos de la fauna, la ausencia de **Cardita**, quizás será del subgénero **Cardita** s. s., porque hay una especie del subgénero **Carditamera** y otra de **Glans** (Abbott, p. 378); faltan **Strombidae**, a excepción de **Strombus**, pero de éste hay 6 especies al menos, incluyendo la enorme **S. gigas**. El gasterópodo más grande entre las especies vivientes, **Fasciolaria gigantea**, de unos 60 cm. de largo, vive aquí. Davies considera que hay pocos re-

presentantes de la familia **Cerithiidae**, pero Abbott indica un número considerable, si bien casi todos de tamaño pequeño. **Turritella** tiene una sola especie (**variegata**). Por el lado positivo, Davies menciona como típicos: **Sconsia**, **Voluta** s. s., **Gibberula**, **Miltha**, **Nemocardium**, **Echinochama** (también Pacífico), y los erizos **Mellita** y **Encope**. Como especialmente ricos en especies, Davies menciona: **Cymatium**, **Marginella**, **Epitonium** (no nos parece, compárese las listas en Abbott), **Melongena**, y **Littorina**. Formas que la región tiene en común con la Indo-Pacífica: **Xancus**, **Tudicla**, **Vasum**, **Distorsio**, **Lyria**, **Papyridea**, **Asaphis**; con la africana, **Glabella**, **Persicula** y **Lucina** s. s. Hay más de 50 especies comunes a la región caribe y la africana, especialmente la conocida **Voluta musica** (Linneo); probablemente esto se debe a las facilidades con que las larvas planktónicas pueden ser transportadas por la corriente ecuatorial.

La **provincia panameña** es notable por la pequeña proporción de especies que tiene en común con la caribe-antillana, sirviendo como ejemplo concreto del principio fundamental en la paleoecología y paleogeografía, de que las diferencias de faunas entre dos regiones dependen no solamente de la proximidad geográfica o sea de los factores climáticos, sino de las facilidades de intermigración entre dichas regiones. Davies considera que las diferencias entre las faunas actuales caribe y panameña, indican que desde la interrupción de las vías marinas por la edificación del istmo en el Mioceno terminal o Plioceno inferior, ha habido considerable extinción de especies e inmigración de otras nuevas, en ambas regiones, lo que ha acentuado las diferencias. Ambas, sin embargo, tienen muchos géneros en común, de aquellos tan ampliamente repartidos

en la zona tórrida, p. ej., **Conus**, **Terebra**, **Oliva** y los **Cancellariidae**. Algunos géneros típicos de esta provincia panameña son **Pseudoliva** (conocido también del sur de Africa), **Meta** y **Tellidora**. Los siguientes se extienden hacia el N. y el S. a la vez, dando color a la tesis de un condominio faunal que abarque todo el Pacífico oriental: **Trochus** (s. g. **Chlorostoma**), **Trochita**, **Crucibulum**, **Acanthina** y **Mulinia**. Davies encuentra poco en común con la provincia indopacífica, lo que subraya el efecto de las aguas profundas en impedir migraciones de las faunas litoral-neríticas; menciona una especie de **Pinctata**, y otras de **Venericardia**, **Ficus** y **Strombina**. **Strombina**, dicho sea de paso, es interesante en que durante el Mioceno tiene numerosas especies en la región Caribe, pero se suponía extinguido en esta provincia desde entonces, por cuyo motivo su frecuencia en los sedimentos de Cabo Blanco era un argumento para la edad miocena. Sin embargo, el género sí se ha encontrado vivo en el Caribe, aunque raro (comunicación personal de W. P. Woodring); otros aspectos de la fauna de Cabo Blanco sugieren una edad no más antigua que pliocena.

Los límites de la provincia panameña se determinan por la desviación de las corrientes frías que desde las regiones de latitudes altas se dirigen al ecuador, pero se apartan de las costas en las regiones de Punta Concepción de California, lat. 34 1/2 grados, N., y Punta Aguja en lat. 6 grados S., respectivamente. El límite norte de la provincia es menos netamente definido, de modo que la costa de Baja California a veces se considera como otra provincia transicional. En contraste, hay una bajada abrupta de temperatura en el S. que la separa marcadamente de la provincia peruana.

Esta provincia peruana se extiende

pues, desde Punta Aguja en el N., hasta la isla de Chiloé, aproximadamente 42 grados S., correspondiendo a la costa bañada por la corriente de Humboldt. En esta región se encuentra la máxima concentración de las familias siguientes, que probablemente se originaron aquí: **Purpuriidae**, **Calyptraeidae** y **Fissurellidae**. La primera está representada por **Thais**, **Acanthina** y **Concholepis**, la segunda por **Trigonostoma** y otros, la tercera por **Trochita** y **Crucibulum**. **Fissurella** alcanza un tamaño enorme, también algunos Patélidos como **Acmaea**. Los **Trochidae** están representados por **Chlorostoma** y **Tegula**. Los anfineuros de la familia **Chitonidae** tienen un gran desarrollo. Entre los lamelibranquios, **Mulinia** y **Chione** son característicos (aunque éste también tiene varias especies en el Caribe), acompañados por géneros característicos de aguas frías como **Malletia** (género principalmente antártico), **Nuculana** y **Mytilus**. Sin embargo, hay también una proporción de géneros considerados usualmente como típicos de aguas más cálidas, aunque representados por menos especies que en la provincia panameña: **Chama**, **Cardita**, **Semele**, **Cypraea**, **Bursa**, **Murex**, **Mitra** y **Oliva**. Entre los rasgos negativos, Davies señala la escasez o ausencia de las familias: **Turbinidae**, **Epitonidae**, **Turritellidae**, **Fusinidae**, **Margiellidae**, **Turridae**, **Conidae**; de los géneros más comunes de **Trochidae**; y de las familias de pelecípodos **Lucinidae**, **Tellinidae**, **Cardiidae**, **Pernidae**, **Pectinidae** y **Limidae**. Un fenómeno singular y al parecer no explicado, es el color predominantemente oscuro de los moluscos\*. Estas observaciones de Davies se basan en un estudio por

\* Hay varias explicaciones posibles, véase H. B. Moore; como un colorido protector contra depredadores; como efecto de la dieta, p. ej., una dieta de mejillones, **Mytilus edulis**, produce un color oscuro en el gasteró-

Dall (1909), lo que sugiere que la fauna ha sido poco estudiada. Por un comentario de Thorson nos consta que la Universidad escandinava de Lund mandó una expedición a la costa de Chile en 1948-49, pero al parecer no se han publicado los datos ecológicos. Thorson alude a una comunidad con **Amphipodia** sp. y **Schizaster** sp., en los fondos blandos de la costa (Thorson, p. 514).

Por el otro lado de Suramérica, se podría suponer que la provincia patagónica (argentina sería preferible) fuese análoga a la peruana, pero hay considerables diferencias. En primer término, el límite Sur de la provincia caribe-antillana (y el Norte de esta provincia argentina) se considera que se halla en la isla de Santa Catalina en la costa del Brasil, al sur del Trópico de Capricornio, a casi 27° S., o sea, unos 20° más al S. del límite Norte de la provincia peruana. Es notable que la fauna caribe no termina con la desembocadura del Amazonas, aunque naturalmente está interrumpida por ella; se sugiere que esto indica que el desarrollo de este enorme sistema hidrográfico tenga una edad geológica relativamente reciente. Por otra parte, parece que los organismos litorales encuentran el tránsito por el Cabo de Hornos, tan difícil como lo era para los barcos de vela, porque casi no hay especies comunes a la provincia peruana y la patagónica. Ambas carecen de algunos géneros frecuentes en otras regiones, y tienen en común los géneros **Trochus** y **Mulinia**, pero por lo demás son bastante diferentes. Faltan las mismas familias en la provincia argentina como en la peruana; y ade-

podo **Purpura**, una de balánidos, un color claro. Una correlación entre el oleaje y el color de **Purpura** se produce por la mayor abundancia de **Mytilus** en la costa más expuesta. (Moore, p. 374).

más, **Capulidae**, **Vermetidae**, **Terebridae**, **Crassatellidae**, **Psammobiidae**, y **Spondyliidae**; las **Arcidae** casi no llegan al S. del Río de La Plata. Familias de aguas tibias que llegan a esta provincia pero no más al S., son: **Veneridae**, representada por **Chione**, **Pitar** y **Amiantis**; **Corbulidae** con **Cuneocorbula**; y **Pholadidae** (**Barnea**). Hay algunos pocos géneros peculiares a la región, especialmente los Volútidós **Cymbiola** y **Zidona**. Los Naticidos están representados principalmente por **Polinices**, las **Calyptraeidae** por **Crepidula**, **Trochita** (también en el Pacífico oriental) y **Sigapatella**, conocido de Nueva Zelandia. Hay una especie de **Venericardia**. En común con la provincia surafricana, hay **Bullia**.

La provincia Magallánica, que abarca el extremo sur del continente y las islas y costas de la Antártida (al menos, hasta donde éstas han sido investigadas), tiene menos semejanza con la patagónica que con la peruana; hay afinidades también con las faunas de Australia y el sur del Africa. Hay mayor semejanza con la provincia ártica de lo que se podría esperar, dada la distancia; aquí reaparecen los géneros **Astarte**, **Saxicava**, **Buccinum**, **Liomesus**, **Admete** y **Trophon**. Un rasgo anómalo es la presencia de algunos géneros normalmente típicos de aguas cálidas, especialmente de Volútidós. **Venericardia** se halla aquí, también numerosas especies de la familia **Trochidae**, de cuya familia hay no solamente los géneros ampliamente repartidos **Calliostoma** y **Monodonta**, sino dos conocidos también en la parte oriental del Océano Pacífico: **Chlorostoma** y **Neomphalius**. **Diloma** y **Photinula**, de la misma familia, son restringidos aquí. Grupos que faltan son: **Turbinidae**, **Cardiidae**, **Tellinidae**, **Ostreidae**, **Pholadidae**, y **Corbulidae**, mas varias familias de gasterópodos de menor importancia. El género **Siphonaria** y la

familia **Mallettiidae**, se considera que son indígenas aquí. Cierta relación con Australia está indicada por los braquiópodos, con el Perú por **Mulinia**, **Trochita**, **Crepidula** (**Crepidatella**) y **Acanthina**, y con el sur del África por **Bullia** y **Argobuccinum**.

La **provincia surafricana**, según Davies tiene pocos géneros distintivos, aunque parece que a base de los estudios más modernos habría que rectificar y quizás dividir la región en varias subprovincias (véase Hedgpeth, Fig. 2, p. 362 del **Treatise**, Stephenson, 1947 y otros). Los comentarios de Davies, inclusive, sugieren considerable complejidad; él halla cierta semejanza con la provincia peruana, no tanto de géneros sino de la abundancia de unas mismas familias; los anfineuros, y gasterópodos como **Acmaea** y **Fissurella** (éstos sugieren una costa rocosa). **Trigonostoma** y **Pseudoliva** se conocen también de la provincia peruana. **Cominella**, **Argobuccinum** y **Baryspira**, quizás llegaron desde Nueva Zelandia vía la provincia magallánica. Hay pocos géneros en común con las provincias colindantes, según Davies, p. ej., **Desmoulea**, con el oeste del África, y **Drupa** (**Sistrum**) y **Nassarius** con la región indopacífica. Un braquiópodo peculiar a la provincia es **Kraussina**.

La costa norte de Australia está habitada por faunas típicamente indopacíficas, pero al sur de aproximadamente 30° lat. S., se ha considerado como otra provincia, la **australiana**. Notable aquí es la presencia de géneros (o al menos, de unos estrechamente afiliados) que en otras partes del mundo se extinguieron en el Cretáceo o en el Terciario antiguo, p. ej.; **Neotrigonia** (casi idéntico a **Trigonia**), **Campanile** y **Gisortia**. Podemos agregar que últimamente se describieron de esta región, dos géneros de pequeños crustáceos (Ostrácodos) pertenecientes a un grupo que se suponía

extinguido desde el fin de la era Paleozoica\*. Varios géneros tropicales, no solamente se extienden más hacia el Sur en esta provincia que en otras, sino que están representadas por especies más grandes; algunos de los géneros que prosperan aquí son: Los Volútidos, especialmente **Aulica**; **Alcirohoe**, **Conus**, **Phasianella**, **Clanculus**, **Haliotis**, **Cardita**, **Crassatella** (**Eucrasatella**), **Libinia**, **Mesodesma**, y **Clavigella**. Dos lamelibranquios especializados, sésiles, son peculiares aquí: **Clidothaerus** (o "**Chamostrea**") y **Myochama**. **Struthiolaria** es de esta provincia, se conoce también de la isla de Kerguelen en lat. 50° S., longitud 70° O. de Greenwich, al sur del Océano Índico. Sería interesante tener datos más modernos. Probablemente listas faunales más modernas darían pocos indicios de relaciones con otras regiones, por la tendencia moderna hacia la subdivisión de los géneros; por ejemplo, la "comunidad de **Turritella**", mencionada por Thorson (1957, p. 514) se caracteriza por un turritélido que se llama ahora **Maoricolpus roseus**; la lista de las especies asociadas de la comunidad (**Tawera spissa**, **Notocorbula zelandica**, **Nucula nitidula**) indican la misma tendencia nomenclatural. Esta comunidad se describió de la costa de Nueva Zelandia, por lo tanto, corresponde más bien a

- la **provincia novozelandica**, que se distingue de la australiana principalmente por un componente indopacífico menor, y uno magallánico más importante, p. ej., **Malletia**, **Trochita**. El gasterópodo **Sigapatella** es una forma característica; **Cominella** se halla aquí, en Tasmania, y en la costa del sur de África.

La fauna litoral del **Mar Negro**, es

\* Los géneros de **Beyrichiacea**, **Puncia** y **Manawa**, descrito por N. B. de Hornibrook, 1947.

sumamente pobre, principalmente es una fauna de tipo mediterráneo muy reducida. Se calcula que de 400 especies de moluscos en el Mar Egeo, unos 250 llegan al Mar de Mármara, 150 al Bósforo, 90 al Mar Negro, y solamente 15 al Mar de Azof. Este último está incluido por Davies en una provincia **Aralo-cáspica** que incluye los Mares de Aral, el Caspio, el de Azof, y algunos lagos de Besarabia, inmediatamente al norte de la desembocadura del río Danubio. No obstante, por la historia geológica parece más natural incluir el Mar Negro con éstos, ya que todos son remanentes relativamente reducidos de un vasto mar que cubría la región en el Mioceno inferior y medio, y que han sido progresivamente reducidos en salinidad. Para una buena reseña de la historia, véase Caspers (1957) (G.S.A. Mem. 67, vol. 1, pp. 802-808). La ecología del Mar Negro y el de Azof, está ampliamente discutida por Caspers; la del Caspio y la del Aral por Zenkevich, en el **Treatise**.

## LA ZONA LITORAL

La **zona litoral**, en la clasificación moderna usada en el **Treatise**, se define como la zona influida por las mareas, si bien algunos autores (en especial Grabau) han extendido el término a las aguas sobre la plataforma continental. Para una visión sinóptica concisa de los caracteres de esta zona, conviene leer la sección pertinente en el texto de Clarke (páginas 127-134).

Fleming, en el **Treatise** (p. 100) nos recuerda que no existe una regla fija para predecir la amplitud de las mareas ni su frecuencia (es decir, si diurnas o semidiurnas), ya que no hay ninguna relación entre estos caracteres y la latitud. Afortunadamente, Doty, en el capítulo 18 del mismo tomo, ha dado un mapa que presenta

los caracteres y la máxima amplitud en metros, de la marea, en casi todas las costas del mundo, distinguiendo los tipos siguientes: mareas semi-diurnas, o sea, aproximadamente seis horas de pleamar y seis de bajamar; mareas semidiurnas irregulares; mareas regulares diurnas, y mareas irregulares diurnas.

Además de las variaciones diurnas, hay también las variaciones mensuales relacionadas con las fases lunares; durante el primero y el último cuarto lunar se presentan las llamadas **aguas muertas** (en inglés, **neap tides**), mientras que durante los períodos de luna nueva y luna llena, hay mareas mucho más amplias, denominadas **aguas vivas** (**spring tides**). La duración y profundidad de la inundación que sufrirá un organismo determinado, variará según el nivel en que vive; por ejemplo, un animal o una planta fija cerca del límite superior de la zona litoral, quedará recubierto por el agua sólo durante un breve período cada dos semanas aproximadamente, mientras que uno que vive próximo al límite inferior estará sumergido, excepto por intervalos breves durante las aguas muertas. Más adelante consideraremos los esquemas de una subdivisión de la zona litoral basada en estas diferencias en los niveles de las mareas.

Los organismos que habitan la zona litoral, tienen que estar adaptados a soportar cambios muy grandes; no solamente los extremos de emersión que los expone a condiciones aéreas y de inundación que exigen una respiración acuática, sino cambios, con frecuencia drásticos, de temperatura y de iluminación. A veces deben soportar una insolación excesiva con efectos directos sobre la temperatura, el contenido de agua del organismo, o la salinidad del agua por efectos de la evaporación. En algunos paraderos pueden tener que resistir el im-

pacto del oleaje. Muchos de los habitantes de la zona litoral son sésiles, como algas, percebes, mejillones y los gasterópodos sésiles de forma cónica baja que en inglés se describen como "limpets": géneros como **Patella**, **Acmaea**, **Fissurella**, etc.). Algunos de los organismos se defienden por su gran resistencia a tales cambios, o por medio de una concha que pueden cerrar, almacenando agua suficiente para la respiración. Otros se desplazan con mayor o menor facilidad, buscando condiciones más favorables, p. ej., los cangrejos. Ciertos gasterópodos cierran la boca de la concha con un opérculo impermeable, y son capaces de resistir largo rato fuera del agua; el género **Tegula** es notable al respecto, pudiendo sobrevivir varias semanas o meses fuera del agua. Otro grupo de animales, como muchos bivalvos y los gusanos poliquetos, se entierran en las arenas del fondo. Muchos de los bivalvos también efectúan migraciones diarias siguiendo las condiciones más propicias según las mareas.

En resumidas cuentas, aunque las condiciones de la vida son tan difíciles, hay también factores favorables; hay iluminación para las plantas o para los animales que llevan algas simbióticas en sus tejidos, buena circulación de oxígeno, y generalmente un buen surtido de detritus orgánico resultante de la destrucción de las algas y de la desintegración de animales muertos. Así que estas regiones están por lo general densamente pobladas.

Las condiciones en la zona entre las mareas varían notablemente con las condiciones locales, hasta tal punto que conviene establecer varios biotopos. H. B. Moore establece las divisiones siguientes: a) costas rocosas; b) costas de piedras sueltas, guijarros, etc.; c) playas arenosas; d) costas fan-

gosas. El considera los estuarios como una categoría aparte, algo distinta de la zona litoral; es plausible que éstos merezcan un tratamiento especial, lo mismo que los arrecifes madreporicos, porque con ambos parece artificial una separación entre la parte emergida y la permanentemente sumergida. Sin embargo, quizás los estuarios se consideran mejor como un caso especial de las costas fangosas. En el **Treatise**, hay capítulos especiales sobre los siguientes biotopos: a) las superficies rocosas entre las mareas (por M. S. Doty); b) las playas arenosas (por J. W. Hedgpeth); c) los estuarios y lagunas, por Emery, Stevenson y Hedgpeth; y d) los arrecifes madreporicos, por J. W. Wells. Estas divisiones son suficientes para dar una idea adecuada de la complejidad de la zona litoral. La playa de piedras sueltas, en la interpretación de Moore puede variar desde grandes peñones descansando en arena (de ahí, una combinación de los biotopos rocoso y arenoso) hasta grava, en cuyo caso, debido a la abrasión entre los fragmentos, la vida es casi imposible. Vamos a reseñar brevemente, pues, las condiciones ecológicas de los biotopos descritos en el Tratado.

**Playas rocosas.** Una discusión extensa de este ambiente es dada por M. S. Doty, quien expone criterios para una subdivisión muy refinada. No intentaremos reseñar este artículo en su totalidad, ya que el ambiente de las superficies rocosas, a pesar de que tiene gran importancia para los ecólogos marinos, no la ofrece en igual medida para los paleoecólogos. Las costas rocosas por estar expuestas a la erosión marina activa, tienen casi ninguna posibilidad de ser conservadas para el geólogo del futuro. Sin embargo, quizás sería factible interpretar la **proximidad** de determinados sedimentos fósiles a una

costa rocosa, por algunos de los rasgos que indicaremos.

Los organismos de las playas rocosas están expuestos a las fluctuaciones indicadas arriba para la zona litoral en general, las que en algunos casos, pueden ser aún mayores en este subambiente especial que en otros litorales. Por ejemplo, la temperatura máxima a que están expuestos los organismos sésiles, puede ser muy elevada porque la superficie rocosa almacena el calor atmosférico y lo refleja sobre los organismos. A este efecto, atribuye H. B. Moore el fenómeno de que esta zona litoral rocosa en los trópicos es mucho más pobre en organismos que en las zonas templadas. Por el lado favorable, el substrato rocoso permite a los organismos sésiles como las algas, los percebes o los mejillones, fijarse bien, sin peligro de tener sus bases minadas como puede acontecer con los organismos que intentan anclarse en un fondo de arena floja o barro. Así anclados, pueden aprovechar el aporte de oxígeno que traen las olas. Varios tipos de gasterópodos, de forma cónica baja p. ej., **Acmaea**, viven adheridos a la superficie rocosa o a los peñones en una costa de tipo mixta (de rocas aisladas, entre arenas), donde hallan abundante alimento en las algas. Hay una correlación entre la forma de la concha y el nivel que habita el individuo; los de niveles más altos en la zona, de ahí expuestos al peligro de resecarse; tienen la concha más gruesa, de una forma cónica más elevada, y en especial, con más material calcáreo en la región apical (véase H. B. Moore, Figs. 10-20, página 363). Más cerca del nivel de bajamar, los animales no tienen que mantener el cuerpo tan contraído, y forman una concha más aplanada. Diferentes especies de gasterópodos (no necesariamente estos tipos adheridos, sino otros que habitan la zona)

varían en su resistencia a la emergencia.

Hay muchos estudios de la zonación local de las especies en varias regiones, especialmente en la costa del Africa del sur (Broekhuysen, 1940). Mattox (1949) ha hecho estudios semejantes de los gasterópodos portorriqueños, que demuestran la estrecha correlación entre la duración que puede sobrevivir una especie fuera del agua, y el nivel que habita. Así que, p. ej., **Purpura patula**, que puede vivir nueve días en el laboratorio sin agua, vive normalmente en el nivel de bajamar en las rocas, mientras que al otro extremo, **Tectarius muricatus**, que vive a nueve metros por encima de ese nivel, puede resistir hasta 17 meses al estado seco. (Tiene un opérculo que obtura perfectamente la abertura de la concha y conserva la humedad del cuerpo; pero cómo respira durante tan prolongada emergencia, no nos consta que se haya determinado aún). **Purpura** es un género característico de litoral rocoso, ya que difícilmente puede cruzar fondos arenosos; por esto, y porque no tiene etapa planktónica sino que pone los huevos en una cápsula adherida a la roca, frecuentemente no llega a establecer colonias en rocas aisladas por trechos de arena. Las especies son carnívoras, alimentándose de percebes (balánidos) o mejillones, y existe una relación estrecha entre la dieta y el color, claro cuando come balánidos y oscuro cuando la dieta es de mejillones.

Los organismos que se prestan mejor para una zonación universal, parecen ser, respectivamente, descendiendo desde la zona fracamente terrestre o supralitoral, hacia el mar:

1. Los pequeños gasterópodos del género **Littorina**, y otros de la misma familia (p. ej., **Melaraphe** en Suráfrica), los que viven nor-

malmente un poco por encima del nivel de pleamar, y que permiten definir lo que se ha llamado la **zona de Littorinas** o **franja supralitoral** de la figura de Doty, reproducida aquí como Fig. 21.

2. Los percebes (o balánidos - los cirrópodos del género **Balanus**), que viven normalmente en una zona por debajo de la de **Littorinas**, típicamente entre pleamar y bajamar.
3. Las algas del género **Laminaria**, que viven normalmente un poco por debajo del nivel de bajamar, y que definen una **zona de Laminarias** o **franja infralitoral** de la figura.

La figura que hemos reproducido de Doty, compara dos intentos de una zonación universal, hechos por Womersley y Edmonds (1952), y por Ste-

phenson y Stephenson (1949), respectivamente, relacionándolos con niveles definidos en términos de la marea. Por no haber podido consultar los trabajos originales, no queremos entrar en una discusión más extensa de la zonación. Confesamos no haber podido sacar nada en claro del artículo de Doty, y en vista de la poca aplicación que tal zonación refinada de las playas rocosas tiene para la paleoecología, no nos parece necesaria una discusión más detallada.

Además de la zonación vertical, la configuración de las rocas es también interesante para el biólogo marino. Pequeños charcos formados en depresiones entre las rocas ("rock-pools", "tide-pools") constituyen otra modificación del ambiente, donde se abrigan muchos organismos tales como hidroideos, ciertas algas, pececillos, etc., que no pueden resistir una

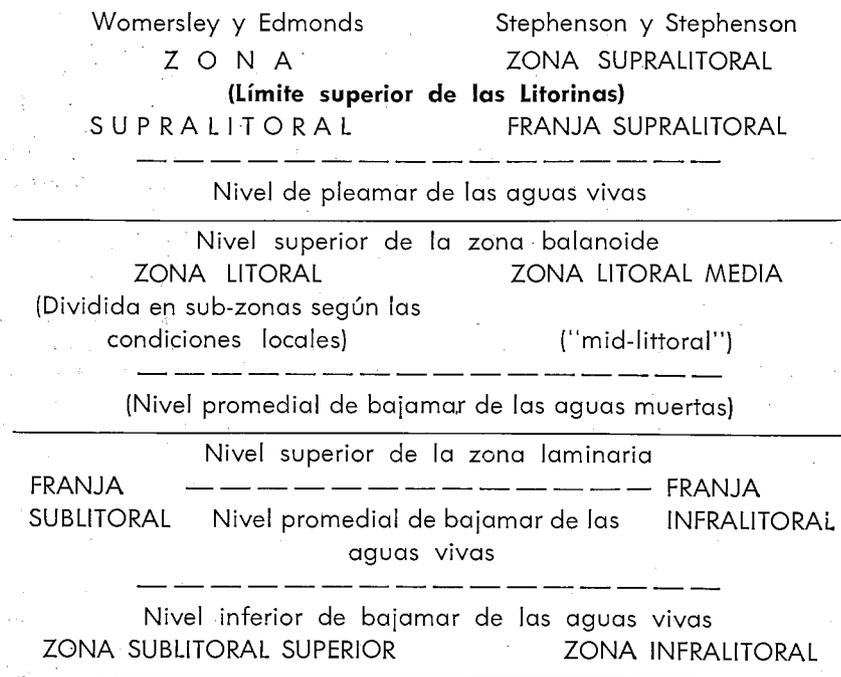


Figura 21. — Esquema de una zonación universal de las costas rocosas, según Doty (1957) - Treatise, p. 548.

emersión prolongada. En tales charcos puede haber fluctuaciones muy marcadas de temperatura y de salinidad, debido a la evaporación; si tienen una densa población de algas, habrá también marcadas fluctuaciones en el contenido de oxígeno.

**Playas arenosas.** Una discusión extensa de este biotopo se da en el **Treatise** (vol. 1, pp. 587-608), preparada por Hedgpeth. Otro estudio interesante es el de H. B. Moore (1958, pp. 386-399). Aquí haremos caso omiso de la geomorfología de las playas, tema incluido en el artículo de Hedgpeth, para considerar estrictamente la ecología biológica. Un dato interesante sobre el ambiente químico, señalado por Hedgpeth, es la presencia, en casi todas las playas arenosas, de una capa negruzca a cierta distancia bajo la superficie, cuyo color se debe a sulfuros ferrosos formados bajo condiciones anaeróbicas. La profundidad de esta capa varía, siendo mayor (hasta 1½ metros o más) en playas abiertas expuestas al oleaje fuerte, y menor (a veces tan sólo unos centímetros) en playas abrigadas y bahías. Otros aspectos químicos de las arenas de playa, como el contenido de CO<sub>2</sub> y de oxígeno libre, son mucho más variables.

En general, el número de **especies** que habitan este biotopo es menor que en algunos otros de los litorales, pero el número de **individuos** de una especie puede ser enorme. La flora es especialmente pobre, ya que relativamente pocas algas habitan fondos arenosos, y de ellas, la mayoría no pueden vivir en esta zona entre las mareas. Puede haber algunas plantas superiores especializadas tales como **Zostera**, **Halodule** y **Cymodocea**. Muchos microorganismos pueden vivir en los intersticios de la arena (véase la figura 2,1 de Clarke). Ciertos microorganismos que viven entre la arena, tienen un movimiento vertical

relacionado con la marea, como demostrado por Fauré-Fremiet (1951) por la diatomea **Hantzschia amphioxys**, que forma manchas en la superficie durante la marea baja; casos semejantes se indican por ciertos dinoflagelados, crisomonadinos, y el platelminto **Convoluta roscoffensis**. El caso de este último es especialmente interesante, por tratarse de una relación simbiótica con flagelados que viven en su tejidos, y los que el animal "cultiva", subiendo a la superficie en bajamar para que reciban una iluminación suficiente. Cuando la marea sube el gusano se entierra para no ser llevado por las aguas. (Para una discusión más extensa de este caso y otros de simbiosis, véase el capítulo por C. M. Yonge en el **Treatise**).

Los animales cuantitativamente más importantes en las playas arenosas son lamelibranchios, poliquetos y ciertos crustáceos. Como ilustración de la abundancia en que pueden ocurrir ciertas especies, Hedgpeth menciona que de una playa californiana de cuatro millas de largo, se sacaron en dos meses unos 2.000.000 de ejemplares adultos de la almeja gigante comestible ("Pismo clam"), **Tivela stultorum**, cuyo peso promedio es poco menos de un kilo, mientras que otro millón de ejemplares por lo menos, se botaron por ser demasiado pequeños. En la vecindad de La Jolla en el Sur del mismo estado de California, se calcula la población de cierta especie de poliqueto en 3.000 por pie cúbico, de modo que una sola milla de playa con una capa de diez pies de ancho y uno de espesor vertical, contendría unos 158 millones de poliquetos.

La mayoría de los habitantes de las playas arenosas se alimentan de "leptopel" o detritus orgánico muy fino, siendo principalmente limófagos (los poliquetos) o filtradores (los pelecípodos); los únicos que "raspan" el

leptopel de las superficies de los granos de arena, tienen que ser microscópicos, tales como los pequeños crustáceos, copépodos y ostrácodos. Los lamelibranquios tienen varios tipos de dispositivos para impedir que los granos de arena lleguen a dañar sus delicadas branquias; p. ej., **Cardium edule** separa el leptopel de la arena por papilas en el sifón inhalante; **Tellina** tiene los sifones separados, muy largos, el sifón inhalante recoge el detritus y rechaza la parte inservible como pseudo-heces, sin dejarlo llegar a las branquias (Fig. 22). Algunos gasterópodos, p. ej., **Olivella**, son micrófagos filtradores, mientras que otros, como **Polinices** y **Terebra**, son carnívoros, atacando los lamelibranquios del biotopo. Entre los equinodermos hay algunos que viven en playas abiertas, aunque por lo general inmediatamente debajo de la marea; son pequeños ofiúridos, holotúridos y erizos irregulares, general-

mente caracterizados por una reducción de los pies ambulacrales (p. ej., **Astropecten**), una reducción de las espinas del carapacho a muy finas y cortas (p. ej., **Mellita**, **Dendraster**) o por algún desarrollo especializado del aparato respiratorio que les permita vivir enterrados, p. ej., **Echinocardium**.

Hay una microflora y fauna bastante ricas y variadas en los intersticios de los granos de arena, tales como nematodos, rotíferos, gastrotricos, copépodos y otros crustáceos microscópicos (véase, por ejemplo, Clarke, figura 2-1); es interesante señalar que en 1943 se halló en este ambiente una subclase (o cuando menos una Orden) de crustáceos nuevos para la ciencia, descrita por Pennak y Zinn (1943), como **Mystacocarida**. Hedgpeth (p. 596) menciona varios trabajos importantes, especialmente por Remane y sus discípulos en Kiel; y reproduce un diagrama de Remane

que expresa el complejo ciclo alimenticio de la fauna arenícola. Remane utiliza varios términos derivados de la raíz griega **psamm-** = arena, combinando varios prefijos con **-psammon** = la biota. Así que la **epipsammon** es la biota (fauna más flora) de la superficie; la **endopsammon**, los macroorganismos cavadores, y el **mesopsammon**, esta microfauna intersticial (Véase Hedgpeth, Fig. 9 (p. 597).

Un aspecto llamativo de este biotopo, señala Hedgpeth que lo imparten las marcadas **fluctuaciones** en las poblaciones, algunas más o menos regulares, como las anuales, que se basan en que la mayoría de las especies no viven más de un año; otras irregulares y a veces sin causa aparente. Por ejemplo, **Donax**, el "chipichipe" puede abundar en ciertos años y escasear en otros; en Nueva Zelanda se han notado alternaciones de dos especies de un mismo género (**Amphidesma**). La renovación anual de las poblaciones, tiene que efectuarse por nuevas colonizaciones por las larvas planktónicas, de ahí que las larvas de las especies deben tener una vida larval lo suficientemente larga para permitirles hallar nuevos territorios. El crustáceo **Emerita ananoga** parece tener una vida larval de cuatro meses.

Estudios ecológicos detallados de las playas arenosas, tendrían que considerar una zonación vertical, la que indudablemente existe, si bien menos llamativa que en las playas rocosas. Hay que distinguir al menos una zona **supralitoral**, siempre emergida excepto quizás durante las mareas más altas del año, y una **litoral** entre las mareas usuales. Otros observadores han distinguido tres o cuatro zonas (véase Hedgpeth, p. 599). Una dificultad en utilizar los organismos para tal zonación es que muchos se trasladan siguiendo movimientos de la marea, tal como se ha menciona-

do para muchos microorganismos. **Donax** es un bivalvo algunas de cuyas especies son especialmente activas en este sentido (véase Hedgpeth, 1957 f, Fig. 9, p. 600) y también llegan rápidamente a la superficie cuando han sido enterrados accidentalmente por masas de arena moviediza. En otras varias especies se ha notado, que se agrupan en diferentes niveles de la playa, según la edad o el sexo de los individuos. En **Thoracophelia mucronata** y **Tellina tenuis** los individuos mayores se hallan más altos en la playa, mientras que con **Cardium edule** es a la inversa.

El poliqueto **Arenicola marina** es una especie que habita una zona desde la línea de pleamar de las mareas más bajas del año, hasta por debajo de la zona de la marea baja, siendo más abundante en arenas algo fangosas (véase H. B. Moore, Figuras 11-6, p. 393). Vive permanentemente enterrado, en una madriguera cuya forma se compara con la letra "U", o más bien con una "L", puesto que el bajante del tubo hacia la cabeza del gusano, que vive en la galería horizontal, está llena de arena floja, que es la que el animal va a ingerir; periódicamente sube por el otro bajante para depositar su excremento en la superficie, en la forma de pequeñas barras arenosas. Parece que algunas zonas de fondos marinos descritos como compuestos de "microcoprolitos" se deban a las actividades de poliquetos. Algunas pistas tubulares en sedimentos fósiles, puede que hayan sido formadas por organismos semejantes.

En sus consideraciones finales sobre la interpretación paleoecológica de los depósitos de playas, Hedgpeth señala que las actividades de los organismos minadores pueden perturbar la estratificación y la zonación, al perjuicio de las interpretaciones paleoecológicas del futuro. Por otra

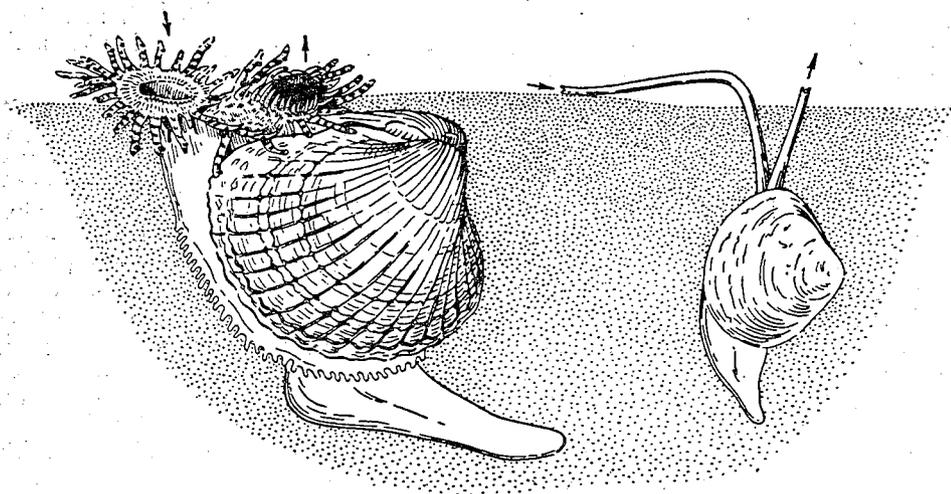


Fig. 22. Dos pelecípodos típicos de fondos arenosos. *Cardium edule*, a la izquierda, se alimenta de material planctónico en suspensión en el agua que entra por el sifón inhalante del manto, y que está provisto de papilas sensorias en el borde que impiden la entrada de partículas de arena. A la derecha, *Tellina tenuis*, se alimenta de detritus orgánico fino que recoge de la superficie por medio de su sifón inhalante muy alargado. Las flechas indican el sentido de circulación del agua. (Según Hedgpeth, 1957).

parte, concentraciones de conchas vacías dejadas por las olas en tales playas, pueden también dar una idea errónea de los habitantes originales de la zona. No obstante, bajo condiciones excepcionales puede ser conservada una población en un mismo sitio; Hedgpeth refiere a algunos estudios paleoecológicos sobre tales hallazgos, y nota que inclusive ha sido posible en ciertos casos interpretar la orientación original de la playa (Seilacher, 1953).

### EL AMBIENTE ESTUARINO

En las regiones de los estuarios hay una gran variedad de condiciones, que dificultan una descripción sucinta de este ambiente como un tipo especial. H. B. Moore (1958, página 399) considera que el rasgo más característico de él es la **salinidad subnormal** más la **fluctuación** de ésta con el ciclo de las mareas y de las estaciones, de modo que para poder resistir y prosperar en este ambiente, no basta una simple adaptación del organismo a una salinidad reducida. En segundo término, señala Moore que debido a estos mismos ciclos, la temperatura fluctúa más que en el mar abierto. Luego generalmente hay un contenido elevado de sedimentos finos (barro y limo) en suspensión en las aguas, que tiende a reducir la iluminación, y a obstruir los órganos filtrantes de los animales presentes, pero que a la vez aporta material nutritivo. El flujo y reflujo de las aguas con motivo de las mareas, pueden producir dificultades para algunos organismos, puesto que si bien traen oxígeno y material alimenticio, pueden arrastrar los sedimentos blandos. En breve, son tan variadas las condiciones que casi todos los estudios serios de regiones estuarias han tenido que establecer zonaciones locales y

distinguir diversos subambientes o facies, según la región estudiada.

Haciendo caso omiso de los muchos estudios ecológicos de estuarios en las regiones templadas, vamos a limitarnos aquí a comentar algunos efectuados en los estuarios de la costa del Golfo de Méjico, por corresponder esta región a la misma provincia faunal del Caribe, como las costas actuales de Venezuela, Trinidad y gran parte del Brasil. Además, las condiciones sobre gran parte de las cuencas sedimentarias de Venezuela durante el Cenozoico, deben de haber sido muy semejantes a las que imperan actualmente en tal costa, de modo que conclusiones ecológicas y paleoecológicas derivadas de esa región deben tener mucha aplicación en la estratigrafía venezolana. Bajo el patrocinio del Instituto Americano del Petróleo (el A. P. I.), se han llevado a cabo numerosos estudios sobre la sedimentología, ecología y paleoecología de esa región. Gran parte de éstos se han ocupado de las facies como indicadas por los Foraminíferos; pero por estar tales datos estrechamente relacionados con la Micropaleontología, no hemos querido reseñarlos aquí, limitándonos a exponer brevemente algunos aspectos de las facies distinguidas por la distribución de los macroorganismos y en especial los moluscos. Para esto nos hemos basado principalmente en el capítulo por Ladd, Hedgpeth y Post en el segundo tomo (el de Paleoecología) del *Treatise*; y en un trabajo reciente por R. H. Parker (1959) en el boletín mensual de la A. A. P. G.

Ambos autores establecen una serie de subambientes, los que, en la forma más simplificada, se pueden describir por referencia a la figura generalizada de Parker (Fig. 32, página 2.157). En realidad, estos ambientes se estudiaron en detalle en dos regiones algo distintas; una, en

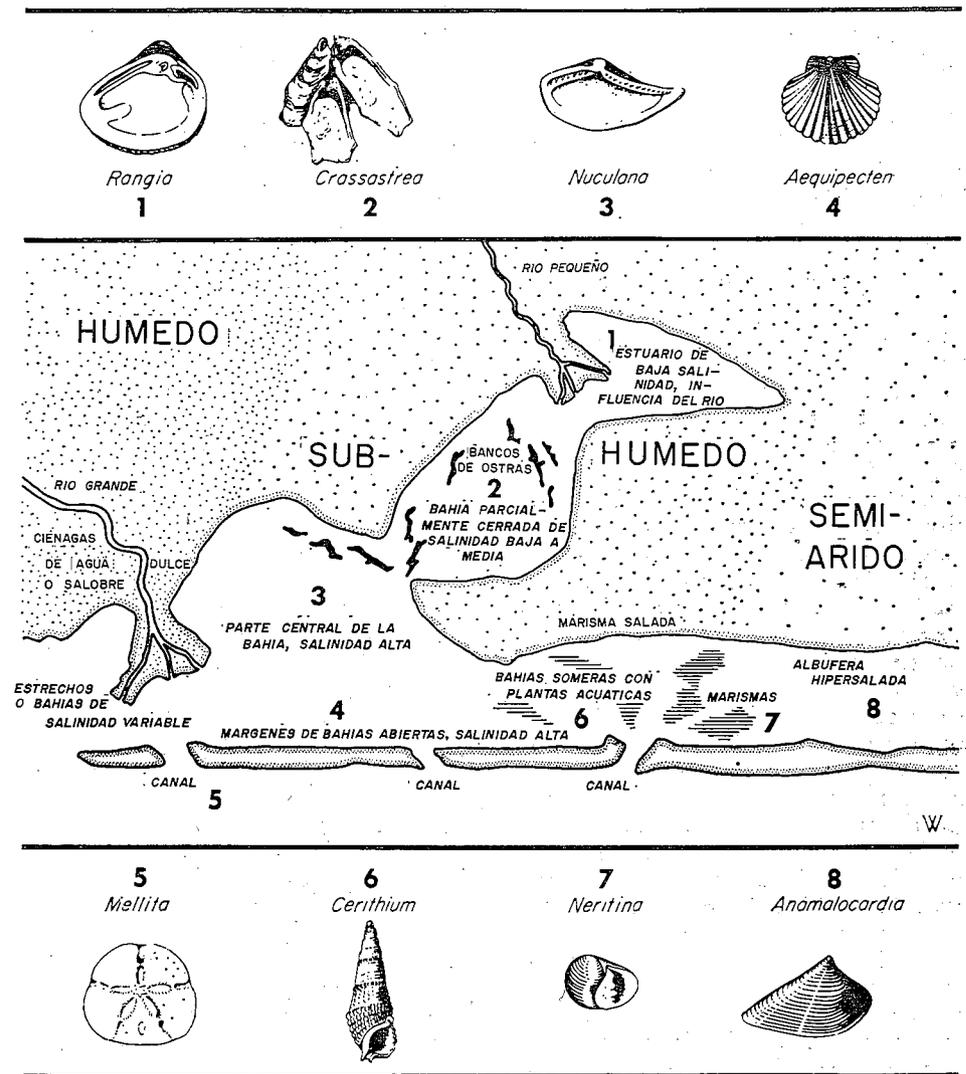


Fig. 23. Clasificación generalizada de los ambientes locales en la región costera del Golfo de México, entre el río Mississippi y el río Grande. (Según Parker, 1959, fig. 32). Arriba y abajo, un género típico de cada ambiente local.

la parte central de la costa, en lo que Parker denomina como el "área de Rockport", y otra al sur del Estado de Tejas, llamada el "área de la Laguna Madre". Ambas son regiones de bahías parcialmente separadas del golfo de Méjico por cordones litorales. La diferencia principal estriba en que, en el centro de Tejas (área de Rockport) así como más al Norte y al Este en el golfo, hay considerable aporte de agua dulce por los ríos que desembocan en las cabeceras de las bahías; mientras que en la Laguna Madre el aporte es casi nulo, y además la laguna no comunica con el golfo sino en los dos extremos, de modo que la salinidad con frecuencia llega muy por encima de la marina normal. Cualquier clasificación de los ambientes en toda la región, pues, tiene que considerar salinidades que van desde casi 0%, en las desembocaduras de los ríos, hasta 80% o más en partes de la Laguna Madre. Además, ha habido un cambio climático a condiciones mucho más áridas en los últimos 10 años, de modo que Parker (1959) encontró diferencias con la zonación hecha por Ladd en 1951.

Los ocho subambientes o facies indicadas en la Fig. 32 de Parker, (reproducida aquí como nuestra figura 22) representan cierta generalización de once ambientes que dicho autor distingue en páginas anteriores de su artículo (véase su tabla I, páginas 2.108-2.109). En esa tabla, para cada uno de los once tipos de ambiente, Parker da los datos pertinentes sobre: la profundidad del agua, salinidad, temperatura, naturaleza de los sedimentos del fondo, y la clasificación geomorfológica según nueve tipos descritos por Prince (1947) con tres adiciones de Parker. Estos datos se dan por separado para la región de Tejas central (Rockport) y la de la Laguna Madre.

El primer subambiente indicado en la tabla I de Parker, se denomina como de **Marismas y riberas (marshes y shores)**, pero no se describe en el texto del artículo; presumimos que sea el mismo ambiente como indicado por el número 7 de la figura 32 de Parker, y que se indica como caracterizado por el gasterópodo **Neritina**. Puesto que Ladd *et al.* tampoco describen una facies comparable, no podemos informar más sobre este tipo.

El primer tipo descrito en detalle por Parker, es lo que él denomina como el **ambiente** o conjunto faunal de **baja salinidad con influencia fluvial** (river influence, low salinity); es la facies "1" de la figura, caracterizada sobre todo por **Rangia**, y corresponde a la "**bay-head facies**" de Ladd y sus coautores (Ladd, 1951, 1957). Esta facies es más importante en la parte oriental de la costa del golfo (véase Parker, 1956), su distribución fluctúa mucho según el aporte de agua dulce por los ríos que desembocan en las partes más internas de las bahías. Parker considera que las especies más típicas son **Rangia** (en esa región, la especie **R. cuneata**) y unos gasterópodos pequeños de espira algo elevada, de la familia **Amnicolidae**, p. ej., **Littoridina sphinctostoma**. **Rangia** es un pelecípodo, de concha maciza y aspecto algo "cretoso", es decir, que no tiene el brillo aporcelanado de algunos de sus congéneres marinos, y se ha considerado generalmente con una forma típicamente estuarina, aunque Ladd *et al.* señalan que ejemplares provenientes de los ríos alcanzan un tamaño el doble del de los hallados en las aguas ligeramente salobres (0% a 7%) de esta facies "bayhead". Dicho sea de paso, R. R. Lankford en un estudio de los foraminíferos publicado en el mismo número del boletín de la A. A. P. G. (vol. 43, Nº 9), halló una correlación **inversa** entre el **tamaño** de los ejem-

plares y la **abundancia** de éstos, en dos especies de ambientes estuarinos. **Microrangia**, un género semejante pero más diminuto, caracteriza una zona en el Cenozoico superior penetrado en pozos en la región del golfo, desapareciendo hacia el golfo en el subsuelo con el cambio a facies más marinas: **Macoma mitchelli**, **Mulinia littoralis** y a veces **Ensis minor**, pueden hallarse en esta misma facies.

La facies indicada por el número "2" en la figura 32 de Parker se describe como la de **bahías encerradas de salinidad baja a mediana**, en las que se hallan algunos "arrecifes" (reefs) o bancos de ostras. Estos bancos, además de constituir un subambiente particular, también operan como barreras naturales a la circulación de las aguas, separando unas bahías parcialmente aisladas y de salinidad baja a variable (3 a 40%, según Parker) de otras de salinidad más próxima a la normal marina, (3) de la figura. Haciendo caso omiso de los bancos de ostras, que deben considerarse aparte, este ambiente (2) corresponde aproximadamente con el llamado "inter-reef" de Ladd *et al.* Tiene mayor número de especies que la facies anterior; Parker (1959, p. 2.119) considera que el pelecípodo **Mulinia lateralis** y el ofiúrido **Amphipodia limbata** son las más significativas. Otras especies (véase también Pl. I, página 2.120, conjunto II, en Parker) son:

Gasterópodos: **Retusa canaliculata** (Say);

Pelecípodos: **Ensis minor** Dall, **Nuculana acuta** (Conrad), **N. concentrica** (Say) y **Tagelus plebeius** (Solander).

Con respecto a los bancos de ostras, Parker señala que se debe hacer una distinción entre los formados bajo condiciones de salinidad subnormal (la facies "arrecifal" como estudiada por Ladd en una época de pluviosidad más elevada); y los formados bajo una salinidad más elevada,

si bien a veces puede haber una transición. La primera facies se caracteriza por **Crassostrea virginica** (Linn.) que forma los bancos mencionados por Ladd, sobre los que vive una epifauna variada. Las especies halladas por Parker (1959, p. 2.122) asociadas con estos bancos, en época de salinidad consistentemente baja, son las siguientes:

Gasterópodos: **Crepidula plana** Say; Pelecípodos: **Brachidontes recurvus** (Rafinesque); y los

Crustáceos: **Balanus eburneus** Gold y **C. amphitrite** Darwin. Ladd *et al.* mencionan también una variedad de briozoarios, serpúlidos, algunos pequeños gasterópodos (pero véase más adelante), y las esponjas perforantes **Cliona** y **Microcliona**.

Cuando la salinidad sube, por encima de 25%, informa Parker que otras especies se incorporan al conjunto antedicho, pudiendo llegar a ser tan abundantes que impiden el crecimiento de **Cr. virginica**. Si la salinidad es consistentemente elevada, la ostra del golfo abierto, **Ostrea equestris**, puede llegar a reemplazar completamente la **Cr. virginica**. Antes de que se llegue a este reemplazo, los ejemplares de **virginica** reflejan la subida de la salinidad por ser delgadas y con las comisuras de la concha muy arrugadas y coloreadas (Parker, 1955).

Especies asociadas con **O. equestris** bajo tales condiciones de salinidad elevada, encontró Parker que son:

Gasterópodos: **Anachis avara semiplicata** (Stearns), **A. obesa** (Adams), **Mitrella lunata** (Say), **Odostomia impressa** (Say), **Seila adamsi** (Lea) y **Thais haemostoma floridana** (Conrad).

Pelecípodos: **Anomia simplex** (d'Orbigny), **Brachidontes exustus** (Linneo), **Diplothyra smithi** (Tryon) y **Ostrea equestris** (Say);

Anfineuros: **Isnochiton papillosa** (Adams); y

Briozoarios: *Bugula* spp., *Membra-nipora* spp.,  
más unos crustáceos.

La facies "3" en la figura 32 de Parker, se describe como la de bahías más abiertas, es decir de comunicación más fácil con el Golfo de Méjico, de ahí con salinidad más elevada. Esta facies corresponde aproximadamente a la "facies polihalina" de Ladd, pero las especies que Parker halla características, *Chione cancellata* y *Pandora trilineata*, casi no llegaban dentro de las bahías en la época más húmeda cuando Ladd estudió la región. Con el aumento general de la salinidad en los últimos diez años, tienen una distribución más amplia, indicada por Parker en sus figuras i ó a y b. Parker considera que las especies siguientes son características de tales bahías de salinidad elevada, a la vez que son escasas en otros ambientes de las bahías y en el Golfo abierto: (\* señala las más características).

Gasterópodos: *Nassarius acutus* (Say).

Pelecípodos: \* *Chione cancellata* (Linn.), *Diplodonta punctata* (Say), *Macoma constricta* (Brugière) \*, *Pandora trilineata* (Say), *Semele proficua* (Pulteney), *Tagelus divisus* (Spengler) \* y *Trachycardium muricatum* (Linneo).

Estas bahías a su vez comprenden dos subfacies, a saber:

a) Las partes centrales de las bahías, con aguas más profundas, 5-12 pies, sedimentos más finos, y salinidades y temperaturas más estables que en las márgenes de las bahías. Los moluscos que viven aquí son principalmente "filtradores"; en la figura 32, *Nuculana* se ha escogido como una forma típica. La lista completa de esta subfacies (Parker, página 2.126) es:

Gasterópodos: *Nassarius acutus* (Say) y *Retusa canaliculata* (Say).

Pelecípodos: *Abra aequalis* (Say),

*Anadara campechiensis* (Gmelin), *Anadara transversa* (Say), *Corbula contracta* (Say), *Diplodonta punctata* (Say), *Mulinia lateralis* (Say), *Nuculana acuta* (Conrad) \*, *N. concentrica* (Say) \*, *Pandora trilineata* (Say) y *Periploma fragilis* (Totten).

Subfacies (b); las márgenes de estas bahías de salinidad elevada se caracterizan por sedimentos arenosos que varían desde mezclas en proporciones variables de arena, limo y barro, a arena fina casi pura. En la región de Rockport las especies más características son los pelecípodos *Mercenaria mercenaria campechiensis* y *Tagelus divisus*. Algunas otras de las especies más típicas son:

Gasterópodos: *Nassarius vibex* (Say) y *Vermicularia fargoi* (Ollson);

Pelecípodos: *Aequipecten irradians amplicostatus* (Dall), *Chione cancellata* (Linneo), *Cyclinella tenuis* (Recluz), *Cyrtopleura costata* (L.), *Ervillia concentrica* (Gould), *Lyonsia floridana hyalina* (Conrad), *Macoma brevifrons* (Say), *M. constricta* (Brugière), *Mactra fragilis* (Gmelin), *Mysella planulata* (Stimpson), *Periploma inaequale* (Adams) y *Trachycardium muricatum* (Linn).

Equinodermos: *Thyone mexicana* (Deichmann), 1946.

Figuras de las especies mencionadas de ambas subfacies, se presentan en la Pl. II de Parker (pp. 2.128-29).

Los canales que atraviesan la restinga, los "Inlets", de los autores citados, tienen mayor fondo que las albuferas, debido a la erosión de la marea; la salinidad es casi normal, y las condiciones de temperatura y salinidad fluctúan menos. Hay una fauna mezclada de especies de las bahías, otras típicas de los fondos someros del Golfo de Méjico abierto, y un tercer elemento de formas peculiares a estos canales. Una lista de esta fauna indígena, según Parker (pp. 2.130-31) es como sigue:

Gasterópodos: *Anachis avara similis* (Ravenel), *Cantharus tinctus* (Conrad), *Epitonium angulatum* (Say), *E. humphreysi* (Kiener), *Sinum perspectivum* (Say) y *Turbonilla interrupta* (Totten).

Escafópodos: *Dentalium texasianum* (Philippi).

Pelecípodos: *Atrina seminuda* (Lamarck), *Crassinella lunulata* (Conrad), *Lucina amiantus* (Dall), *L. crenella* (Dall) y *Tellidora cristata* (Récluz).

Anfineuros: *Chaetopleura apiculata* (Say).

Equinodermos: *Arbacia punctulata* (Lamarck), *Hemipholas elongata* (Say), *Ophiolepis elegans* (Lütken), *Ophiothrix angulatus* (Say).

Corales: *Astrangia astreiformis* (Milne-Edwards y Haime).

Crustáceos: *Dromidia antillensis* (Stimpson), *Heterocrypta granulata* (Gibbes).

Figuras de éstas se encuentran en la Pl. III de Parker (p. 2.133).

Las siguientes especies abundan en los canales, pero se encuentran también en bahías completamente abiertas (los llamados "sounds" de la región golfense) y en el golfo abierto hasta unos 10 metros (30') de profundidad (Parker, pp. 2.131-32).

Gasterópodos: *Busycon contrarium* (Conrad), *Cantharus cancellarius*, (Conrad), *Crepidula fornicata* (Linneo), *Cylostremiscus trilix* (Bush), *Diodora cayenensis* (Lamarck), *Neosimnia uniplacata* (Sowerby), *Oliva sayana* (Ravenel), *Olivella mutica* (Say), *Natica pusilla* (Say), *Polinices duplicatus* (Say), *Pyramidella crenulata* (Holmes), *Seila adamsi* (Lea), *Thais haemostoma haysae* (Clench), *Turbonilla incisa* (Bush).

Pelecípodos: *Corbula swiftiana* (Adams), *Chione cancellata* (Linn.), *Eontia ponderosa* (Say), *Macoma tenta* (Say), *Petricola pholadiformis* (Lamarck), *Tellina alternata* (Say), *Tellina versicolor* (De Kay).

Celentéreos: *Leptogorgia setacea* (Pallas), y *Renilla mülleri* (Kölliker).

Equinodermos: *Luidia alternata* (Say), *Luidia clathrata* (Say) y *Mellita quinquesperforata* (Leske).

Crustáceos: (varios, véase la lista de Parker).

De toda esta lista, las que Parker encuentra más significativas son *Dentalium texasianum* y el coral solitario *Astrangia astraeiformis*. En la figura 23, la facies de los canales está indicada, un poco arbitrariamente, por el número "5" y el erizo irregular *Mellita*, el que se extiende desde las aguas abiertas del golfo por los canales dentro de zonas vecinas con salinidad elevada. Esta facies de los canales, considera Parker que debe ser identificable en sedimentos fósiles a base de los caracteres siguientes: presencia de cantidades considerables de arena y fragmentos de conchas, fragmentos de equinodermos, y una mezcla de especies indígenas, de las bahías y del golfo, según las listas antecedentes.

Ladd et al. mencionaron que en los bordes de esos canales; en algunos sitios, se encuentra una tanatocenosis muy característica de pequeños gasterópodos, los que probablemente vivían sobre la vegetación acuática de las bahías. Géneros representados aquí son: *Tegula*, *Cerithium*, *Cerithidea*, *Modulus*, *Bittium*, *Mitrella*, *Truncatella*, *Epitonium*, *Turbonilla*, *Olivella*, y otros. Opinaron que semejante conjunto, en los sedimentos fósiles, podría indicar el sitio de un antiguo canal. A propósito, es interesante especular si cabe tal interpretación ecológica para la faúna de pequeños gasterópodos hallados en la terraza de 60 metros en la Urbanización Playa Grande en nuestra costa, cerca de Maiquetía.

Parker (1959, p á g i n a s 2.132 - 2.134) identificó como una facies distinta, el ambiente de "lagu-

nas y bahías someras, hipersaladas, con abundante flora acuática" (shallow, grassy, hypersaline, lagoons and bays). En su tabla 1, se describe el ambiente como "open, shallow, hypersaline bays", con profundidad no más de cuatro (4) pies, salinidad 20-42% en Rockport y 23, 80% en la Laguna Madre, temperatura 3° a 36° C. *Cerithium variable* es la especie más típica; en la figura 23, es la facies "6". Esta especie está acompañada por otras muchas de gasterópodos, de modo que aquí tenemos el ambiente en vida de esos pequeños caracoles que pueden ser llevados por las corrientes a los bordes de los canales, donde fueron observados por Ladd. Algunas de las más típicas se figuran en Pl. V de Parker.

Las especies de esta epifauna son:

Gasterópodos: *Bittium varium* (Pfeiffer); *Bulla striata* (Brugière), *Caecum nitidum* (Stimpson), *Caecum pulchellum* (Stimpson), *Cerithidea pliculosa* (Menke), *Cerithium variable* (C. B. Adams), *Haminoea succinea* (Conrad), *Littorina irrorata* (Say), *Melampus bidentatus* (Say), *Modulus modiolus* (Linneo), *Neritina virginea* (Linneo), *Nisus interrupta* Sowerby, *Rissoina chesneli* (Michaud), *Tegula fasciata* (Born), *Truncatella pulchella* (Pfeiffer), *Vermicularia Fargoi* (Olsson).

Pelecípodos: *Amygdala papyria* (Conrad), *Anodontia alba* (Link), *Anomalocardia cuneimeris* (Conrad), *Brachidontes citrinus* (Roding), *Cardita floridana* (Conrad), *Laevicardium mortoni* (Conrad), *Phacoides pectinatus* (Gmelin), *Pseudocyrena floridana* (Conrad) y *Semele purpurens*.

Estas especies están ilustradas en Pls. V y VI de Parker, pp. 2.136-37.

**Ambientes y conjuntos faunales en la Laguna Madre.** Esta albufera, mide unas 130 millas de largo por sólo 4 de ancho, y está separada del Golfo de Méjico por la isla Padre, con canales solamente en los dos extre-

mos, siendo el más importante el de Brazo Santiago en el Sur. Las aguas se caracterizan por su hipersalinidad, su profundidad extremadamente exigua (0 a 10 pies), y con fondos de arena y fragmentos de conchas. Antes de la abertura del canal artificial (Intercostal Waterway), que hace posible que pequeñas embarcaciones viajen desde la frontera mejicana hasta el Estado de Nueva Jersey sin tener que salir al mar abierto, la salinidad de la laguna variaba de 50% a más de 100% en el curso del año, pero últimamente se ha indicado un máximo de 80%. La temperatura de las aguas en el verano varía entre 30° y 35° C.

Se podría creer que tales condiciones fuesen poco favorables para la vida animal, pero todo al contrario, es una de las regiones más productivas del mundo. La producción de pescado solamente es 2 o 3 veces mayor que la total de todas las demás bahías, y poblaciones de 1.400 a 2.000 ejemplares de *Anomalocardia cuneimeris* por pie cuadrado, se han visto en la parte norte de la laguna. La vegetación sésil es sumamente rica, y el fitoplankton parece también ser abundante, a juzgar por un solo cálculo. La producción de zooplankton, especialmente de copépodos, es extremadamente alta, p. ej. hay censos de más de siete millones de individuos por litro del copépodo *Acartia tonsa*.

Parker distingue 5 subambientes en la región que corresponde a subdivisiones del ambiente de "bahías de salinidad elevada":

1) Facies de albufera hipersalada, modificada por la influencia del canal al golfo ("Inlet-influenced, hypersaline lagoon"); en el extremo sur de la laguna. *Chione cancellata* y *Anachis avara simplicata* son especies típicas. La lista completa de las especies más características es:

Gasterópodos: *Anachis avara simplicata* (Stearns), *Bulla striata* (Brugière), *Crepidula glauca convexa* (Say), *Littorina nebulosa* (Lamarck), *Nassarius vibex* (Say), *Neritina virginea* (Linneo), *Turbonilla interrupta* (Totten).

Pelecípodos: *Abra aequalis* (Say), *Aequipecten irradians amplicostatus* (Dall), *Anadara transversa* (Say), *Anomia simplex* (d'Orbigny), *Atrina seminuda* (Lamarck), *Chione cancellata* (Linneo), *Cyrtopleura costata* (Linneo), *Macoma tenta* (Say), *Nuculana acuta* (Conrad), y *Ostrea equestris* (Say).

Equinodermos: *Lytechinus variegatus* (Lamarck) y *Ophiothrix angulatus* (Say).

Crustáceos, véase Parker, p. 2.143.

Esta facies, en la que las condiciones se aproximan más a las del golfo, tiene la mayor diversidad de especies, pero el número de individuos de cada una es reducido.

2) Facies de albufera típica abierta y somera, hipersalina ("open shallow hypersaline lagoon"). Esta facies se encuentra en la vecindad de la anterior y abarca la mayor parte de las aguas abiertas de la Laguna Madre. La composición de la fauna está influida en gran parte por la abundante de vegetación, p. ej., *Amygdalum papyria*, especie que se fija a las plantas, abunda en la parte oeste de la laguna, *Laevicardium mortoni* la reemplaza en la costa oriental de la laguna donde el fondo es arenoso. Los moluscos característicos son:

Gasterópodos: *Bittium varium* (Pfeiffer), *Haminoea succinea* (Conrad), *Mitrella lunata* (Say), *Truncatella pulchella* (Pfeiffer).

Pelecípodos: *Amygdalum papyria* (Conrad), *Brachidontes citrinus* (Roding), *Laevicardium mortoni* (Conrad), *Macoma brevifrons* (Say), *Macla fragilis* (Gmelin), *Pseudocyrena floridana* (Conrad), *Tagelus divisus* (Spengler), *Tellina tampaensis* (Conrad).

En relación con el cambio a condiciones más difíciles (23-80% salinidad, temp. 9° a 36° C), el número de especies se ha reducido marcadamente pero el número de individuos de cada especie es elevado.

3) Facies hipersalina de una parte aislada de la albufera. ("Enclosed hypersaline lagoon"). La parte central de la Laguna Madre en su mitad norte, está más o menos aislada por tierras o bajos fondos, y tiene una hipersalinidad bastante constante entre 40 y 79%. La profundidad es sólo de 1 a 5 pies, y las temperaturas del agua en verano muy elevadas. No obstante, las siguientes especies se encuentran allí, representadas por poblaciones extremadamente numerosas: *Anomalocardia cuneimeris*, *Tellina tampaensis*, *Mulinia lateralis*, y *Cerithium variable*. Aquí otra vez tenemos una ejemplificación de la relación tan frecuentemente observada por los paleontólogos; una faúna de pocas especies (debido a las condiciones adversas), puede ser extremadamente numerosa en individuos, por la falta de competencia de otras especies.

Un conjunto faunal muy semejante, con *Laevicardium mortoni*, *Anomalocardia cuneimeris* y *Mulinia lateralis*, está indicado por Hildebrand (1958) de la Laguna Madre de Tamaulipas en Méjico donde la salinidad varía entre 38% y 49%. (Fide Parker, página 2.147).

4) Bahías más profundas, hipersalinas, con substrato arcilloso ("Deep hypersaline bay, clayey substrate"). Están ejemplificadas en las bahías de Baffin y de Alazán, hacia el centro de la Laguna Madre. Las salinidades son muy variables, 2% a más de 80%; los fondos comprenden más de 75% de arcilla, y las profundidades van de 1-8 pies. Solamente 8 especies se hallaron en esta subfacies y de ellas, solamente una vive, de mo-

do que las otras pueden haber sido transportadas. *Mulinia lateralis* es la especie viviente, aunque en algunas oportunidades se han hallado ejemplares de *Anomalocardia cuneimeris* y de *Actaeon punctostriatus*. Es de notar que el número de individuos de *Mulinia lateralis* también fue muy reducido; al parecer las condiciones ambientales se acercan al límite de resistencia de la especie, que tolera extremos climáticos notables, presentándose desde Nueva Inglaterra hasta la costa de Suramérica. Se ha hallado fósil desde el Mioceno superior (véase Maury, 1920).

5) Ambiente de laguna hipersalada con influencia de una bahía adyacente de salinidad inferior (Hyper-saline lagoon, influenced by adjacent lower-salinity bay). Esta designación ha sido aplicada al extremo más septentrional de la Laguna Madre, cerca de la bahía de Corpus Cristi. La fauna es una mezcla de la de una laguna cerrada hipersalina, y de especies normalmente asociadas con bahías de salinidad intermedia a elevada. No hay ninguna sola especie característica, pero la lista siguiente se puede considerar como típica: *Nassarius vibex* y *Odostomia bisuturalis* (Say), (Gasterópodos), los pelecípodos *Crassostrea virginica*, *Ensis minor*, *Mactra fragilis*, *Phacoides pectinatus* y *Tellina tampaensis* (Conrad).

Parker expresa las siguientes conclusiones generales sobre las condiciones ejemplificadas por la Laguna Madre; los estudios apoyan la tesis, de que tanto la **variabilidad** como los efectos adversos del ambiente, son muy importantes para la composición de las faunas. Varios ecólogos expresan esto como la "Ley del Mínimo de Liebig" (Liebig's Law of Minimum), que reza así: "el crecimiento y el funcionamiento de un organismo depende de la cantidad mínima de algún factor ambiental esen-

cial que se le presenta durante el año o los años más críticos del ciclo climático". Este principio está discutido por Clarke (pp. 332-35), habiendo sido reconocido por los adeptos de la ecología vegetal, pero no siempre por los de la ecología marina. La aplicación es muy obvia; si, por ejemplo, en algún invierno (como sucedió en 1950) un solo factor, la temperatura, cae por debajo del mínimo que tolera una especie, p. ej., *Anomalocardia cuneimeris*, se producirá una extinción masiva de los ejemplares. De modo semejante, un aumento de la salinidad por encima del máximo tolerado por ciertas especies, producirá la muerte de ellas. Con relación a esta Ley del Mínimo, Parker considera que:

1) Bajo condiciones de salinidades y temperaturas **variables** y a la vez próximas a los extremos tolerables, se hallarán sólo unas pocas especies de invertebrados y representadas por individuos poco numerosos.

2) Si las condiciones hidrográficas son **estables**, con las temperaturas y las salinidades próximas a cualquier extremo tolerable, unas pocas especies que toleran estas condiciones, pueden llegar a ser muy abundantes.

3) Bajo condiciones estables y dentro de la fluctuación hallada en los ambientes marinos normales, habrá mayor número de **especies** pero menor número de individuos que en el caso antecedente.

#### El ambiente de los manglares

El ambiente de los manglares, en regiones tropicales y subtropicales, es un biotopo o familia de biotopos que en general reemplazan las marismas ("tidal marshes", "tidal flats") que han recibido tanta atención de los ecólogos de las latitudes templadas. Emery *et al.*, en el *Treatise*, hacen unas observaciones sobre los mangla-

res, señalando que como ambiente, debe calificarse de **mixto**, ya que animales terrestres como aves, insectos y hasta monos, se abrigan entre el follaje, mientras que en las aguas entre los pies de los árboles, pueden vivir una variedad de crustáceos, moluscos y hasta peces; entre estos, el singular *Periophthalmus koelreuteri*, es capaz de vivir considerables ratos fuera del agua, y hasta se le ha visto trepar por las raíces del mangle.

En el sur de los Estados Unidos, el mangle típico de nuestras costas, género *Rhizophora*, se llama el "mangle rojo" (red mangrove) y se nota que es la especie más tolerante del agua marina, siendo reemplazado en las marismas saladas por el llamado "mangle negro", que es realmente un laurel, del género *Avicennia*. En algunos paraderos se encuentran manglares de *Avicennia* sin *Rhizophora*. *Avicennia* se conoce también de Australia, donde se llama el "mangle gris", y un tercer género, *Agave*, es el que allí llaman el "mangle negro".

Los manglares no están restringidos a los estuarios, sino que pueden desarrollarse inclusive sobre arrecifes madreporicos, según descripciones por Yonge (1930) y Stephenson (1931), en el gran arrecife del tipo barrera por el lado este de Australia. Cuando el fondo es arenoso, puede haber "praderas" de plantas espermafitas, y pequeñas lagunas con organismos marinos, mientras que en otras partes moluscos tolerantes de aguas salobres, como los gasterópodos *Telescopium* o *Pyrasus*, y el bivalvo *Cyrena*, son frecuentes. Las ostras se mencionan como abundantes en manglares estuarinos; en nuestras costas, al menos, éstas son principalmente del género *Isognomon* (antes *Perna*).

Al parecer, los géneros de las plantas típicas de los manglares no son

más antiguas que el Cretáceo; pero un paralelo a las condiciones ecológicas, con licopodios, artrófitos y helechos reemplazando los manglares, se puede visualizar en la edad Carbonífera o antes, cuando diversos animales y plantas lograron hacer el tránsito de las aguas al ambiente terrestre.

Como hemos visto antes, el ambiente del manglar parece ser muy poco propicio a la fosilización; en algunos manglares "fósiles" (probablemente subrecientes), los restos orgánicos se restringen a carapachos quitinosos de pequeños crustáceos, las raíces de los manglares, y algunas pistas de anélidos. Las conchas de los moluscos, como *Pyrasus*, se disuelven progresivamente, la columnilla al final. (Revelle y Fairbridge, 1957, página 281). Cuando los manglares se establecen en arrecifes madreporicos, la corrosión es rápida.

#### El ambiente de los arrecifes madreporicos, y de los biohermas en general.

En los mares actuales, el biotopo de los arrecifes madreporicos es uno de los más estudiados. La selección de este biotopo para una descripción detallada en "El mundo en que vivimos" de la revista *Life*, no se debió solamente a sus aspectos fotogénicos, sino que habrá contado también con la aprobación de los biólogos y geólogos. Más que ningún otro biotopo marino, éste de los arrecifes madreporicos ejemplifica todo lo que se estudia a título de Ecología; la acción del medio ambiente sobre sus habitantes, la reacción de éstos sobre el **habitat**, y la "co-acción" de organismo sobre organismo. Son los organismos mismos, los responsables de los rasgos más típicos de su propio ambiente. Los pólipos de coral han fabricado un armoazón, que las algas cal-

cáreas se encargan de consolidar; en los intersticios de la fábrica, en los declives submarinos del arrecife, en la albufera y en todas partes, hay una variedad de plantas y animales adaptados a nichos ecológicos especiales, los que a su vez agregan algo al conjunto. La biocenosis puede inclusive llegar a ser casi completamente autotrófica, es decir no depender de aportes externos para su manutención.

Los geólogos y sedimentólogos, a su vez siempre han sentido vivo interés por los arrecifes, ya que encuentran que muchas formaciones calcáreas y sus relaciones con las rocas contiguas, no pueden explicarse sin conocimientos extensos de las relaciones actuales de los arrecifes con los sedimentos vecinos. Estructuras en mayor o menor grado comparables con los diferentes tipos de "arrecifes" actuales, se presentan en la columna geológica desde el precámbrico en adelante, aunque no es sino con la era Mesozoica que los corales madreporicos han podido jugar una parte en la formación de tales estructuras.

Cummings y Schrock (1928) y Cumings (1932), en vista de las diversas acepciones de la palabra "reef" (arrecife en inglés) sugirieron sustituirla por **bioherma**, cuando tuviera un desarrollo vertical notable; también lo distinguirían de un **biostroma**, una formación calcárea evidentemente construida por organismos (como p. ej., un banco de ostras), más o menos paralela a la estratificación de los sedimentos encajantes. En años recientes, parece que estos términos han perdido terreno, y se usa más la palabra "reef" con una que otra frase descriptiva. El "complejo arrecifal" (reef complex) formado por el arrecife (bioherma) propiamente dicho y los sedimentos en su vecindad, ha sido materia de importantes estudios paleoecológicos, como p. ej., el

de Henson (1950) sobre las formaciones arrecifales del Cretáceo y Terciario en el Medio Oriente.

Las condiciones de **temperatura** necesaria para la formación de arrecifes madreporicos, son muy conocidas; que no baje mucho de los 20° C (aunque en las islas Bahamas, los hay con una temperatura mínima de 18°); entre 25° y 30° es el rango más favorable, por encima de 30° se mueren la mayoría de los géneros. Varios autores han publicado mapas de la distribución mundial de los arrecifes coralinos y su relación con la isoterma de 20° C para el mes más frío del año (p. ej., Clarke, figuras 7-12; Wells, 1957, pl. 9). También es sabido que los pólipos necesitan considerable iluminación, por cuyo motivo su límite extremo inferior no pasa de 70 a 80 metros y más generalmente, es de 50 a 60 metros, quizás menos. El límite **superior** parece variar de un sitio a otro; en una parte del arrecife de la Gran Barrera de Australia, la máxima concentración de colonias, 25 por metro cuadrado, se observó a sólo 50 cm. por debajo de la superficie del agua en bajamar, en otros sitios 1-2 a 5 metros parecen ser las profundidades óptimas. No es tan generalmente sabido, que la necesidad de iluminación está relacionada con la presencia de algas microscópicas simbióticas en los tejidos de los pólipos, las llamadas **zooxantelas**. Es por esta exigencia de luz, que en los paredones del arrecife se pueden producir inclinaciones mayores que la vertical; en una zona de sombra debajo de un crecimiento lateral en un nivel superior, los corales pueden hallar su crecimiento completamente inhibido.

En cuanto a otros factores inorgánicos, los corales madreporicos exigen un contenido de oxígeno y una salinidad dentro de los límites de fluctuación normales en el ambiente

marino. No viven frente a las desembocaduras de grandes ríos, pero sí pueden hallarse frente a las de los ríos más pequeños en regiones tranquilas donde el agua dulce puede flotar encima del mar. El barro aportado por los ríos es deletéreo, pero algunos corales demuestran una habilidad sorprendente por liberarse del fango, p. ej., se ha observado que un ejemplar de **Maeandrina** había logrado quitarse todo el limo de la superficie, a pocas horas de haber sido completamente enterrado. La ausencia de corales en las aguas turbias, se debe no solamente al peligro de estar ahogado por el fango, sino por la disminución de la luz, y sobre todo, por la ausencia de un **substrato** firme en que las larvas pueden establecer nuevas colonias.

Odum y Odum (1955) han calculado que la proporción de protoplasma **vegetal** al animal en un arrecife madreporico es de 3 a 1; esto se debe no tanto a la presencia de las **zooxantelas**, como a la abundancia de otras algas que perforan al esqueleto de los corales<sup>1)</sup>.

El papel de las zooxantelas en la biología de los pólipos coralinos todavía no se ha aclarado completamente. Se ha podido demostrar que estos pólipos, que se alimentan de animales microscópicos (zooplankton), **no** segregan enzimas capaces de digerir fitoplankton o zooxantelas, de modo que el papel de éstas no es el de alimentar a los corales. Se cree que los corales se favorecen por la producción de oxígeno y posiblemente de ciertos azúcares por parte de las algas, así como también porque éstas utilizan productos catabólicos de los corales, como el fósforo y probablemente el nitrógeno. A diferencia de los corales, la almeja gigante **Tridacna** sí digiere las zooxantelas que "cultiva" en senos del manto paleal. Las zooxantelas son plantas microscó-

picas tan altamente especializadas que hasta sus afinidades botánicas quedan algo dudosas; son incapaces de vivir aparte de los corales, pero éstos sí pueden vivir, al menos por considerable tiempo, sin zooxantelas, aunque indudablemente éstas son indispensables en la economía del arrecife en su totalidad. Las zooxantelas parecen ser más susceptibles a extremos de temperatura que algunos corales; una especie de **Favia** expuesta a una temperatura de 36° C durante dos horas perdió las zooxantelas, pero sin sufrir daño aparente.

Después de los corales, que forman el armazón del arrecife, los organismos más importantes son las algas rojas llamadas coralinas o **nulíporas**, p. ej., de los géneros **Lithothamnion**, **Archaeolithothamnion** y **Lithophyllum**. Estas forman incrustaciones calcáreas, especialmente en las aguas más agitadas en la parte exterior del arrecife, siendo más resistentes que los mismos corales. A veces parece que sus incrustaciones más bien retardan el crecimiento de los corales.

Los alcionarios (u octocorales) son otro grupo importante. En el Océano Pacífico, moluscos especializados como el pelecípodo **Tridacna** pueden jugar un papel importante en la formación del arrecife, pero en el Atlántico no hay equivalentes. Foraminíferos, especialmente formas sésiles como **Polyurema**, esponjas y briozoarios, también contribuyen. En núcleos de perforaciones hechas en el atolón de Funafuti, los organismos principales

<sup>1)</sup> Por no haber podido consultar la publicación original, no podemos indicar la repartición del protoplasma vegetal entre dichas algas verdes y las zooxantelas, Moore (p. 327) indica las proporciones como de 2-1, mientras que Wells, con la misma cita de los Odum, dice que solamente un 6% del protoplasma vegetal se debe a las zooxantelas.

en orden de volumen de construcción eran las algas **Lithothamnion** y **Hali-medea**, los foraminíferos, y los corales en el cuarto lugar; pero parece probable que estas muestras no fueron típicas de las condiciones sobre todo el arrecife. Moore señala que las nudíporas al parecer prosperan en profundidades mayores de las que toleran los corales, y que fragmentos de formas como **Goniolithon** y de **Hali-medea**, pueden formar un sedimento en que los restos animales juegan un papel muy subordinado. En la laguna de Funafuti, los sedimentos hasta unos 30 metros de profundidad, se componían en un 80 a 95% de fragmentos de **Halimeda**.

Wells ha hecho una zonación muy detallada de los atolones de la provincia faunal indopacífica basada en la distribución de los organismos dominantes, que se relacionan a su vez no solamente con la profundidad del agua y con la morfología del atolón sino también con la dirección de los vientos prevalecientes (véase su figura 2, pp. 616-617, 1957). Así los arrecifes de barlovento y de sotavento tienen caracteres biológicos y morfológicos diferentes. Las limitaciones del espacio nos impiden discutir esta zonación en detalle, amén de que las condiciones en la región caribe se aparten en muchos aspectos de los atolones estudiados por Wells. Los arrecifes del Océano Atlántico son casi exclusivamente del tipo franqueante, hay menor actividad constructiva, y algunas zonas de los atolones del Pacífico, como el "camellón algal" y "pavimento algal" no se identifican. La fauna de los corales incluye sólo 26 géneros y unas 35 especies, contra 80 géneros y unas 700 especies en el Indopacífico. En ambas regiones, los géneros **Acropora** y **Porites** son los más importantes, pero en el Atlántico cada uno está representado por tres especies contra

150 y 30, respectivamente, en la región del Pacífico.

Algunos géneros importantes en el Pacífico no están representados en el Atlántico, aunque se conocen en las faunas cenozoicas de esta región. Algunos otros géneros pacíficos, tienen "equivalentes ecológicos" en el Atlántico. En resumidas cuentas, expresa Wells que la fauna atlántica da la impresión de ser un remanente debilitado de los arrecifes cenozoicos, mientras que la del Pacífico es rica y variada. Otras diferencias son; las algas calcáreas juegan un papel menor en el Atlántico, hay mucha menor variedad de moluscos, especialmente de **Cypraeidae** y **Conidae**; faltan los grandes bivalvos como **Tridacna** e **Hippopus** y otros muchos moluscos presentes en tan gran variedad en el Pacífico, tienen poca representación en el Atlántico. Las diferencias en los alcionarios son especialmente llamativas; en nuestras aguas faltan **Heliopora**, el llamado "coral azul" del Pacífico, y **Tubipora**; y el Orden **Alcyonacea** (mencionado por Wells como los "fleshy corals") tan importantes en el Pacífico, está reemplazado por especies del Orden **Gorgonacea** (p. ej., el "cacho de venado" de nuestras costas). A pesar de estas diferencias, Wells señala que las semejanzas son muy estrechas, existiendo muchos géneros y especies comunes a ambos océanos. Dos trabajos importantes sobre arrecifes en la región del Caribe, son los de Stephenson y Stephenson (1950) y Newell (1951).

No parece necesario discutir aquí el "problema de los atolones" que se ha considerado en muchos textos y publicaciones, entre las que Wells recomienda la de Ladd y Tracy (1940); pero quizás vale la pena mencionar que de una serie de taladros profundos hechos en atolones del Océano Pacífico, tan sólo uno llegó al basamento pre-arrecifal, aunque muchos

de los otros taladros penetraron hasta 4.500 pies de sedimento arrecifales. En el caso donde se llegó a una roca ígnea básica en el fondo, los sedimentos calcáreos suprayacentes correspondían al Eoceno, Mioceno, Pleistoceno y Reciente, lo que demuestra que al menos algunos atolones tienen una historia geológica larguísima. Los resultados de las perforaciones hasta 1950 han sido representados gráficamente por Ladd (1950, fig. 8).

Ph. H. Kuenen, en su trabajo de la geología marina, dedica un capítulo entero a los arrecifes coralinos (Cap. 6, pp. 414-479), de mucho interés geológico. Hay que mencionar el simposio sobre los arrecifes en relación con la estratigrafía y geolo-

gía de petróleo, que apareció en el boletín de febrero 1950, de la Amer. Assoc. Petrol. Geol. El segundo tomo del **Treatise** incluye dos capítulos sobre la paleoecología de los arrecifes; uno por Lowestam, sobre los arrecifes silúricos, el otro por Newell sobre los del Pérmico en los cerros Guadalupe, de Tejas. El informe de Henson (1950), en el simposio ya citado, versa sobre la paleoecología de los arrecifes cretáceos y cenozoicos en el Medio Oriente. La lectura de cualquiera de los trabajos citados, demostrará cuán estrechas son las relaciones entre la ecología de los mares actuales, la paleoecología, la sedimentología, las interpretaciones estratigráficas y hasta la geología del petróleo.

tos oceanográficos significan para la Geología requiere los conocimientos que puede ofrecer un geólogo.

La Geología del futuro no puede fijar sus límites en las playas o en los bordes del continente —debe ampliarse para incluir la Geología de las regiones oceánicas descubiertas por la ciencia moderna.

Para el Instituto Oceanográfico que la Fundación Venezolana para el Avance de la Ciencia (Fundavac) que

## Introducción al estudio de los macroforaminíferos de la familia Orbitolinidae

Dra. Frances Charlton de Rivero

Escuela de Geología

La familia **Orbitolinidae** comprende un grupo de géneros de estructura interna más o menos compleja, que yacen predominantemente en sedimentos del Cretáceo, aunque **Coskinolina** y **Dictyoconus** llegan al Eoceno medio antes de extinguirse, y otros géneros están restringidos al Eoceno, careciendo la familia de representantes en el Terciario más moderno o en el Reciente. Las especies fósiles son de alto valor estratigráfico y la identificación del género por sí sólo puede tenerlo en muchos casos, ya que su extensión puede ser limitada.

Siguiendo el criterio de Henson (1948), Maync (1955) y otros, comprendemos en esta familia a los géneros **Lituonella**, **Coskinolina**, **Dictyoconus** y **Coskinolínoides**, que Cushman incluyen en la familia **Valvulinidae**, puesto que su estructura es más compleja que lo normal en esta familia. Es cierto que en el estado actual de nuestros conocimientos no podemos

se tiene en proyecto se van a necesitar geólogos especializados en este aspecto de la Geología. Esta institución desde hace seis años está becando a biólogos, geógrafos y químicos que se están especializando en Europa y Norteamérica y sería de desear que alguno de nuestros jóvenes geólogos se animase a ampliar estudios en ese sentido, tan necesario para el conocimiento de las costas de Venezuela y su plataforma continental.

afirmar con toda seguridad que los Orbitolínidos formen una unidad **filogenética**, pero tienen semejanzas **morfológicas** tan marcadas, que la descripción de cualquiera de sus géneros sea más fácil e inteligible si se hace a base de sus analogías o diferencias con otros géneros del grupo. Hay que hacer notar, sin embargo, que los especialistas no han suprimido las consideraciones filogenéticas en favor de la comodidad descriptiva, sino que han excluido de la familia a varios géneros cuyos rasgos morfológicos semejantes se consideran como debidos a un paralelismo evolutivo; por ejemplo, **Orbitolinella** Henson, que él considera como un miembro aberrante de la familia **Meandropsinidae**.

La pared de los **Orbitolinidae** ha sido descrita ya como aglutinada ("finamente arenácea") o ya como principalmente, si no exclusivamente, calcáreo-microgranular; nos parece probable que pueda variar entre los

géneros lo mismo que Maync ha indicado para los **Lituolidae**, pero hay que tener presente siempre la dificultad en distinguir en los fósiles entre una pared microgranular algo recristalizada, y una arenácea con cemento calcáreo. Con este tipo de pared, la inclusión de la familia en la Superfamilia **Lituolidea** se justifica plenamente; nos parece necesario, sin embargo, prevenir en contra del concepto de una relación muy estrecha entre esta familia y la familia **Lituolidae**, que ha sido promulgado por algunos autores. La "red epidérmica" (término a veces usado) de los Orbitolínidos, parece completamente diferente de la estructura que se describe de aquella familia, y la estructura interna compleja "laberíntica" de la mayoría de los Orbitolínidos tampoco es homóloga de la pared laberíntica de los Lituolínidos, como se verá por las descripciones. En nuestra opinión, las relaciones entre las dos familias habrán de buscarse en un antepasado o antepasados comunes, para lo cual habría que remontarse hasta el Mesozoico más antiguo, cuando nó el Paleozoico superior, puesto que los primeros Orbitolínidos se presentan ya con estructura compleja en el Mesozoico antiguo (**Coskinolinopsis** en el Triásico superior o Jurásico inferior; **Kilianina** en el Jurásico medio). No se puede descartar aún la posibilidad de que **Lituonella** - **Coskinolina** - **Dictyoconus** representen otra línea filogenética distinta a la de los demás, y que se hayan derivado de los **Lituolidae**; pero hay que tomar muy en cuenta la presencia ya de **Dictyoconus** en el Cretáceo inferior, Aptiense, y posiblemente en Valanginiense.

En cuanto a la estructura de los géneros, de modo preliminar se la puede describir como esencialmente

**uniseriada**, con cámaras de contorno circular, muy bajas en comparación con el diámetro, que vá aumentando progresivamente de modo que la concha en su totalidad tiene una forma cónica (en algunos es comprimida). En algunos géneros se observa una parte inicial arrollada espiralmente, lo que dá a la concha el aspecto de un gorro frigio. Las aberturas, que son múltiples, se presentan en la base del cono, o sea en la cara distal de la última cámara formada. Ahora bien, la mayoría de los foraminíferos acostumbrados a representarlos con la abertura hacia arriba, y frecuentemente los describimos con referencia a esta orientación, pero en el caso de los Orbitolínidos, la orientación geométrica natural de un **cono** (con la base abajo) prepondera en la mente de los micropaleontólogos, y se representan y se describen las estructuras con referencia a tal orientación. Así también, una sección (o una estructura) paralela a la cara oral (la base del cono) se puede describir como "horizontal" y otra en un plano que incluya al eje del cono, como "vertical". Algunas de las estructuras "verticales", como tabiques o septos, también pueden describirse como **radiales**, con respecto a una sección horizontal del cono.

Esta orientación de la concha es también responsable de la nomenclatura de estructuras asociadas con la cara oral, que tienen sentido sólo cuando se interpretan con referencia al **espacio** (luz) de la cavidad cameral, de allí a la forma de la cara oral, vista desde el interior; estas son las estructuras llamadas en inglés "marginal ridge" y "marginal trough". Como se verá por las figuras, "marginal trough" (fosa marginal) se refiere a la parte periférica de la cámara, puesto que allí la luz de la

cámara se ahonda ligeramente, estando separada de la parte central por un ligero reborde o elevación del fondo, el "marginal ridge" (costilla marginal). Por supuesto, considerando estas estructuras desde el exterior de la cara oral, la concavidad y convexidad son al revés, de modo que el llamado "marginal ridge" viene a ser una **depresión** circular que separa la parte periférica, ligeramente abombada, de la cara ("marginal trough"), de la parte central. Lo que hace más confusa la terminología, es que esta parte central se llama "escudo central" ("central shield"), término que corresponde mejor a su ligera convexidad vista desde el exterior (al revés de las otras estructuras).

Estas diferencias en la curvatura de la cara oral (o sea de los septos uniseriados), reflejan generalmente también complicaciones en la estructura interna. La cavidad o luz de las cámaras no queda indivisa, excepto en **Lituonella**, sino que está más o menos complejamente subdividida por varias combinaciones de lamelas verticales, y en algunos casos también horizontales; y/o pilares, como se describirá a continuación.

En **Coskinolinoidea** Keijzer, el interior de las cámaras está subdividido por tabiques o septos radiales que llegan muy hacia el interior de la concha, interrumpiéndose solamente hacia la parte central de la cámara, donde están los orificios de la cara oral. (Nótese que en la figura, adaptada de la Keijzer, el foraminífero está representado en la posición "normal", con la cara oral arriba). Uno que otro de los septos no llegan tan adentro como otros, pero no hay una alternancia regular de tales "semi-septos", como en algunos otros géneros. Podemos decir que **Coskino-**

**linoides** presenta el "biocarácter" de los septos radiales en su expresión más sencilla. Este género tiene una parte inicial arrollada en espiral trocoide (4 cámaras por vuelta), A veces en cortes horizontales se observa en el centro una zona de estructura irregular, que Maync interpreta como "formada por fusión de elementos interseptales". La especie tipo **Coskinolinoidea texanus** Keijzer es muy pequeña (un promedio de 0,39 mm. por el diámetro de la base y la altura respectivamente) y viene del Cretáceo inferior (parte inferior del Albiense medio) de Tejas. "**Coskinolina**" **adamsi** Barker es sinónimo, como demuestra Maync, que nosotros sabemos, no se han descrito otras especies.

**Lituonella** Schlumberger, 1905, reúne sin más complicaciones el carácter biológico de **pilares** que van de un septo principal (antigua cara oral) a otro. La forma de estos pilares se observa en los diagramas adjuntos. Se observa que tienen la forma del tronco de ciertos árboles, o sea, que disminuyen en diámetro arriba (es decir, hacia el septo más antiguo biológicamente). Por lo tanto, una sección vertical del fósil frecuentemente intercepta solamente la parte inferior de los pilares, dando la impresión de que éstos no llegan al "techo". Estos pilares están restringidos a la parte central de la cámara, o sea a la región que corresponda al "escudo central", no existiendo en la fosa marginal. Esta distinción en escudo central, fosa marginal y costilla marginal, no se presenta en **Coskinolinoidea**, pero sí en **Lituonella**, **Coskinolina** y **Dictyococcus**. Las pequeñas aberturas, como poros, están restringidas al escudo central. Al igual de **Coskinolinoidea**, **Lituonella** tiene una parte inicial arrollada con varias cámaras por vuelta.

El genotipo es **Lituonella roberti** Schlumberger, 1901, del Eoceno (probablemente Luteciense) de Francia. Hay nueve especies en el catálogo de Ellis y Messina, todas del Eoceno (principalmente Inferior y Medio, aunque Keijzer describe una especie **inflata** del Eoceno Superior de Cuba oriental) y con distribución geográfica en la región de la Tethys y el Caribe; la más antigua es del Eoceno inferior de Baluchistan; las otras del tope del Eoceno inferior o base del Medio de Yugoslavia; Eoceno Medio de Francia y simultáneamente en el Caribe (**elegans** Cole de la parte inferior del Eoceno Medio, y **floridana** más arriba en el Eoceno Medio de Florida).

**Coskinolina** Stache, 1875, se puede definir como una **Lituonella** con la zona de la fosa marginal subdividida por tabiques radiales (verticales), pudiendo existir o no una subdivisión adicional por lamelas secundarias semejantes pero más cortas. La derivación de este género de **Lituonella**, propuesta por Cushman, tropieza con el inconveniente de que **Coskinolina** aparece en la columna anterior a aquella en el Cretáceo Inferior. ¿Será necesario pensar en una evolución regresiva, con pérdida de elementos estructurales?

Maync (1955) ha descrito una especie, **Coskinolina sunnilandensis** del Cretáceo Inferior de Venezuela oriental, la caliza Guácharo, miembro basal de la formación Chimana como definida por Rad y Maync (1954), a la que asignan la edad Albiense medio. La descripción detallada y excelentes figuras se pueden ver en la publicación original o en el Catálogo de Foraminíferos de Ellis y Messina. La descripción de la especie se basó en ejemplares de una formación albiense en el subsuelo de Florida (ca-

liza Sunniland), ya que ejemplares sueltos no se hallaron en las muestras venezolanas, aunque la especie abunda en muestras de las secciones de Placeta y Río Carinico (muestras Rod-1206 y Rod-1306, véase la publicación de Rod y Maync). En Venezuela está asociada con **Dictyococcus walnutensis**, **Orbitolina concava-texana**, y **Pseudocyclamina hedbergi**. Fué identificada también en muestras de calizas urgonienses de Suiza, y Maync cree que un ejemplar ilustrado por J. Pfender (1938) de Xitlal, San Luis Potosí, Méjico, en calizas supuestamente cenomaniense-turonenses, puede ser la misma especie. Hasta ahora, **C. sunnilandensis** es la única especie descrita del Cretáceo, aunque la presencia del género en esa edad fué indicada por Cuvillier y Sacal (1951) en Aquitania, Francia, y por Galóway (1933) del Cretáceo Inferior de Luisiana. Cushman, 1948, al indicar la extensión del género como Cretáceo Inferior a Eoceno medio, se basaba sin duda en "**Coskinolina**" **adkinsi** Barker del Cretáceo de Tejas, que, como hemos indicado más arriba, es una **Coskinolinoidea**; pero ahora esa distribución estratigráfica resulta ser cierta. El género se conoce principalmente del Eoceno medio, con una distribución geográfica semejante a la de **Lituonella**. El genotipo, **C. liburnica** Stache, 1875, no fué representada por su autor, pero Cushman (1937) reproduce buenas figuras de Schubert, (1912) de esta especie cuya edad se da como parte inferior del Eoceno medio de Dalmacia (ahora Yugoslavia). (Davies, 1935, da la edad como Paleoceno). Hay dos especies interesantes por la zonación del Eoceno medio del subsuelo de Florida, **elongata** y **floridana** de Cole, 1942. L. M. Davies describió una especie **balsillei** del Eoceno inferior de Balu-

chistan. Hay dos especies mal ilustradas de Silvestri (1939) del Eoceno medio de Somalia. "**Coskinolina**" **cookei** Moberg se considera ahora como una especie primitiva de **Dictyoconus**.

**Falotella** Mangin, 1954, genotipo **F. alavensis** Mangin del Paleoceno-Eoceno de España, en la opinión de Maync, no merece distinguirse de **Coskinolina**; las secciones horizontales indican septos radiales marginales alternando con otros semejantes más cortos (semi-septos), que se admiten en la definición moderna de **Coskinolina**. Mangin creía ver una diferencia en que **Falotia** (según dice), tiene las aberturas dispuestas en líneas, en contraste con la disposición irregular de **Coskinolina**, pero Maync considera esta diferencia como no demostrada, y aún si lo estuviera, de valor cuanto más para distinguir una especie.

**Dictyoconus** Blanckenhorn, 1900 (escrito también por su autor: **Dictyconos**) es semejante a **Coskinolina** pero tiene además septos **horizontales** o transversales, que dan a la zona marginal una estructura de casillero ("pigeon-hole structure"). Pueden existir también séptulos adicionales verticales de dos órdenes de magnitud, así como también séptulos horizontales; estas diferencias sirven para distinguir especies. El tamaño es también interesante a este respecto.

Maync ha identificado en Venezuela la especie **Dictyoconus walnutensis** (Carsey), descrita originalmente del Albiense de Tejas (arcillas Walnut), como "**Orbitolina**". Esta especie tiene una distribución geográfica extensa en el Albiense del Nuevo Mundo (Tejas, Méjico, Cuba, Venezuela), pareciendo que ha aparecido más pronto en el Viejo Mundo (Aptiense-Albiense de Irán y pre-Aptiense, quizás Valan-

giniense, de Francia). Las otras dos especies cretáceas son **D. arabicus** Henson del Barremiense? - Aptiense de Arabia, y Cenomaniense de Irán, y **D. valentinus** Almela, 1946; cuyos caracteres, según Maync, no concuerdan bien con los del género. **Dictyoconus cookei** (Moberg) del Eoceno medio de Florida, descrita originalmente como una **Coskinolina**, es una especie primitiva semejante a **walnutensis** en que tiene un solo séptulo horizontal por cámara, pero es considerablemente más grande (diámetro basal: 2,22 mm. y altura: 1,6 mm., en promedio, mientras que en los ejemplares venezolanos de **walnutensis** el diámetro es de 1,3 mm.).

**Dictyoconus** se describió originalmente del Eoceno (genotipo "**Patellina**" **egyptiensis** Chapman, de Egipto), creyéndose al principio que estuviera restringido a esa edad. Durante el Eoceno medio el género prosperaba en la región de Florida y de las Antillas Mayores (Cuba, Jamaica, Haití), donde está representada por varias formas descritas originalmente como especies distintas (**americanus** Cushman, **codon** Woodring, **puilboreanensis** Woodring, **gunteri** Moberg) pero que se consideran ahora como probablemente variaciones de una sola especie: **americanus**. Parece probable que esta especie se derivara de **egyptiensis**, ya que últimamente se ha encontrado en Puerto Rico una forma muy semejante, si no idéntica, a esta especie, con la que ya se había notado la semejanza en las formas americanas.

Nos toca ahora describir otro grupo dentro de la familia, cuya estructura interna es más difícil de interpretar y de describir. En este grupo, cuyo representante más importante es **Orbitolina**, no encontramos la estruc-

tura relativamente sencilla de los géneros arriba descritos, con una zona central caracterizada por pilares entre piso y piso, la cual se puede deducir claramente de las secciones verticales. En vez de una disposición regular de elementos, se observa ahora en la parte central una estructura muy compleja que se pudiera llamar "laberíntica", pero tiene el inconveniente este término que se presta a una confusión con la **pared** laberíntica arenosa, algo flojamente unida y llena de cavidades irregulares y anastomosadas de los **Lituolidae**. Adoptaremos de preferencia el término usado por algunos autores franceses, de **retículo** o red, para designar esta parte. Inclusive llega a ser difícil o casi imposible entre esta red, distinguir cuáles serían los pisos de las cámaras; solamente en la zona marginal o periférica se observan claramente.

Quizás **Simplorbitolina** Ciry y Rat, 1953, basada en la sola especie **S. manasi** del Aptiense más superior o Albiense basal de los Pirineos, es el género clave para introducirnos en la mayor complejidad de **Orbitolina**. **Simplorbitolina** tiene septos radiales (verticales) que subdividen las cámaras en la parte periférica. En el interior, en la zona inframarginal, estos tabiques rectos y delgados se engruesan de repente, se vuelven ondulados y finalmente se fusionan en la parte central (**retículo**). Debido a la fusión de estos septos, el **retículo** en corte horizontal presenta un aspecto estrellado muy llamativo que sugiere como un coral. Hay "semi-septos" en la zona marginal entre estos septos radiales principales, y en la parte juvenil de la concha puede haber además una subdivisión adicional por séptulos radiales (2 ó 3), pero no hay ningún tabique (séptulo o septo) **horizontal** como los hay en **Orbitolina**.

Ahora podemos describir ya a **Orbitolina** d'Orbigny como semejante a **Simplorbitolina**, pero con los septos principales radiales mucho más numerosos y con una subdivisión adicional del espacio de la zona marginal por elementos **horizontales**, que dan una estructura de "casillero", análoga a la de las especies más complejas de **Dictyoconus**. Glaessner (1945, fig. 23-a) reproduce una figura de L. M. Davies (1939), que da una idea de la complejidad interna producida por las ondulaciones de los septos radiales principales, que se describen como **triangulares** en sección, con sus bases fijadas al piso de la cámara próxima superior, y también alternando en su alineación de una cámara a otra. Debido a esta disposición, según Glaessner, en la superficie desgastada de los ejemplares de **Orbitolina** se observa un dibujo característico de líneas curvas divergentes a partir del ápice y que se interceptan, ornamentación que es semejante a la que se usaba antiguamente en las cajas de relojes de bolsillo, y que en inglés se describe como "engine-turned". (Cushman, 1950, alude a este diseño "engine-turned" como "producido por la disposición de los elementos triangulares de la concha", sin haber indicado cuáles son éstos).

Finalmente, en la parte central desaparecen aparentemente los últimos vestigios de organización en la subdivisión de la cámara, y se describe como un **retículo** o parte central laberíntica.

Se ha de notar que aparentemente las cámaras finales (basales) frecuentemente no llegan al centro, sino que tienen la forma anular en vez de la de platillo, por cuyo motivo la base de la concha puede ser ligeramente cóncava.

que terminan hacia el interior de la concha en pequeños "knobs or buttresses", es decir, como en pilares no individualizados. En la parte central hay lamelas verticales cortas e irregulares. Las aberturas son perforaciones en la cara oral, una al final de cada septo radial. Estructuralmente, como dice Henson, **Coskinolinos** se compara más estrechamente con **Coskinolina**, excepto por su forma comprimida y porque no hay pilares individuales sino más bien lameliformes y que se unen para formar una red, estructura que Henson compara con la de **Orbitopsella**. Tampoco hay la costilla marginal de **Coskinolina**.

Hay otros dos géneros de forma cónica-comprimida descritos por Henson de la península Qatar (sic) de Arabia; **Lituonelloides** y **Dictyoconella**. La especie tipo de éste, **Dictyoconella complanata** Henson, viene del Maestrichtiense, pero hay otra especie más antigua, **D. minima**, de capas probablemente del Cenomaniense superior o Turoniense. Por la presencia de séptulos verticales principales y secundarios, más otros horizontales, tiene cierto parecido con **Dictyoconus**. Dice Henson que algunos de los septos radiales terminan en pilares ("buttress-like knobs") a semejanza de **Dictyoconus**, pero que otros se extienden hacia el interior para formar una red compleja como en **Iraqia**.

**Lituonelloides** genotipo **L. compressus**, es del Maestrichtiense, y como lo sugiere el nombre, tiene más parecido con **Lituonella**, del que se diferencia por la estructura irregular y lameliforme de los pilares; se distingue de **Dictyoconella** por la ausencia de los septos y séptulos en la zona marginal.

Con esto terminamos la descripción de los géneros de la familia; conviene advertir que hay varios nombres de géneros que se podría creer que corresponden a la familia, pero que en realidad pertenecen a otras familias; p. ej., **Orbitolites** Lamarck, **Orbitolina** Henson, **Dictyoconoides** Nuttall.

#### Consideraciones sobre la filogenia de los Orbitolínidos.

En vista de que los especialistas no ven clara la evolución de esta familia, es muy presuntuoso y arriesgado lanzar unas ideas que se nos han ocurrido, pero como los paleontólogos no podemos menos que buscar siempre esquemas de las tendencias evolutivas, nos vamos a permitir ese lujo. La primera idea que se nos ocurre, es que en este grupo de foraminíferos, como en varios otros, nos hemos dejado guiar por un concepto demasiado simple de lo que puede haber sido la evolución. La teoría de la "ortogénesis" ya ha sido descartada por Simpson y otros en la evolución de los vertebrados, pero los micropaleontólogos seguimos formulando esquemas ortogénéticos de la evolución, desde las formas más sencillas a las más complejas, sin admitir por un momento la posibilidad de que la evolución entre los Foraminíferos pueda haber tendido en un momento dado hacia la **simplificación** de la estructura. Subestimamos la probable complejidad de los factores genéticos implicados en la evolución, quizás porque no podemos erradicar la noción implantada en nuestras primeras lecciones de Biología, de que los Protozoarios son organismos "sencillos". A la que suscribe, le parece probable que en la evolución de formas tan complejas como los Orbitolínidos existieran

varios complejos de factores hereditarios que controlaran el desarrollo de diferentes estructuras del caparazón, y que estos se habrán combinado y re-combinado, perdiéndose o segregándose en las recombinaciones, de modo que frecuentemente será difícil decir si un género es más "avanzado" o es derivado de otro, o si son derivados ambos de un antepasado común pero con diferentes combinaciones y permutaciones de los factores genéticos.

Efectivamente, **Coskinolinopsis** nos parece muy apropiado como tipo ancestral de la familia; posiblemente la forma comprimida alude a la de antecesores que ignoramos, y que la forma cónica fuera una adaptación posterior, quizás superior para la vida bentónica (¿alimentación por partículas orgánicas en el barro del fondo, como ciertos **Monothalamia**?) La estructura interna de "pilares lameliformes" nos sugiere que hay dos tendencias hereditarias algo contradictorias, las que más tarde tenderán a ser mutuamente exclusivas; la de formar pilares, y la de formar lamelas que tienden hacia la ubicación radial. En **Simplorbitolina** ya predomina la tendencia radial; y más aun en **Coskinolinos**, en donde (quizás por su tamaño tan pequeño), no se observa nada de lo que podemos llamar la tendencia "anárquica" de la zona central de organizar el material del esqueleto en paredes ramificadas y anastomosadas, sino que la organización radial llega casi hasta el centro de la concha.

De **Coskinolinopsis**, con la adquisición de la forma cónica perfecta, y la resolución definitiva del problema de la organización del esqueleto en la zona central por el sistema de pilares, se podría llegar fácilmente a **Cos-**

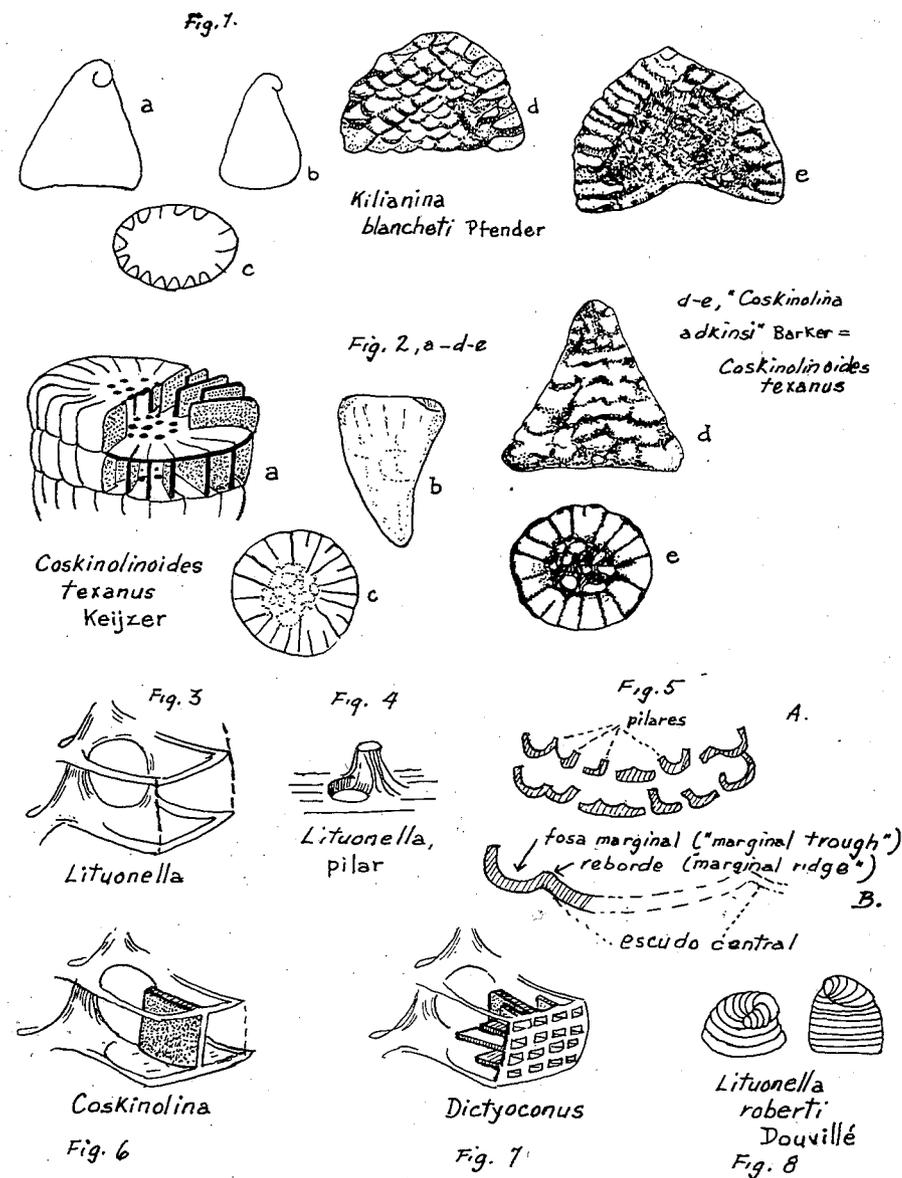
**kinolina**, que aparentemente se originó temprano en el Cretáceo, aunque quizás no antes del Albiense. Aparentemente se había logrado considerable estabilidad en la constitución genética, ya que **Coskinolina** persiste hasta el Eoceno.

Se ha presumido que **Dictyoconus** se ha derivado de **Coskinolina**, pero parece haber aparecido con anterioridad; quizás en el Valanginiense de Francia. Entonces tenemos que pensar que el "bio-carácter" de forma una red subepidérmica (por séptulos verticales y horizontales) quizás fuera controlado por genes no necesariamente ligados con los que controlaban la formación de los septos radiales, sino que eran independientes; el hecho de que este biocarácter se haya perdido en **Orbitolinos** del Eoceno, que conserva todos los demás caracteres de **Orbitolina**, refuerza esta suposición. Por lo tanto, no consideramos necesario presumir la derivación de **Dictyoconus** desde **Coskinolina**; la evolución puede haber sido a la inversa, por pérdida de la red, o ambos pueden ser derivados de un antepasado común. En **Orbitolinopsis** e **Iraqia**, tenemos nuevamente dos formas contemporáneas, la primera sin red, la otra con ella, lo que sugiere que el carácter se hereda independientemente de los otros. No está muy claro cómo se acomodan estos géneros en la ramificación filogenética del grupo, excepto que por la tendencia hacia la organización radial en la zona central, están asociados más bien con la stirpe de **Orbitolina** que con la de **Dictyoconus**. Si **Orbitolina** se ha derivado de uno de ellos, o de **Simplorbitolina**, o de ambos —o cuál papel juega **Kilianina** en la filogenia— son preguntas que no tienen contestación en el estado actual de nuestros conocimientos.

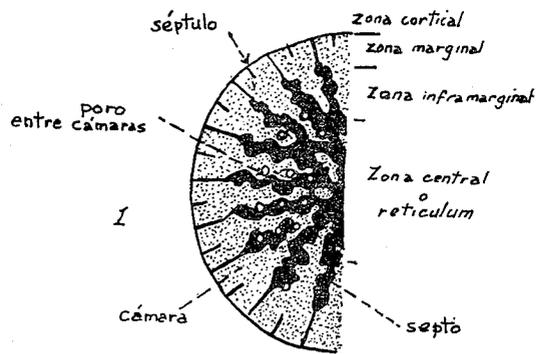
Tomando en cuenta la aparición tardía de *Lituonella*, nosotros lo interpretaríamos como derivado quizás de *Coskinolina* por pérdida del factor hereditario que gobernaba la formación de septos en la zona marginal, a menos que se haya derivado directamente de *Coskinolinoides* mediante formas que ignoramos. Que las formas más grandes y con mayor formación esquelética sean las más "modernas", no es cierto, por ejemplo, en los Batracios, donde los representantes modernos de la Clase han **reducido** el esqueleto (a la vez que el tamaño) en comparación con los Laberintodontos del Paleozóico. Si consideramos la pérdida de los septos radiales en *Lituonella* como un "adelanto evolutivo" o como una "degeneración" es jugar con palabras; probablemente la tengamos que considerar una "calle sin salida" de la evolución, ya que no sobrevivió al Eoceno, y que sepamos no dejó descendencia.

Ignoramos los factores que motivaron la extinción de *Orbitolina* durante el Cretáceo, mientras que *Dictyoconus*

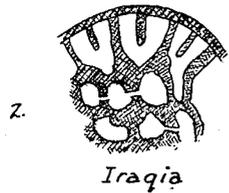
alcanzó su plenitud en el Eoceno. De todos modos, es evidente que el mar de Tethys, y en menor grado la región Caribe-antillana, ofrecía durante el Cretáceo condiciones especiales excepcionalmente favorables para el desarrollo de especies grandes y complejas de Foraminíferos —no solamente los Orbitolínidos sino también los Lituólidos, Meandropsínidos y *Lofusina*. Si la extinción de estas formas tiene algo que ver con la adaptación de otros Foraminíferos a la vida planctónica en el Cretáceo, o, expresándolo en forma más simple, si ya la competencia en el ambiente bentónico estaba provocando el éxodo o fuga hacia un medio ambiente menos congestionado y menos competitivo; y si el éxito de los foraminíferos planctónicos en el Terciario tiene algo que ver con cambios climáticos progresivamente más difíciles para las grandes especies bentónicas; o si la competencia de los Orbitolínidos, son preguntas que probablemente quedarán para siempre sin contestación.



Figs. 3, 6, 7. Partes de la zona marginal, suponiéndose quitada la pared externa, y parte de los septos intercamarales (pisos de las cámaras uniseriadas).



*Simplorbitolina*



*Iraquia*



*Orbitolina*



4. *Orbitolinopsis kiliani* (Prever)



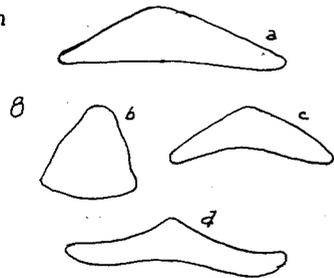
5. *Iraquia simplex* Henson



*Orbitolinopsis*



*Iraquia*



*Orbitolina*

Figs. 1-5, cortes horizontales  
6-8, perfiles de cortes verticales (estructura interna no indicada.)

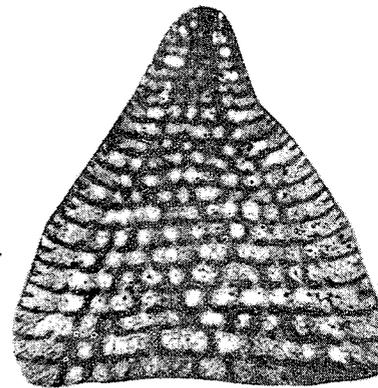


Figura No. 1.

*Dictyoconus walnutensis* (Carsey), sección axial de esta especie primitiva del género del Cretáceo, indicando las séptulos horizontales de cada cámara en la zona marginal, y la estructura de pilares en la zona central. (Según Maync, 1955).

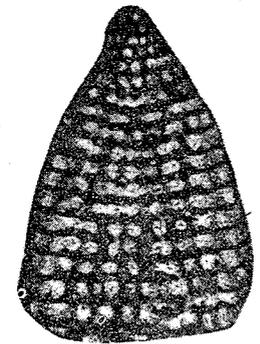


Figura No. 2.

*Coskinolina sunnilandensis* Maync, sección axial, mostrando las cámaras de la zona marginal no subdivididas por séptulos, y la zona interna de pilares. (Según Maync, 1955).



Figura No. 4.

La misma especie en sección paralela a la base, para indicar las cámaras marginales parcialmente subdivididas por sendos séptulos verticales, y las aberturas múltiples de la cámara en la parte central. (Según Maync).

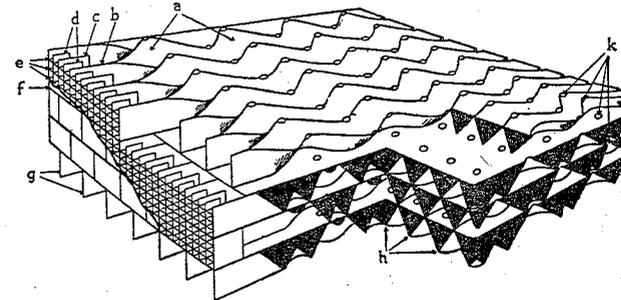


Figura No. 3.

*Orbitolina*, vista diagramática de una parte de la zona marginal y submarginal de tres cámaras, para indicar la estructura. En la zona marginal, se observa la estructura de casillero, en donde en adición a los septos principales horizontales (f) y verticales (g) hay séptulos horizontales (e) y verticales de dos órdenes de magnitud (c y d). Al interior, se observan los septos radiales ondulados (a), a la izquierda en perspectiva, a la derecha, cortados para indicar (en negro) su sección triangular, con la base dirigida hacia el piso de la cámara superior. (Figura de Glaessner, según L. M. Davies).

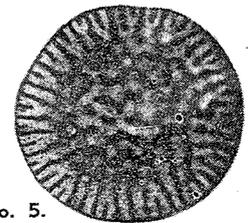


Figura No. 5.

Parte de la región marginal y submarginal de una especie avanzada de *Dictyoconus* (del Eoceno), en sección horizontal, para indicar el desarrollo extenso de los séptulos en las especies más características del género (compárese con la Fig. 1). (Según Vaughan).

## CITAS BIBLIOGRAFICAS

(Las obras marcadas con \* son las recomendadas especialmente por sus descripciones modernas de la estructura en esta familia).

- CIRY, R., y RAT, P. (1953) **Description d'un nouveau genre de Foraminifere, Simplorbitolina mansi nov. gen. nov. sp.**, Bull. Scient. de Bourgogne, Dijon (Francia) vol. 14, p. 85-100.
- \*COLE, W. S. (1941) **Stratigraphic and paleontologic studies of wells in Florida**, Dept. Conserv. Geol. Surv., State of Florida, Geol. Bull., No. 19, Tallahassee, Florida.
- \* — — — (1942) **Stratigraphic and paleontologic studies of wells in Florida**, No. 2, **Ibidem**, Geol. Bull., No. 20
- \* — — — (1944) **Stratigraphic and paleontologic studies of wells in Florida**, No. 3, **Ibid.**, Geol. Bull., No. 26.
- \* — — — (1945) **Stratigraphic and paleontologic studies of wells in Florida**, No. 4, **Ibid.**, Geol. Bull., No. 28.
- CUSHMAN, J. A. (1937) **A monograph of the foraminiferal family Valvulinidae**, Cushman Lab. Foram. Res., Spec. Pub. No. 8, Sharon, Massachusetts, EE. UU.
- — — (1947) **A supplement to the monograph of the foraminiferal family Valvulinidae**, **Ibid.**, Spec. Pub. No. 8-A.
- — — (1948) **Foraminifera, their classification and economic use. Fourth edition, revised and enlarged, with an illustrated key to the genera.** Harvard Univ. Press, Cambridge, Massachusetts, EE. UU.
- \*DAVIEE, L. M. (1930) **The genus Dictyoconus and its allies; a review of the group, together with a description of three new species from the Lower Eocene beds of northern Baluchistan.** Roy Soc. Edinburgh, Trans., vol. 56, pt. 2 (No. 20), p. 485-505, 2 pls.
- \* — — — (1939) **An earlier Dictyoconus and the genus Orbitolina; their contemporaneity, structural distinction and respective natural allies**, **Ibid.**, vol. 59, p. 773-790.
- ELLIS, B. F. y MESSINA, A. R. (1940- ) **Catalogue of Foraminifera**, Dept. of Micropaleontology, Amer. Mus. Nat. Hist., Nueva York.
- GALLOWAY, J. J. (1933) **A manual of Foraminifera**, The Principia Press, Bloomington, Indiana, EE. UU.
- GLAESSNER, M. F. (1945) **Principles of micropaleontology**, Melbourne Univ. Press, Melbourne, Australia.
- \*HENSON, F. R. S. (1948) **Larger imperforate Foraminifera of southwestern Asia**, Brit. Mus. - Nat. Hist., Londres.
- HODSON, H. K., (1926) **Foraminifera from Venezuela and Trinidad**, Bull. Amer. Paleo., vol. 12, No. 47, p. 1-46, Ithaca, N.Y., EE. UU.
- KEYZER, F. G. (1942) **On a new genus of arenaceous Foraminifera from the Cretaceous of Texas**, K. Nederl. Akad. Wetensch., Proc., vol. 45, No. 10, p. 1016-17, Amsterdam. (Describe **Coskinolinoidea**).
- MANGIN, J.-Ph. (1954) **Description d'un nouveau genre de Foraminifere: Fallotella alavensis**. Bull. Scientif. de Bourgogne, vol. 14, p. 209-219, Dijon, Francia.
- \*MAYNC, Wolf (1955a) **Dictyoconus walnutensis (Carsey) in the middle Albian Guácharo limestone of eastern Venezuela**, Cushman Found. Foram. Res., Contrib., vol. 6, p. 85-93, Ithaca, N.Y., EE. UU.

- \* — — — (1955b) **Coskinolina sunnilandensis n.sp., a Lower Cretaceous (Urgo-Aptian) species**, **Ibid.**, vol. 6, pt. 3, p. 105-111, pls. 16-17.
- MOBERG, M. W. (1928) **New species of Coskiololina and Dictyoconus from Florida**, Florida Geol. Surv., 19th Ann. Rept., p. 166-175, pls. 3-5, Tallahassee Florida, EE. UU.
- PFENDER, J. (1933) **Sur un Foraminifere nouveau du Bathonien des Montagnes d'Escoirons (H. Alpes): Kilianina blancheti, nov. gen. nov. sp.**, Annales Science-Médecine de l'Univ. de Grenoble, n.s. vol. 10. (Existe considerable incertidumbre sobre la fecha y el lugar de la primera publicación de este trabajo, véase la nota de Maync, 1955b, p. 107).
- ROD, E., y MAYNC, W. (1954) **Revision of Lower Cretaceous stratigraphy of Venezuela**, Amer. Assoc. Petrol. Geol., Bull., vol. 38, No. 2, p. 193-283, Tulsa, Oklahoma, EE. UU.
- SIGAL, J. (1952) **Foraminiferes**, en Piveteau, J. (ed.) **Traité de Paléontologie**, tome 1, p. 133-301, Masson et Cie., Paris.
- VAUGHAN, T. W (1932a) **American species of the genus Dictyoconus**, Journ. Pal., vol. 6. No. 1, p. 94-99, pl. 14.
- — — (1932b) **The foraminiferal genus Orbitolina in Guatemala and Venezuela**, Nat. Acad. Science, Proc., vol. 18, p. 609-610, Washington, D.C., EE. UU.
- — — (1945) **American Paleocene and Eocene larger Foraminifera**, Geol. Soc. Amer., Mémoir 9, pt. 1, p. 1-175, 46 pls., Nueva York. (**Orbitolinoidea**, p. 22-23, pl. 2).



# MEMORIAS

## DE LA FACULTAD DE CIENCIAS



UNIVERSIDAD DE LA HABANA

Vol. 1, No. 1  
Serie GEOLOGIA, Fasc. 1  
Octubre, 1963



## CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA ESTRATIGRAFIA DE CUBA

*Frances Charlton de Rivero*(\*)

### PROLOGO

La publicación del presente trabajo sobre Estratigrafía de Cuba producirá, sin duda, una gran satisfacción a los interesados en estas materias y su lectura les será de gran provecho. La certeza de esta afirmación se comprenderá, si tenemos en cuenta el hecho de que este interesante trabajo es el único que se ha realizado hasta el presente sobre esta materia en Cuba.

A los investigadores de la Geología y Paleontología de Cuba ha causado siempre una honda preocupación el hecho de no contar con una descripción razonada y cuidadosa de las distintas unidades estratigráficas cubanas y todo ello ha originado numerosas dificultades a la hora de realizar estudios sobre estos temas.

En la literatura geológica que trata sobre nuestro país existen, dispersos, numerosos trabajos realizados por distintos especialistas cubanos y extranjeros relacionados con la Estratigrafía de la Isla. No obstante, es este valioso trabajo de la Dra. Frances Charlton de Rivero el primero en el que se hace una recopilación y análisis detallado de las principales unidades estratigráficas, incluyendo su fauna característica, la naturaleza de los contactos, así como la litología de dichas unidades. Igualmente valiosas son las observaciones de la autora sobre algunos tópicos oscuros, dándonos una clara muestra de su gran experiencia sobre estos problemas, aclarando de ese modo numerosos puntos hasta ahora dudosos.

La correlación de las unidades cenozoicas cubanas con los de las regiones geográficas vecinas del área Caribe-Antillana, es otro aporte de interés que realza el mérito científico de este trabajo.

Para comprender cabalmente la vigencia de las cuestiones tratadas por la Dra. F. Ch. de Rivero, es suficiente señalar lo moderno de los datos aportados por ella al introducir en su trabajo la Tabla de Formaciones de Cuba Occidental (Herrera, 1961), así como las consideraciones de Banner, Blow, et al (1962) sobre los sedimentos del Oligoceno en Cuba. También el estudio de los últimos trabajos de Bermúdez (1959, 1961), micropaleontólogo cubano de reconocida autoridad, han permitido a la autora familiarizarse con la geología de nuestro país.

Por todo lo anteriormente expuesto, es que consideramos sinceramente que el trabajo de la Dra. F. Ch. de Rivero, representa una valiosa contribución a la geología de Cuba.

G. Furrázola,  
Dpto. Geología y Paleontología.

(\*) Jefe del Departamento de Geología de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela.

La formación **Vía Blanca**, según Herrera presenta tipos litológicos muy variados: calcarenitas, lutitas arenosas a limolíticas a veces tobáceas; brechas y areniscas de color oscuro; margas, tobas, etc., todos los tipos interestratificados, contorsionados e intensamente alterados. Herrera asigna la formación al Campaniano a Maestrichtiano sin datos paleontológicos ni argumentación.

Formación **San Juan**. Herrera (1961, p. 20) da ésta como correlativa con Vía Blanca, en la llanura sur de Pinar del Río cerca de San Juan y Martínez. Allí al parecer se presenta debajo de la formación Madruga. La describe como compuesta de margas negras a grises, tobas pasando a veces a brechas y aglomerados, areniscas micáceas, conglomerados, canzas blancas, etc. Pero aunque la correlaciona con Vía Blanca, Herrera da la edad como "Maestrichtiano-Paleoceno".

Formación **San Pedro**. Herrera menciona que Ducloz ha dado este nombre a una brecha de calizas interestratificadas con calizas detríticas. No se mencionan las relaciones con otras formaciones, así que virtualmente es un **nomen nudum**.

Bermúdez en el *Léxico de Cuba* (1959, pp. 49-50, 84) alude a algunas capas de lutita tobáceas que dice que se presentan en las cercanías de Jibacoa, en la vertiente norte de la provincia de la Habana. La misma formación, dice que se halla en las provincias de Las Villas y Camagüey, por debajo de la formación Habana, la llama informalmente, **formación Pre-Habana**.

Tiene una fauna muy interesante, formada principalmente por radiolarios cónicos y triangulares, los mismos que fueron erróneamente clasificados como foraminíferos del Género *Baculogypsina* por M. P. White (1928). El horizonte en México está en el tope de la formación San Felipe o sea que según la correlación de Imlay (1944) correspondería al Santoniano o quizás llegando al Coniaciano, si no está realmente en el tope de la formación. Bermúdez menciona también de esta formación Pre-Habana, foraminíferos del género *Rotalipora* los que si no son redepositados, indicarían que la formación llega hasta el Turoniano. La separación de esta formación, ayudaría a definir el límite inferior de la formación Habana en la región tipo.

Palmer en 1942 y 1945, habla de dos facies de la formación Habana (en el sentido amplio). En 1942 da la expresión más clara de su interpretación: "La formación está plegada bastante intensamente, y comprende dos facies que son probablemente contemporáneas. Son: la primera, una facies clástica, con areniscas bastas calcáreas y margas, cubiertas por interestratificaciones de arenas, lutitas y conglomerados. Los conglomerados tienen un contenido mixto de cantos y se derivaron de fuentes no identificadas hoy en la Isla. En segundo término, hay una facies de calizas, que se presentan en el lado norte de las provincias de Santa Clara y Camagüey y la que al parecer se originó en el mismo sitio con poco transporte". (Palmer, 1942, p. 629). Más adelante, con referencia al tectonismo de la Isla (p. 632) expresa que el segundo episodio de orogénesis en Cuba (la primera orogénesis, en su opinión, siendo posterior a las capas con *Aptychus*) tuvo lugar después del Eoceno Medio y anterior al Eoceno Superior. Esta orogénesis fue la más intensiva a la vez que extensiva, y se caracterizó por pliegues volcados y cabalgaduras (sobrescurrimientos), especialmente en la cordi-

llera de Las Villas y en las montañas de Trinidad. Debido a estos movimientos, expresa Palmer que las dos facies del Cretácico Superior que normalmente están separadas por 30 ó 40 kilómetros, están a sólo 10 ó 15 kilómetros de distancia. Sugiere que un segmento ha sido empujado hacia el norte.

En la provincia de Las Villas (Santa Clara), el término de serie de **Tobas o formación de Tobas** (Tuff series, Tuff formation) fue aplicado por los geólogos holandeses que trabajaban en Cuba (M. G. Rutten, 1936 a, quien publicó primero el término; MacGillavry, 1937; Vermunt, 1937 b y Thiadens, quien usó la palabra formación). Imlay (1944 b en su tabla de correlación de las formaciones cretácicas de Las Antillas y Centro América, usa la forma "Tuff formation", indicando la extensión stratigráfica como Cenomaniano a Coniaciano, y separada de la formación Habana (o la caliza de Loma Yucatán, que describiremos más adelante) por un hiatus, y, según los geólogos holandeses, con discordancia angular. Imlay resume las descripciones de la formación para describirla como una formación potente de espilitas, tobas, brechas tobáceas, pórfidos, diabasas, ftanita verde a negra, caliza gris y un poco de lutita. No contiene arenisca ni cuarcita. Las rocas ígneas son predominantemente de color verde o verdoso. Las espilitas y diabasas generalmente no presentan indicios de estratificación, los pórfidos se presentan como "sills" delgados o coladas, las otras rocas son claramente estratificadas. Las calizas están interestratificadas con las rocas volcánicas y son más frecuentes en la parte inferior de la formación, especialmente en el sur de la provincia, en la vecindad de Provincial, donde Thiadens, las denominó **calizas de Provincial**. Son calizas de color desde amarillenta a gris oscura, de grano fino a mediano, localmente oolíticas a microconglomeráticas. Bermúdez menciona también calizas compactas, margas con globigerínidos y calizas con radiolarios. Thiadens le adscribió un espesor de unos 8.000 metros a la formación de tobas, pero Imlay considera excesiva la cifra.

Imlay considera que la edad de la Formación de Tobas corresponde a la parte inferior del Cretácico Superior, probablemente Cenomaniano a Coniaciano. En la parte superior de la formación, en el norte de la provincia, Rutten (1936 a) recogió ammonites identificados provisionalmente por Jaworski como de los géneros *Austiniceras*, *Pachydiscus*, *Peroniceras*, *Barroisiceras* y *Crioceras*. Jaworski comparó la mayoría de las especies con especies de Zumpango del Río en Guerrero central, México, que Burckhardt refirió al Coniaciano; pero Imlay señala que tanto la fauna mexicana como la cubana, o contienen una mezcla de especies de dos niveles —Turoniano y Coniaciano— o las especies tienen una distribución más larga de lo que se había supuesto. Al menos, expresa Imlay que los ammonites cubanos deben representar un nivel cerca del límite Turoniano-Coniaciano, y entonces la parte suprayacente de las tobas podría ser de edad Coniaciano.

En las calizas de Provincial, Thiadens identificó los rudistas siguientes: *Caprinuloidea perfecta* Palmer, *Coalcomana ramosa* (Boehm), *Sabinia* sp. y *Tepeyacia ? corrugata* Palmer. La mayoría de estas especies se hallan también en el sur de México, asociados con otros muchos rudistas. Nerineas, Actaeonellas, y una especie de *Chondrodonta* semejante a *C. munsoni* (Hill). Esta es la "fauna de Tepeyacia" de L. J. Chubb (1956) quien considera que la edad de esta fauna es probablemente Cenomaniano-Turoniano, la misma edad que Palmer (1928) había asignado a la fauna mexicana. Se puede

mencionar que MacGillavry (1937) trató de demostrar la edad Albiano de la fauna, pero esta tesis no ha tenido apoyo.

Rutten (1936 a, fide Imlay, 1944 b) describe la formación Habana como presentando una facies septentrional y otra meridional, en el norte de la provincia de Las Villas. La facies meridional, se describe como formada de tobas, calizas tobáceas y calizas con muchos rudistas y foraminíferos orbitoidales. La facies norteña consiste principalmente de calizas brechosas y conglomeráticas con pocos fósiles. Las tobas de la formación La Habana, dice Rutten que se distinguen de capas semejantes en la Formación de Tobas por su color más claro, aspecto más fresco y otros rasgos petrográficos. Ambas facies descansan en discordancia en la Formación de Tobas o en la Caliza Viñales y están cubiertas con discordancia por el Eoceno Superior. En el sur de la provincia, Thiadens (1937 a, fide Imlay) describe la formación como compuesta de calizas margas, calizas tobáceas y conglomeráticas, que han dado una rica fauna de edad Maestrichtiano. Sus relaciones estratigráficas son como en el norte de la misma provincia. Thiadens menciona un espesor mínimo de 700 metros.

En la provincia de Camagüey, MacGillavry (1937), resumido por Imlay, 1944 b) estudió el Cretácico, pero un estudio más moderno es el de de Albear (1947) sobre la geología de la vecindad de la ciudad de Camagüey. En esta región, informa de Albear, los sedimentos más antiguos identificados corresponden a una unidad a la que no da nombre formal, pero que corresponderá a la formación Viñales en el sentido de calizas del Portlandiano y Cretácico Inferior. Estas calizas están expuestas en la Sierra de Camaján, y parecen tener un espesor mínimo de 1.200'. Estas calizas han sufrido un sobrecorrimiento con al menos 6 millas de desplazamiento hacia el sur, sobre la serpentina que circunda la región. De Albear encontró ammonites Portlandianos de los géneros *Dickersonia*, *Durangites*, *Parodontoceras*, *Leptoceras* y dos formas de *Lamellaptychus*. Según MacGillavry, Jaworski identificó dos especies de ammonites infracretácicos de la misma región: *Neocomites* cf. *N. neocomiensis* y "*Oppelia*" (= *Aconeceras*) nisioides del Aptiano.

De Albear divide las rocas del Cretácico Superior, que son principalmente tobas con algunas calizas, en las siguientes formaciones, en orden ascendente: 1) calizas de La Fe, de edad probablemente Santoniano Superior o Campaniano; 2) calizas de Loma Yucatán o Yucatán, probablemente del Campaniano Superior y 3) la formación Habana, claramente de edad Maestrichtiano.

**Calizas de La Fe.** Esta formación incluye los tres tipos litológicos siguientes: 1) calizas oscuras grises a negras, duras, recristalizadas, en capas delgadas, interestratificadas con capas lenticulares de marga amarillenta y gris; 2) arcillas tobáceas de color amarillento verdoso, en capas delgadas, friables y con calizas impuras duras de color gris y 3) arcillas arenosas compactas de grano fino. El espesor de la formación no se indica. La formación es rica en pequeños foraminíferos, pero no se observaron macroforaminíferos ni microfósiles. De Albear da una lista considerable, aunque algunas de las determinaciones son casi sin lugar a dudas, erróneas (p. ej., *Globorotalia velascoensis* y "*Globigerina velascoensis*", que son especies paleocenas). La forma más significativa parece ser el mismo tipo de radiolario mal identificado con *Baculogypsina* que hemos mencionado de la formación Pre-Habana y del tope de la formación San Felipe de México.

**Calizas de (Loma) Yucatán.** MacGillavry (1937) había usado el nombre de calizas de Loma Yucatán, para calizas con rudistas que afloran en dos lomas al NWE de la ciudad de Camagüey. De Albear apoca el nombre a calizas Yucatán y las describe como calizas duras, recristalizadas, de color crema a blancuzco grisáceo, con gran abundancia de rudistas. No se menciona el espesor. De Albear da la lista siguiente de rudistas: *Tampsia* (= *Durania*, fide Chubb) *lopestrigoi* Palmer; *Durania curasavica* (Martín); *Vaccinites macgillavryi* Palmer; *Pironea corali* Palmer; *Torreites tschoppi* MacGillavry y *Coralliochama?* sp. Palmer.

MacGillavry (fide Imlay, 1944 b, p. 1015) comparó la fauna con una de Curaçao y la consideró de edad Campaniano, opinión mantenida por de Albear, quien supone que es Campaniano Superior. En contraste Chubb (1956) considera que se trata de la "fauna de *Barrettia*", a pesar de la ausencia del género nominotípico. Esta fauna se encuentra en Jamaica, separado por unos 2.500 pies de sedimentos tobáceos y detríticos de la fauna más moderna con rudistas, la de *Titanosarcolites* y cuya edad es indudablemente Maestrichtiano. Chubb llega a la conclusión de que *Barrettia* s. str. tiene una extensión estratigráfica desde el Turoniano Superior dentro del "Senoniano Inferior", que tanto en Puerto Rico como en Cuba, llega al menos al Campaniano (Chubb, 1956, p. 17). Este dato es interesante, especialmente considerando que tenemos otro punto de correlación por la "*Baculogypsina*" de la formación infrayacente La Fe.

**Formación Habana en Camagüey.** De Albear divide las rocas referidas a la formación Habana en la vecindad de la ciudad de Camagüey, en cuatro "subdivisiones" o miembros, sin indicar claramente las relaciones de estos, excepto por referirlos todos al Maestrichtiano. Si Chubb está correcto en su interpretación de la fauna de rudistas, sin embargo, la edad se extiende más bajo en la columna, hasta al menos Campaniano, porque las especies de rudistas reportadas por de Albear corresponden a la fauna de *Barrettia*. En adición, aunque no aparece por la lista de fauna de este autor, Chubb (1956, p. 14) informa que está presente la fauna de *Titanosarcolites* en la vecindad de Camagüey. "Si se unen todas las localidades con *Barrettia* en el mapa geológico de MacGillavry (1937) de la región alrededor de Camagüey, y hacemos lo mismo con las localidades con *Titanosarcolites*, encontramos que tenemos dos fajas aproximadamente paralelas, que alternan con fajas de la "serie de Tobas" entre y por ambos lados de las zonas con rudistas... Por lo tanto parece que tanto en Cuba como en Jamaica, los dos principales niveles con rudistas tienen capas tobáceas y detríticas por debajo, de por medio y por encima". (Chubb, loc. cit.)

Las cuatro divisiones indicadas por Albear son: a) calizas de la Sierra de Cubitas; b) calizas de la Sierra de Camaján; c) lutitas y gravas, que de Albear compara con el miembro de Cantos Grandes de Palmer; y d) calizas con rudistas.

Las calizas de la Sierra de Cubitas, según de Albear, son duras, recristalizadas, blancas y blancuzcas, y con 5.000 a 10.000 pies de espesor. Los fósiles son pocos, pero incluyen moldes de *Biradiolites*, y unos foraminíferos orbitoidales, y de una cantera al norte de la sierra, se recogió *Vaughanina cubensis* Palmer. No hay que confundir estas calizas con las "calizas de Cubitas" de MacGillavry (1937) (vea Bermúdez y Hoffstetter en el Léxico de Cuba, p. 35) que corresponden al Eoceno Medio y que de Albear describe

(p. 85) bajo esa edad sin darle nombre de formación. Las calizas de la Sierra de Camaján se describen como muy semejantes. Las calizas de *Barrettia* parecen ser biostromas locales, a juzgar por la observación de de Albear, de que se pueden presentar en cualquiera de las otras unidades, principalmente en la de lutitas y gravas. Estas "lutitas y gravas", con toda probabilidad serán piroclásticas y aglomerados ígneos.

La lista faunal de de Albear es interesante, aunque hay algunas asociaciones difíciles de interpretar, p. ej., la asociación de "*Camerina vermunti*" Thiadens que probablemente es *Operculinoides bermudezi* (= *catenula*) (Cushman y Jarvis), *fide* Sachs) que en otras regiones del Caribe es característico del Paleoceno, con *Lepidorbitoides* y otros fósiles cretácicos. Con referencia a esto, se puede mencionar que Bermúdez (1950, p. 220, nota 1) ha expresado la opinión de que se trata de una especie originaria del Cretácico que ha sido redepositada en el Paleoceno en la formación Madruga. También se debe notar la asociación de *Pseudorbitoides trechmanni* con *Vaughanina cubensis*, *Lepidorbitoides* spp. y *Pseudorbitoides israelkyi*, en vista de la afirmación de Chubb (1956, p. 18) de que en Jamaica, *Pseudorbitoides trechmanni* se restringe a la caliza con *Barrettia gigas* que yace 2.500 pies por debajo de la caliza con *Veniella* del Campaniano.

**Provincia de Oriente. Cretácico.** Se mencionan de aquí la Serie de Tobas y la formación Habana, pero no parece que existe información detallada. Restringida a esta región, está la formación *Vinent* de Taber (1934), nombre aplicado para distinguir las rocas con mineral de hierro que afloran en la vertiente sur de la Sierra Maestra y las lomas costeras, esencialmente en la región de Daiquirí y el Distrito Firmeza. Estos depósitos fueron estudiados por varios geólogos norteamericanos en 1915-1916, sin mencionar nombre de formación (J. F. Kemp, 1915; Lindgren y Ross, 1915; Roesler, 1916; Singewald y Miller, 1916). La formación se describe como una mezcla de rocas ígneas (coladas basálticas, andesitas quizás intrusivas, brechas volcánicas, tobas, etc.) y sedimentarias (calizas, cuarcitas, conglomerados). Ha sido invadida por dioritas cuarcíferas que han producido marcado metamorfismo de contacto. La localidad tipo está en la mina *Vinent* cerca de La gran Piedra, al este de Santiago de Cuba. Hay poca información sobre su estratigrafía y sus relaciones con la formación Cobre; inclusive Keijzer (1945) no excluye la posibilidad de que represente la parte inferior de ésta. La referencia al Cretácico depende de unos corales recogidos por Singewald y Miller cerca de Firmeza, que Vaughan refirió al género *Leptophyllia* Reuss, 1854 (= *Acrosmilium* d'Orbigny, 1849), un género que no pasa arriba del Cretácico y que se encuentra también en el Cretácico Superior de Jamaica. Keijzer (1945) encontró en el valle de un río que atraviesa la zona, un fragmento de conglomerado conteniendo *Pseudorbitoides israelkyi* y *Sulcoperculina dickersoni* en la matriz y con cantos que parecen ser de *Vinent*. Si el conglomerado está *in situ*, podría indicar una edad pre-Maestrichtiano para la formación *Vinent*, pero Mitchell (1953) aconseja reservar el criterio.

#### FORMACIONES IGNEAS DEL CRETACICO

Tanto Butterlin (1956, pp. 39-41) como Hoffstetter en el *Léxico*, Bermúdez y Hoffstetter (1959, pp. 32-33) dedican varias secciones a este tema.

**Rocas básicas y ultrabásicas** están representadas por peridotitas y dunitas, generalmente completamente serpentizadas, y de otra parte por gabros, plagioclasitas y troctolitas (gabros de plagioclasa y olivino). Las serpentinas son económicamente importantes por sus yacimientos asociados de hierro, níquel y cromo. Estas rocas básicas con frecuencia están penetradas por diques de rocas gabroides y de dioritas cuarcíferas.

Las serpentinas están localizadas, con pocas excepciones, en la parte norte de varias provincias; la Sierra de los Organos, los anticlinales de La Habana-Matanzas y de Madruga; la zona de corrimientos de Las Villas, la región central de Camagüey, las partes norte y este de Oriente. Su edad ha sido muy discutida. L. Rutten (1940) y su escuela piensan que son todas de una misma edad, anterior al Cretácico Superior o dentro de él pero pre-Maestrichtiano, puesto que fragmentos de ellas se hallan en la formación Habana. Serán posteriores a una parte al menos de las tobas por contener también fragmentos de estas (M. G. Rutten, 1936, p. 13). Flint, de Albear y Guild (1948) estiman que las serpentinas de Camagüey son anteriores a las rocas volcánicas neocretácicas y posteriores a una orogénesis antecedente. Woodring (1954) las considera como emplazadas muy tarde en el Cretácico Superior.

Un criterio diferente es sostenido por Palmer (1945, p. 18) y Mitchell (1955), quienes consideran que hay serpentinas intrusivas en varias formaciones terciarias tan modernas como la caliza de Güines, que se dice estar marmorizada por serpentinas en Matanzas.

**Las Rocas ígneas ácidas** están representadas por granodioritas y dioritas cuarcíferas. Estas se encuentran en la mitad oriental de la isla, y en la parte sur, o sea donde no se presentan las serpentinas. Se encuentran en la ladera norte de las montañas de Trinidad; en el centro de la provincia de Camagüey; y hay un importante afloramiento que se extiende desde el este de la provincia de Camagüey dentro del noroeste de Oriente, además de extensos afloramientos en la Sierra Maestra.

La edad de estas rocas ácidas es tan discutida como la de las básicas. Algunos mantienen una intrusión única, otros admiten varios episodios de intrusión. Mitchell (1953) en un estudio de conjunto sobre intrusiones granodioríticas de Las Antillas, distingue en Cuba tres intrusiones:

Una en la Isla de Pinos, en el llamado **esquisto diorítico de Daquilla** (Hayes, Vaughan y Spencer, 1901), que al parecer es esquistoso solamente en los bordes, pero interiormente es diorítico. Butterlin opina que ésta puede ser hasta pre-Cretácica, notando como evidencia confirmatoria, que Flint, de Albear y Guild (1948) señalan en Camagüey central la presencia de diorita gneílica anterior a las serpentinas, y que igualmente Thayer y Guild (1947) admiten en el noroeste de Oriente, la existencia de un basamento cristalino con dioritas cuarcíferas, anterior a las serpentinas.

Una segunda correspondería a los afloramientos del oeste y centro de la isla, y sería como lo admiten Palmer (1945) y L. Rutten (1939) anterior a una parte al menos de la Serie de Tobas.

Una tercera correspondería a los afloramientos de la Sierra Maestra. Mitchell la considera posterior a la formación Cobre (según Bermúdez, Cre-

tácico Superior al Eoceno Inferior), y anterior a la formación San Luis (Eoceno Superior), o sea del Eoceno Medio.

Lewis y Straczek (1956, p. 279) encuentran dacitas y dioritas cuarcíferas de grano fino intrusivas en la formación Habana de Oriente, pero no en la formación Cobre, que serían pues relacionadas con un cuarto episodio intrusivo.

En cuanto a la edad de las dioritas poco cuarcíferas que forman los batolitos de la Sierra Maestra, los autores vacilan, pero según Butterlin, son intrusivas en la formación Cobre y que detritus de ellos se encuentran en los conglomerados de Camarones, de modo que deben ser eocenas y anteriores al Eoceno Superior.

## CENOZOICO

Un estudio muy amplio de las microfaunas de las formaciones cenozoicas ha sido proporcionado por Bermúdez (1950), quien en 1959 y 1961 revisa las correlaciones de varias formaciones. No obstante, la estratigrafía detallada debe ser más estudiada en el futuro.

### PALEOCENO

**Formación Madruga.** Este nombre de Lewis (1932) ha sido preferido al de marga Luyanó (De Golyer, 1918) que aparentemente se refería a la misma unidad. Lewis propuso el nombre (como "Madruga chalk") para designar lutitas calcáreas de color achocolatado que afloran en la vecindad de Madruga, Provincia de la Habana. Bermúdez (1950) designa un afloramiento debajo del puente en el Central San Antonio, 2 kilómetros al oeste de Madruga en la carretera central, como la localidad tipo, pero no se ha descrito una sección tipo. Informa Bermúdez que hay excelentes afloramientos de la formación en la provincia Pinar del Río, especialmente en la vecindad de San Juan y Martínez. Menciona en adición afloramientos equivalentes en Oriente, en la vecindad de La Tagua, al noroeste de Guavabal del Perú, en la región de Guantánamo; se tratará de la fauna de Madruga, pero seguramente no de la misma formación geológica, y en efecto. Bermúdez (1950, p. 223) expresa que los estratos corresponden a la porción inferior de la formación Cobre (vea más adelante).

En adición a las lutitas achocolatadas, Bermúdez (1950) menciona las siguientes facies litológicas: marga blanca con abundante arena calcárea fina (Bermúdez, Est. 530, carretera de La Habana a Rancho Boyeros), la que también contiene abundantes radiolarios; arcilla blanca con abundantes radiolarios y foraminíferos (Est. 195, al noroeste de Bahía Honda).

El espesor de la formación no ha sido satisfactoriamente medido. Lewis le asignó 240 metros en las cercanías de Madruga y 600 metros en el pozo Sage, 20 millas al este de dicha ciudad, pero Bermúdez sospecha que en estas cifras esté englobado el Eoceno Inferior.

La fauna incluye especies planctónicas además de bentónicas, y presenta semejanzas a las del Midway Superior y Wilcox y con la fauna de la

Roca del Soldado descrita por Cushman y Renz (1942). La presencia de *Globorotalia velascoensis* y *G. acuta* determinan la edad como Paleoceno Superior. Otras especies significantes son *Boldia cubensis* Cushman y Bermúdez (que Hofker, 1962 considera una especie característica del Montiano), *Anomalina acuta* Plummer, *Discorbis midwayensis soldadoensis* Cushman y Renz, *Operculinoides bermudezi* (Palmer) y otras muchas.

Herrera (1961) ha incluido la formación Madruga en el grupo Habana, sin aclarar los motivos que justifiquen su inclusión en estos sedimentos predominantemente cretácicos. Hasta ahora, que sepamos, no se ha identificado paleontológicamente el Paleoceno Inferior, pero Bermúdez cree haber encontrado unas capas que llevan las zonas bioestratigráficas más bajas del Paleoceno en las cercanías de Bahía Honda.

**Formación Remedios.** Bermúdez (1950) aplicó este nombre a unas calizas observadas en las provincias de Las Villas y Camagüey, con referencia especial a las calizas descritas por de Alber (1947) en la Sierra de Cubitas al norte de la ciudad de Camagüey. El nombre se deriva de la ciudad de Remedios, al norte de Las Villas, pero no se ha descrito una sección tipo ni faunas, y la descripción de la formación se basa principalmente en los datos de de Albear. Este no dio nombre de formación a los estratos, sino que los describió bajo el aparte de "Cretácico Superior-Paleoceno(?)". Los mejores afloramientos se presentan en la vecindad de los "Cangilones" (abra o garganta) del río Máximo, al este de la Sierra de Cubitas, donde aflora una caliza blanca aporcelanada dura en capas gruesas o macizas, muy poco inclinadas u horizontales. En la parte inferior de Paso de Lesca, calizas conglomeráticas, "que descansan al parecer en la caliza típica de la Sierra de Cubitas (es decir, la formación Habana) contienen una fauna idéntica". La muestra más fosilífera (A-87) viene de un conglomerado brechoso en la vecindad del Central Senado, en la parte oriental del área estudiada por de Albear (vea su mapa de localidades).

La fauna de las calizas de Camagüey es pobre, y mucho más significante en cuanto al ambiente que a la edad. Comprende tres especies de *Borelis* más unos miliólidos no identificados y representa un ambiente de aguas someras y cálidas. Las tres especies de *Borelis* fueron comparadas respectivamente con: *B. cardenasensis* Barker y Grimsdale de la formación Cárdenas de México (= Navarro, Cretácico Superior); *B. jamaicensis* Vaughan y *B. matleyi* Vaughan, ambas del Eoceno Medio de Jamaica. Puesto que las tres especies se presentan juntas en una misma muestra, no hay que dar mucha importancia a estas identificaciones, todas interrogadas ("cf."). En contraste, hay que notar que la caliza Cedar Keys de Florida contiene especies de *Borelis* (*B. gunteri* Cole, *B. floridanus* Cole) en la parte superior (vea Applin y Applin, 1944, p. 1704). Esta formación ha sido interpretada como representando todo el Paleoceno, en vista de su espesor. En adición, en Guatemala, en el Petén, Vinson (1962) ha descrito una facies litológica semejante a Cedar Keys representada por sus formaciones Santa Amelia y Buena Vista. El refiere su grupo Petén que incluye estas formaciones, al Eoceno Inferior, pero según estudios de Bermúdez, corresponde indudablemente al Paleoceno Superior. Por estos motivos una edad de Paleoceno Superior nos parece la más probable para la formación Remedios, como está indicado en la tabla adjunta.

El espesor de la formación Remedios en la región de Camagüey, fue indicado por de Albear como un poco más de 200 metros (700 pies).

En 1950 Bermúdez sugirió que la "caliza Cubitas" del norte de Camagüey que menciona Keijzer (1945, p. 159) asignándola al "Daniano-Montiano" corresponde al menos en parte a Remedios. Estas no se han de confundir con la "caliza de Cubitas de MacGillavry, 1937, que contiene fósiles del Eoceno Medio.

**Eoceno Inferior.** Beckman (1958) informa haber identificado en Cuba la zona de *Globorotalia rex*, establecidas en la formación Lizard Springs Superior de Trinidad e identificada por Loeblich y Tappan en el Wilcox de los EE. UU.; pero no identifica la formación. Bermúdez en sus varias publicaciones ha referido a esta edad, las formaciones Capdevila y Universidad.

**Formación Capdevila.** Esta formación fue descrita por primera vez por R. H. Palmer en 1934, pero el nombre no fue publicado hasta 1938, (vea nota de Hoffstetter en el Léxico); el mismo autor lo describió en 1945 como una serie potente de lutitas, areniscas y escasos conglomerados que tienen una distribución bastante extensa en el oeste de la provincia de la Habana y este de Pinar del Río. Según el mismo autor, las capas están plegadas junto con el Cretácico. Será por esto que Herrera (1961) incluye la formación, al igual que la Madruga en su "grupo Habana". Palmer en 1945 refirió la formación Capdevila al Paleoceno (= Midway). Bermúdez (1950) aclara que se trata del Eoceno Inferior, y publica una lista extensa de fósiles.

La localidad tipo está situada en Capdevila, al norte de Vento, 10 kilómetros al sur de La Habana, en la carretera a Rancho Boyeros. Según Bermúdez, aflora en muchos lugares en las provincias de la Habana y Pinar del Río, presentándose siempre como una arcilla de color pardo o achocolatado con mucho material silíceo y generalmente con una fauna pobre. Uno de los afloramientos con mejor fauna está en la cantera del Tejar Cuba en Arroyo Naranjo en la provincia de la Habana, de donde Cushman y Bermúdez describieron varias especies. No se ha medido una sección (al menos, no se ha publicado) pero Bermúdez (1950, p. 229) informa que en varios lugares descansa en la formación Madruga, y está cubierta por la formación Universidad. En el Léxico, Bermúdez indica el espesor como unos 300 metros (1.000 pies) incluyendo el miembro Lucero (vea abajo).

Nombres sinónimos, según Bermúdez, son la formación El Cano de Lewis (1932), que Schuhert (1935, p. 512) erróneamente consideró igual a dos miembros de la formación Habana de Palmer. También es sinónimo la formación Zapata de Brödermann (1943, p. 145).

Entre las especies más interesantes de la formación Capdevila y característica de ella, está *Globorotalia palmerae*. En Trinidad, Bolli ha dividido el Eoceno Inferior en las zonas siguientes; de abajo arriba: en la formación Lizard Springs Superior, las zonas de *Globorotalia rex*, *G. formosa* y *G. aragonensis*; en Navet Inferior, la zona de *Globorotalia palmerae*. Bermúdez, en su monografía de los foraminíferos planctónicos (1960, pp. 1133-1135) señala que en Cuba, *G. palmerae* es característica de la formación Capdevila como lo es *G. aragonensis* de la formación Universidad suprayacente, y sugiere que haya habido una inversión de la secuencia de las zonas en Trinidad, lo

que en vista de la tectónica complicada de esta isla y el hecho de que las zonas se compilaron de secciones aisladas, no está fuera de posibilidad. El sugiere que la verdadera posición de la zona de *G. palmerae* esté por debajo de la zona de *Globorotalia rex* (vea su tabla, p. 1335). En 1961 (pp. 32-33), vuelve a insistir en que la zona de *palmerae* debe de venir por debajo de la de *aragonensis*. Admite que *G. aragonensis*, por tener una distribución estratigráfica larga, puede presentarse por debajo de *palmerae* en Trinidad, pero considera que la atribución de su nombre a una zona da una idea equivocada de la distribución característica, que es:

	Cuba	México
<i>G. aragonensis</i>	Universidad	Aragón } Chicontepec
<i>G. palmerae</i>	Capdevila	Tanlajás }

Esta correlación necesita cierta rectificación, ya que Hay (1960) ha demostrado que Tanlajás es una facies que puede reemplazar a Velasco (Paleoceno). Chicontepec es una facies costera que probablemente puede en la parte superior reemplazar a una parte inferior de Aragón. *Globorotalia palmerae* efectivamente se presenta en esta parte superior de Chicontepec. Aragón tiene *Globorotalia aragonensis*, *Hantkenina aragonensis*, *Globigerapsis* cf. *G. orbiformis*. La formación Universidad contiene, en adición a *G. aragonensis* y *Globigerapsis orbiformis*, las especies *Hantkenina aragonensis* y *Truncorotaloides rohri*. Una comparación con los cuadros faunales de Bolli de Trinidad, demuestra que estas dos últimas especies no aparecen sino en zonas que Bolli refiere ya al Eoceno "Medio" en la formación Navet, o sean las zonas de *Hantkenina aragonensis* y de *Globigerapsis kugleri* respectivamente.

Entonces, nos atrevemos a sugerir la explicación siguiente: las correlaciones entre Cuba y México están muy claras, pero nos parece que hay varias zonas en Trinidad que no han sido identificadas y que posiblemente faltan por un hiatus insospechado, en aquellos dos países. En resumidas cuentas, sugerimos que la correlación puede ser como sigue:

	Trinidad	Cuba	México
<i>Globigerapsis kugleri</i>			
<i>Hantkenina aragonensis</i>		UNIVERSIDAD	ARAGON
<i>Globorotalia palmerae</i>			
<i>Globorotalia aragonensis</i>		CAPDEVILA	CHICONTEPEC SUPERIOR
<i>Globorotalia formosa</i>			
<i>Globorotalia rex</i>		? (1)	?

Con referencia a (1) Beckman (1958) alega haber identificado estas zonas en Cuba, pero sin mención de cuál formación. Nos parece enteramente posible que lo mismo como sucede en Trinidad, haya zonas en el subsuelo de Cuba que no se presentan en los afloramientos.

Con referencia a la correlación sugerida, que paraleliza Universidad-Aragón con parte de la formación Navet referida al "Eoceno Medio" por Bolli, recordemos que tal edad no fue apoyada por argumentación; y por otra parte, que algunos geólogos mexicanos refieren Aragón a la misma edad.

Algunas especies interesantes para la identificación de la formación Capdevila son *Angulogerina naranjoensis*, Cushman y Bermúdez, *Cibicides havanensis* Cushman y Bermúdez, *Loxostomum applinae* (Plummer), *Pleurostomella naranjoensis* Cushman y Bermúdez, y *Rectobolivina capdevilensis* Bermúdez. Para listas completas, vea Bermúdez (1950).

**Miembro Lucero de la formación Capdevila.** De Golyer (1918) había usado el término capas de Lucero, en alusión al paradero Lucero en el antiguo ferrocarril eléctrico de La Habana a Güines, casi dentro del perímetro urbano de La Habana. Otros varios autores (vea Hoffstetter en el Léxico, p. 67) usaron el término, suponiendo que se trata de capas del Cretácico Superior. Bermúdez (1950, p. 230), sin mención de De Golyer, propone el "miembro Lucero de la formación Capdevila" para capas de gravilla calcárea fina llegando a veces a ser areniscas friables, que según Bermúdez, están bien expuestas en Lucero (Bermúdez, Est. 1287) y también en un corte en la finca "La Coronela" en la carretera de La Habana a Rancho Boyeros (Bermúdez, Est. 1266). Otras localidades mencionadas son Capdevila, donde se dice que las capas llegan a ser conglomerados bastos; Managuaco, al norte de San José de las Lajas, provincia de la Habana (Bermúdez, Est. 720); y al norte de San José de los Baños en la carretera a Paso Real, provincia de Pinar del Río (Bermúdez, Est. 26).

Considerable confusión ha sido producida porque Cole y Gravel (1952), al describir una fauna proveniente de capas con asfalto en Rancho Peñón, 7 kilómetros al sur de Martí y 850 metros al noroeste de la finca de Peñón en la provincia de Matanzas, expresaron que la fauna de la localidad 1266 de Bermúdez, en su opinión correspondía al Eoceno Medio, aunque estraigráficamente más bajo que la localidad de Peñón. La fauna de esta localidad 1266, en su opinión, contiene mucho material redepositado del Cretácico Superior y al parecer también del Paleoceno y Eoceno Inferior. Tiene en común con la localidad de Peñón las siguientes especies, según Cole y Gravel:

- Amphistegina lopeztrigoi* Palmer
- Asterocyclina habanensis* Cole y Bermúdez
- Dictyoconus americanus* (Cushman)
- Dictyoconus cookei* (Moberg)
- Discocyclina marginata* Cushman ("D. crassa" de Vaughan 1945; "D. mestieri" de Cole y Bermúdez 1947, en parte)
- Eoconuloides wellsi* Cole y Bermúdez
- Pseudophragmina* (*Proporocyclina*) *cushmani* (Vaughan) (una especie descrita originalmente de la formación Guayabal de México).

*Dictyoconus* al menos no se conoce de ninguna parte de Las Antillas antes del Eoceno Medio, lo que sugiere fuertemente que se trata de capas del Eoceno Medio con mayor o menor proporción de especies más antiguas redepositadas.

Butterlin pues (p. 42) nota la discrepancia, describiendo Lucero en relación con Capdevila, pero notando que para Cole y Gravel será Eoceno Medio. Bermúdez (1961, p. 111) reitera que capas de lutita con fauna típica de Capdevila están intercaladas entre las gravas calcáreas de Lucero, y da la lista siguiente de las especies de Lucero:

- \* *Amphistegina lopeztrigoi* Palmer
- Boreloides cubensis* Cole y Bermúdez
- \* *Coskinolina elongata* Cole
- Cymbalopora cushmani* Cole y Bermúdez
- Discocyclina barkeri* Vaughan y Cole
- Discocyclina havanensis* Cole y Bermúdez
- Eoconuloides wellsi* Cole y Bermúdez
- \* *Helicostegina gyralis* Barker y Grimsdale
- Miscellanea antillea* (Hanzawa) (descrita como *Pellatispirella*)
- \* *Pseudophragmina cedarkeyensis* Cole

Esta lista se compara bastante bien con la fauna de la caliza Oldsmar de Florida (con la que tiene en común las especies marcadas con \*) y sin tener nada que obligue a postular una edad más moderna. Podemos admitir, que la muestra de la Estación 1266 pueda corresponder al Eoceno Medio con formas más antiguas redepositadas (lo mismo como la capa de Peñón), pero que algunas de las gravas son efectivamente de edad Eoceno Inferior. Quizás el nombre de facies Lucero sería preferible al de miembro.

**Formación Universidad** (Bermúdez, 1937). Comprende margas calcáreas blanco-amarillentas, ligeras, blandas, nombradas por haber sido notadas primero en la excavación para el edificio del Museo Poey en la Universidad de la Habana. Buenos afloramientos se encuentran en el corte de la Avenida de los Presidentes, directamente debajo del Castillo de El Príncipe en el Vedado, y otras localidades de las cercanías de La Habana. R. H. Palmer (1934) propuso el nombre de formación **Príncipe** para capas que dijo aflorar en la Universidad de la Habana y el Castillo del Príncipe, y dijo llevar una microfauna del Eoceno Superior; este nombre y edad fueron aceptados por Cooke, Gardner y Woodring (1943) e incluido en su lista de formaciones cubanas del Eoceno Superior. Bermúdez (1937) al describir la formación Universidad, aceptaba la idea de una edad de Eoceno Superior para las capas más altas en la Loma del Príncipe, pero luego (1950, p. 233) rectifica, que en esa localidad todas las capas corresponden al Eoceno Inferior. La confusión de Palmer se originó porque en el Tejar Consuelo, hay dos formaciones que son litológicamente semejantes; la formación Universidad (Eoceno Inferior) y una del Eoceno Superior, nombrada por Bermúdez, formación Consuelo. En vista de la confusión, pareció preferible suprimir el nombre Príncipe.

La formación Universidad está representada al menos en las provincias de Pinar del Río y La Habana, y presumiblemente en Matanzas, Las Villas y Camagüey. La fauna típica de ella ha sido hallada en todas las provincias, pero en Oriente se encuentra en la parte más alta de la formación Cobre. El espesor es poco notable en las cercanías de La Habana, unos 30 metros (100 pies) según Palmer, pero en la provincia de Pinar del Río al norte de Consolación del Sur, se han medido unos 130 metros (435 pies).

La formación Universidad contiene una microfauna rica, con especies tanto planctónicas como bentónicas. Algunas de las planctónicas significantes son: *Globorotalia aragonensis* Nuttall, *Hantkenina aragonensis* Nuttall, *Globigerapsis orbiformis* (Cole) y *Truncorotaloides topilensis* (Cushman).

La significancia de éstas en término de las correlaciones regionales, se ha tratado en un párrafo anterior, señalando la correlación con al menos parte de la formación Aragón de México. Entre las especies bentónicas, hay una larga lista de formas señaladas como características, entre las que podemos mencionar dos de México, *Anomalina dorri aragonensis* Nuttall y *Bulimina semicostata* Nuttall. *Bolivina capdevilensis* Cushman y Bermúdez, *Bulimina quadrata* Palmer, *Clavulinoides excurrens* Cushman y Bermúdez, *Globorotalia aragonensis* Nuttall, *Gonatosphaera principensis* Cushman y Bermúdez, se han identificado también en la formación Abouillet de Haití.

Una facies especial de la Universidad, rica en radiolarios, fue distinguida por Bermúdez bajo el nombre de **miembro Toledo**, nombre que deriva del Tejar Toledo en Marianao, provincia de la Habana (Bermúdez, Est. 351). El aspecto es como una arcilla blanca, con capas de horsteno derivados de la solución y redepósito del sílice. Bermúdez (1950) da una lista de localidades donde se observa esta facies, en las provincias de Pinar del Río, La Habana, Matanzas y Las Villas. Asociadas con los radiolarios hay muchas especies características de la formación en su expresión normal. El espesor de esta facies llega a unos 30 metros (100 pies). No hay detalles sobre la distribución areal o vertical de la facies.

Una gran discordancia separa la formación Universidad o el miembro Toledo, de la formación próxima más moderna (Loma Candela).

**Formación Cobre (Provincia de Oriente).** Los límites, rasgos litológicos y faunísticos y correlación de esta formación son bastante confusos. El nombre fue propuesto por Taber (1931 a, 1934), quien (según Hoffstetter) incluía bajo este nombre una caliza superior y una unidad inferior mixta, en parte volcánica, en parte calcárea. Woodring y Davies (1944) separaron la caliza superior como la caliza **Charco Redondo**, designando la unidad mixta inferior como "Cobre volcanics". Lewis y Straczek (1955) continúan usando Cobre en el sentido original, con Charco Redondo como un miembro, y además introducen dos nuevos nombres: el **lentejón de caliza Cuabitas** (Cuabitas limestone lentil) por unos lentejones calcáreos más bajos en la formación que Charco Redondo; y un **miembro volcánico Peluda**, que parece yacer en la base de la formación. Bermúdez (en el Léxico y en 1961) trata Cobre y Charco Redondo como formaciones distintas.

Según Butterlin, la formación Cobre está representada sobre todo por tobas y brechas volcánicas con fragmentos generalmente menores de 30 centímetros de diámetro, de color rojizo, pardo o verdoso. La composición varía de riolítica a basáltica, pero es esencialmente andesítica. Coladas de lavas de la misma composición se encuentran también. Estas rocas están interestratificadas con calizas, limolitas y areniscas. Las calizas, más o menos tobáceas, forman lentejones. Según Taber, forman aproximadamente un 3% del volumen en los niveles inferiores, pero la proporción aumenta hacia arriba, llegando a 20% en los niveles superiores (probablemente la parte ahora separada como Charco Redondo). Las calizas más puras son blancas o grises, las otras verdosas, pardo-rojizas o grises oscuras. Se presentan a veces en capas gruesas. Estas calizas se describen como ricas en algas calcáreas. La formación está penetrada por diques y "stocks" de andesita y de diorita cuarcífera.

Según Lewis y Straczek (1955, p. 201) los volcánicos Cobre descansan en una formación llamada "Habana(?)" por ellos (Campaniano-Maestrichtiano) o en rocas más antiguas (complejo basal), con una discordancia angular en las sierras de Nipe y Cristal, pero en otras partes la base no ha sido observada. Las relaciones con la formación Vinent no parecen claras; para Butterlin, Cobre puede descansar en Vinent, mientras que Hoffstetter señala que ambas parecen invadidas por las dioritas de la Sierra Maestra.

**El miembro volcánico Peluda** de Lewis y Straczek se describe como comprendiendo tres pequeños afloramientos de rocas volcánicas (piroclásticas andesíticas hasta basálticas y pocas lavas, con unos lentes de calizas), hasta 600 metros de espesor, cubiertas en discordancia por volcánicos y calizas de la formación Cobre y descansando en discordancia sobre sedimentos equivalentes al miembro Picote de la formación La Habana (?). Los fósiles, escasos, comprenden una alga (*Terquemella*) y un foraminífero (tal vez *Vaughanina cubensis* Palmer ¿repositado?). Keijzer (1945, p. 68-72) fue el primero en estudiar las rocas de este miembro, y las consideró de edad Daniano-Montiano a causa de *Terquemella* que en Europa se encuentra en estos niveles.

Lewis y Straczek mencionan bajo el nombre de **lentejón de caliza de Cuabitas**, un lentejón de 15 metros de espesor que aflora en la vecindad del pueblo Cubitas, 4 kilómetros NNE de Santiago de Cuba. Calizas y brechas calcáreas en el mismo nivel se encuentran también 4 kilómetros al este de las canteras de Cuabitas. Otras calizas sin nombre especial se encuentran en diferentes niveles de la formación; las de Cuabitas pueden estar de 2.000 a 3.000 metros por debajo del tope de la formación Cobre, cuyo espesor cerca de El Cobre y Santiago es por lo menos de 4.500 metros siendo posible que llegue a 6.000 metros.

Bermúdez considera que la edad de la formación Cobre va desde el Cretácico Superior al Eoceno Inferior. Considera que los fragmentos de rudistas y *Sulcoperculina dickersoni* que se encuentran en capas bajas en la formación, son autóctonos y no redepositados, como se podría creer por la gran cantidad de cantos rodados que se observan en esa sección. En otro nivel se encuentran gruesas capas de arenisca calcárea con *Globorotalia velascoensis* y otras formas planctónicas asociadas, las que indican una edad de Paleoceno Superior. En un nivel más alto, bien expuesto entre Puerto Moya y Santiago en la carretera Central, hay capas con radiolarios y *Globorotalia aragonensis*, que se comparan con la facies Toledo de la formación Universidad del Eoceno Inferior.

En algunas de las calizas hay macroforaminíferos: *Discocyclina crassa* (Cushman), *D. cubensis* (Cushman) y *Asterocyclina subtaramelli* (Cushman). Vaughan (1945) discutió esta fauna, con la idea de que correspondería al Eoceno Superior, pero un horizonte más antiguo que la "fauna de Nuevitas-Pastelillo" (es decir, formación Jabaco). En Jamaica *D. crassa* y *D. cubensis* asociadas con *Dictyoconus*. Posiblemente estas especies procedieron de la formación Charco Redondo. Según Cole y Gravell (1952), la *Discocyclina "crassa"* de Vaughan, 1945, es un sinónimo de *D. marginata* (Cushman), como lo es también *D. harrisoni* Vaughan del Eoceno Medio de Barbados y *D. californica* Schenck. *D. marginata* parece ser característica del Eoceno

Medio, presentándose en este nivel en la isla de San Bartolomeo en asociación con *Polylepidina antillea*, *Dictyoconus americanus* y *Fabiania cubensis*.

**Eoceno medio. Formación Loma Candela.** Bermúdez (1950, p. 239) propuso este nombre para calizas, margas, areniscas calcáreas y conglomerados expuestas típicamente en Loma Candela, en la carretera de Paso Real a San Diego de los Baños, provincia de Pinar del Río. Las capas descansan en la formación Universidad con marcada discordancia. Otra localidad indicada por Bermúdez como típica de la formación, es la de Peñón, 7 kilómetros al sur de Martí en la provincia de Matanzas, que hemos mencionado arriba con referencia al miembro Lucero. No se han dado detalles sobre la distribución geográfica ni el espesor de la formación, y en 1961, Bermúdez expresa que no tiene mucho espesor, y que casi parece ser simplemente un conglomerado basal de la formación Jabaco suprayacente, a la que es transicional en algunas partes.

Bermúdez (1950, pp. 241, 244) dio una extensa lista de foraminíferos pequeños en Loma Candela y Jabaco respectivamente siendo notable que casi todas las especies de Loma Candela se presentan también en Jabaco, aunque ésta tiene muchas más especies. Bermúdez correlaciona Loma Candela con la caliza Lake City de Florida, notando que tienen en común las siguientes especies: *Amphistegina lopeztrigoi* (también en el Eoceno Inferior), *Camagueyia perplexa* Cole y Bermúdez, *Dictyoconus americanus* (Cushman), *D. cookei* (Moberg), *Fabiania* ("Eodictyoconus") *cubensis* (Cushman y Bermúdez) y *Gunteria floridana* Cushman y Ponton.

W. S. Cole y D. W. Gravell (1952) hicieron un profundo estudio de la fauna de la localidad de Peñón. Con anterioridad, Cushman y Bermúdez (1937, 1937 a) habían descrito algunas especies de foraminíferos pequeños, y Cole y Bermúdez (1944) algunas especies grandes.

Según Cole y Gravell, en la localidad de Peñón los sedimentos forman una unidad litológica y faunal cuyo espesor varía desde unos pocos pies a unos 40 pies. Estiman que estratigráficamente es un poco más alto que la localidad tipo de Loma Candela. Como hemos mencionado arriba, ellos consideran también que las capas de la Finca La Coronela (Bermúdez, Est. 1266) que él había referido al miembro Lucero de la formación Universidad, es también Eoceno Medio pero más bajo que la localidad de Peñón.

Cole y Gravell señalan que en los pocos metros de Peñón se encuentran asociadas especies que corresponden a tres formaciones distintas en Florida, a saber:

Oldsmar: *Helicostegina gyralis* (a la cual debemos agregar, *Amphistegina lopeztrigoi*)  
*Amphistegina lopeztrigoi* Palmer  
*Asterocyclina monticellensis* Cole y Ponton  
Lake City: *Dictyoconus americanus* (Cushman)  
*Fabiania cubensis* (Cushman y Bermúdez)  
*Gunteria floridana* Cushman y Ponton

*Dictyoconus cookei* (Moberg)

*Discorinopsis gunteri* Cole

Avon Park: *Spirolina coryensis* Cole

*Textularia coryensis* Cole

*Valvulina martii* Cushman y Bermúdez

Cole y Gravell no explicaron esta concentración en Peñón de fósiles de tres niveles diferentes. Ellos consideran que la fauna cubana corresponde aproximadamente al nivel de la zona de *Pseudophragmina perpusilla*. *Lepidocyclina* (*Polylepidina*) *antillea* como definida por Gravell y Hanna (1938) o sea, cerca de la base de Cook Mountain. Gravell pensaba que la fauna de Peñón sería un poco más antigua que ese nivel, por la ausencia de *P. antillea* y de *Operculinoides*, mientras que Cole que la ausencia de éstas se deba a factores ecológicos.

Algunas otras especies de la fauna de Peñón:

*Pseudophragmina* (*Proporocyclina*) *cushmani* (Vaughan), presente en Guayabal de México y en el Eoceno Medio de San Bartolomeo. *Discocyclina* (*Discocyclina*) *marginata* (Cushman), según Cole y Gravell es la misma especie que *D. crassa* (Cushman) de Vaughan, 1945, que él reportó del Eoceno Superior de Cuba y *D. harrisoni* Vaughan que describió del Eoceno Medio de Barbados. *D. californica* Schenck, 1929, también es sinónimo.

*Pseudophragmina* (*Proporocyclina*) *psila* (Woodring), descrita del Eoceno Medio de California.

*Asterocyclina havanensis* Cole y Bermúdez, 1947, fue descrita de Bermúdez, Est. 1266, supuestamente Lucero pero probablemente Loma Candela.

Cole y Gravell describieron varias especies y un nuevo género de Peñón: *Penoperculinoides cubensis* Cole y Gravell, n. gen., n. sp., *Pseudophragmina* (*Proporocyclina*) *compacta*, *P. (Proporocyclina) convexicamerata*, *P. (Proporocyclina) penonensis* y *P. (Proporocyclina) teres*.

*Helicostegina gyralis* Barker y Grimsdale y *Eoconuloides wellsii* Cole y Bermúdez, también están presentes.

**Formación Charco Redondo (Oriente).** Capas correlacionadas por Bermúdez con Loma Candela han sido descritas en Oriente bajo los nombres de Charco Redondo y Guaso. Como hemos mencionado antes, Woodring y Daviess (1944) separaron la parte superior más calcárea, antes incluida en la formación Cobre, como la caliza Charco Redondo. Toma su nombre de la villa y mina de manganeso situado en el extremo sur del sinclinal El Cautilo, en la región de Guisa - Los Negros. Consiste en calizas margosas, margas y conglomerados costeros con matriz calcárea. Las calizas son muy resistentes a la erosión, formando una topografía cárstica con paredones y "mogotes" o "morros" de caliza. Entre las calizas hay dos tipos principales, una conglomerática con abundantes algas calcáreas y foraminíferos orbitoidales, otra densa con predominio de pequeños foraminíferos bentónicos y planctónicos.

Woodring y Daviess mencionan como especies típicas: *Dictyoconus americanus* (Cushman), *Lepidocyclina pustulosa* (Douvillé), *Discocyclina marginata* (Cushman) (reportada como *D. crassa*), *Pseudophragmina (Proporocyclina) perkinsi* (Vaughan) y *Asterocyclina asterisca* (Guppy), más dos especies de *Operculinoides*. Esta fauna nos sugiere una edad más moderna que la fauna de Peñón, parece más bien Eoceno Superior, que fue la edad asignada originalmente por Woodring y Daviess. Según Butterlin, sin embargo (1956, p. 45), Woodring le ha comunicado que ahora se ha unido a la opinión de Bermúdez, en correlacionar Charco Redondo con la caliza de Guaso (vea abajo), que tiene una fauna típica del Eoceno Medio. En la base de Charco Redondo se encuentra el pelecípodo grande, *Pseudomiltha haitiensis* Woodring y Mansfield. El espesor de Charco Redondo se da como 150 metros.

**Caliza Guaso.** Darton (1926) aplicó este nombre a calizas que afloran en la Sierra de Guaso al norte de Guantánamo y también en la Sierra de Canasta de la misma región. Yacen en concordancia debajo de lutitas y areniscas (lutitas Guantánamo) que Darton refirió al Oligoceno pero que son realmente del Eoceno Superior.

Kelizer (1945, p. 88) dio una lista numerosa de macroforaminíferos que dijo haber observado en la caliza. Con rectificación de las identificaciones la lista es (fide Bermúdez, 1950, p. 246):

- Dictyoconus americanus* (Cushman)
- Dictyoconus codon* Woodring, var. *nannoides* Woodring.
- Fabiania cubensis* (Cushman y Bermúdez)
- Nummulites jacksonensis* (Gravell y Hanna)
- Discocyclina cubensis* (Cushman)
- Discocyclina marginata* (Cushman) (reportada como *Discocyclina crassa* y *Discocyclina marginata*)
- Discocyclina pustulata* (Cushman)
- Asterocyclina sculpturata* (Cushman)
- Asterocyclina monticellensis* Cole y Ponton
- Asterocyclina subtaramelli* (Cushman)
- Amphistegina lopeztrigoi* Palmer

Esta fauna, con la asociación de *Fabiania cubensis* y *Amphistegina lopeztrigoi* a los *Dictyoconus* y *Discocyclinidos*, parece ser definitivamente Eoceno Medio comparándose estrechamente con la de Lake City en Florida y Loma Candela.

**Eoceno Medio? Superior? Formación Jabaco.** Esta formación fue distinguida por Bermúdez (1937) en Jabaco, en un corte 4.5 kilómetros al oeste de Guanajay, en la carretera Guanajay-Mariel, provincia de Pinar del Río. (Unas especies de foraminíferos habían sido descritas el año anterior por Cushman y Bermúdez). La localidad es la Estación 337-A de Bermúdez. Hay que notar que cuando describió esta fauna, todavía existía la confusión de la formación Príncipe. En el corte, hay abajo una marga blanda de color amarillento, llena de foraminíferos pequeños la parte superior está

formada de un conglomerado de macroforaminíferos, con algunas especies de foraminíferos mal conservados. Bermúdez en ese entonces comparó la fauna con la de Tantoyuca de México. La formación Jabaco, informa Bermúdez que descansa en Universidad con discordancia.

En 1950 Bermúdez da una lista de la fauna, comparada con la de Loma Candela, siendo muy grande el número de especies en común. Correlaciona la formación con Avon Park de Florida, en base a las especies: *Lituonella floridana* Cole y *Coskinolina floridana* Cole. Avon Park fue referida por los Applin al Eoceno Medio, parte superior, pero Bermúdez sigue refiriendo Jabaco al Eoceno Superior sin comentar la discrepancia.

Especies que en la lista de 1950 se encuentran en Loma Candela pero no en Jabaco son: *Amphistegina lopeztrigoi* Palmer, *Dictyoconus cookei* (Moberg) y *D. gunteri* (pero no *D. americanus*, que se indica en ambas), *Eorupertia* sp. *Helicostegina gyralis* Barker y Grimsdale, *Rotalia palmerae* Cushman y Bermúdez, *Rotalia mexicana mecatepecensis* Nuttall, (*R. mexicana* s. str. se reporta en Jabaco) y *R. peñonensis* Cushman y Bermúdez y *Eoconuloides wellsi* Cole y Bermúdez.

La lista de especies pequeñas que aparecen en Jabaco y no en Loma Candela es larga y mencionaremos solamente las planctónicas (con cambios de las identificaciones genéricas): *Porticulasphaera mexicana* (Cushman) (= *Globigerapsis* según Bermúdez), *Truncorotaloides topilensis* (Cushman), *Chilogümbelina cubensis* (Palmer), *Hantkenina alabamensis* Cushman, *H. brevispina* Cushman, *H. mexicana* Cushman (escasa). Esta lista no es incompatible con una edad de Eoceno Medio, aproximadamente en la zona de *Porticulasphaera mexicana* en Trinidad, correlación también consonante con una correlación con Avon Park de Florida.

Pero en la lista de 1937 (aunque no en la de 1950) aparece *Globorotalia cerroazulensis* Cole, de la que *G. cocoaensis* Cushman es sinónimo. Esta especie en Trinidad ha sido considerada como característica del Eoceno Superior y las otras especies mencionadas arriba también en general continúan dentro de esa edad. *P. mexicana*, aunque en Trinidad está restringida a una zona del Eoceno Medio, se describió en México de capas supuestamente del Eoceno Superior.

Hay pues una contradicción en los datos, siendo una posible interpretación, que estén representadas más de una zona en la formación Jabaco, Eoceno Medio y Superior respectivamente. O posiblemente ha habido cierto rédepósito de formas del medio en capas del superior.

Bermúdez (1950, p. 247) da una lista de macroforaminíferos, pero puesto que habla de San Luis como si fuera un sinónimo de Jabaco, quisiéramos tener la seguridad de que las especies provienen de la localidad tipo de ésta.

**Miembro Jicotea de la formación Jabaco.** Con este nombre distingue Bermúdez (1950), capas que había mencionado en 1938 al describir la "fauna de Jicotea". Se trata de capas cuya localidad tipo están a un kilómetro al este de la población Jicotea, debajo del puente de ferrocarril que pasa por la Carretera Central, provincia de Las Villas. Son margas calcáreas de color blanco grisáceo y arena calcárea, en capas delgadas, con espesor de 100 metros o más (300 a 400 pies). Bermúdez la distingue de Jicotea s. s.

por representar una facies de aguas más profundas. Expresa que algunas veces esta facies Jicotea se encuentra intercalada con capas de la facies Jabaco, pero generalmente están separadas.

Las margas Jicotea contiene una microfauna muy rica, más rica en especies planctónicas que bentónicas. Bermúdez (1950) da una lista parcial de la fauna.

**Formación San Luis (Oriente).** Este nombre fue aplicado por Taber (1934) a margas, lutitas y calizas que afloran en las cercanías de San Luis, 40 kilómetros ESE de Contramaestre en el lado norte de la Sierra Maestra. Está ampliamente distribuida en los distritos de Contramaestre y de Guantánamo. Descansa en concordancia en la formación Charco Redondo, y en el área de Guantánamo está cubierta por las lutitas de Guantánamo. En la parte norte de Valle Emilia, Lewis y Straczek (1955) encuentran que las lutitas inferiores de San Luis están cubiertas en discordancia por 475 metros de conglomerados bastos, a los que nombran **miembro de conglomerado Camarones** de la formación. La presencia de este conglomerado y discordancia sugiere que la formación es compleja y necesita de una subdivisión. Woodring y Daviess indicaron un espesor de 700 metros para San Luis en el área de Mafo.

Los sedimentos de la formación San Luis consisten en margas de color crema o amarillenta, lutitas calcáreas, unas pocas calizas margosas y algunos conglomerados costeros con matriz calcárea. Las calizas son en parte finamente estratificadas y en parte macizas, conteniendo éstas una abundante fauna de macroforaminíferos más algas calcáreas. Los macroforaminíferos según la lista de Woodring y Daviess, son las mismas como en Charco Redondo: *Dictyoconus americanus*, *Lepidocyclina pustulosa*, *Discocyclina marginata* ("D. crassa"), *Pseudophragmina* (*Proporocyclina*) *perkinsi* y con la adición de "*Lepidocyclina pustulosa* var. *tobleri*" (según Eames et. al. (1962) debe llamarse *Pliolepidina tobleri* Douvillé).

En cuanto a los foraminíferos pequeños, la Dra. D. K. Palmer examinó numerosas muestras para Woodring y Daviess. Bermúdez (1950, pp. 252-254) da una lista de las localidades y especies identificadas. Ella consideró que las faunas corresponderían a la parte baja del Eoceno Superior, notando muchas especies en común con la Guayabal y otras con la Chapapote, de México. Nos parece, sin embargo, posible que hay más de un nivel representado: la muestra de 4.2 kilómetros al NW de Baire, Loc. 26 (W. 46) tiene *Globorotalia cerroazulensis* que determina la edad Eoceno Superior, las otras muestras no la tienen.

Keijzer (1945) dio una larga lista de foraminíferos de San Luis (reproducida por Bermúdez, 1950, pp. 255-257) pero en vista de que la fauna procede de 21 localidades diferentes, dispersadas entre Palma Soriano y Guantánamo, sin que las muestras fuesen ordenadas en secuencia, no vale la pena comentar la lista. Lo mismo se puede decir de la lista de especies de *Lepidocyclina* dada por Keijzer (1945, p. 88; Bermúdez, 1950, p. 252) que incluye varias especies netamente oligocénicas.

**Formación Consuelo (Eoceno Superior).** Este nombre fue propuesto formalmente por Bermúdez (1950) para el Eoceno Superior representado en el

Tejar Consuelo (o Tejar Matos), capas superiores, en el Cerro, al sur de La Habana. El nombre había aparecido antes, pero sin definición, en Cushman y Bermúdez, 1949 y Brodermann, 1949 (columna geológica, frente pág. 330). R. H. Palmer en 1934 había propuesto el nombre Príncipe para el Eoceno Superior, pero su localidad tipo en la Avenida Príncipe resultó corresponder al Eoceno Inferior, formación Universidad. En el Bosque de La Habana y en las cercanías del Central Hershey, hay buenos afloramientos de la formación, que consisten en marga calcárea blanda de color crema, con una microfauna muy rica. Bermúdez (1950) pp. 260-262 dio una larga lista de especies procedentes de dos muestras, entre las que podemos mencionar *Globorotalia cerroazulensis* Cole, que determina la edad Eoceno Superior; *Hantkenina alabamensis* Cushman; *H. brevispina* Cushman; *Globigerina* "apertura" Cushman (probablemente *G. ampliapertura* Bolli, presente en la zona más alta del Eoceno Superior en Trinidad); *Porticulasphaera mexicana* (Cushman); *Anomalina dorri* Cole; *Rotalia mexicana* Nuttall; *Rotalina mexicana* Cushman y *Tritaxilina mexicana* Cushman son algunas de las muchas especies bentónicas interesantes para correlacionar con la Chapapote superior de México.

La formación Consuelo está expuesta en ambos flancos del anticlinal La Habana-Matanzas. El espesor es poco considerable, probablemente no más de 100 metros.

**Formación Guantánamo (Oriente).** Darton (1926) propuso este nombre para lutitas blandas de color gris claro en la región de Guantánamo. Según este autor, las lutitas descansan en concordancia en la caliza Guaso en la parte norte de la cuenca, pero según Bermúdez cerca de la costa descansan en conglomerados potentes y estos a su vez sobre el complejo basal. La unidad tiene un espesor de 1.220 metros o algo más. Según Bermúdez, la microfauna es semejante a la de Consuelo, aunque en otra página (1950, p. 259) manifiesta que en varias partes del país, especialmente en Guantánamo, ha observado una fauna que parece transicional entre el Eoceno Superior y el Oligoceno. No da detalles sobre la fauna de Guantánamo.

Lewis y Straczek (1955, p. 190) admiten la equivalencia (errónea según Bermúdez) de San Luis y Guantánamo, siguiendo a Keijzer (1945, p. 84-85), pero según Bermúdez (1961, p. 89) aunque en la región de Guisa-Los Negros no se pueden ver las relaciones entre las dos por estar ausente San Luis, en otros lugares se ve claramente que las lutitas Guantánamo descansan en San Luis con marcada diferencia litológica.

Lewis y Straczek proponen el nombre de **miembro de conglomerado de Boquerón** para designar un conglomerado que según Darton, parece estar en el medio de la secuencia de lutitas.

**Formaciones magmáticas.** Bajo este título, Butterlin (1956, p. 46-47) señala que la actividad volcánica durante el Eoceno parece haberse concentrado especialmente en la región de Oriente, pero que, sin embargo, M. G. Rutten (1936 a, p. 25) indicó calizas tobáceas eocenas en el norte de la provincia de Las Villas y R. H. Palmer (1945, p. 20) señala actividad volcánica limitada en la provincia de Matanzas.

Según Taber (1934) y Mitchell (1955) las dioritas cuarcíferas de la Sierra Maestra serán del Eoceno Medio (límite entre las formaciones Cobre

La Isla de Cuba es la mayor de las Antillas Mayores, con una superficie de aproximadamente 108.050 kilómetros cuadrados. Su forma es alargada y estrecha, con unos 1.200 kilómetros de longitud en el sentido este-oeste y una anchura promedio de 90 a 100 kilómetros. Tiene la forma de un arco convexo hacia el norte, con rumbo general de N 65° E en el tercio occidental y de S 70° E en los  $\frac{2}{3}$  orientales. Está comprendida entre los 19° 50' y 23° 15' de latitud norte y entre los 74° 8' y 84° 57' de latitud oeste de Greenwich.

El territorio nacional comprende, además de la isla principal, la Isla de Pinos al sur y alrededor de 1.600 pequeñas islas y cayos, entre las que podemos mencionar: el **Archipiélago de Sabana**, en la costa norte de las provincias de Matanzas y Las Villas; el **Archipiélago de Camagüey**, al norte de la provincia del mismo nombre, cuyas islas principales, de oeste a este son: Cayo Coco, Cayo Romano, Cayo Guayaba y Cayo Sabinal; en la costa sur, el **Archipiélago de los Canarreos**, al este de la Isla de Pinos; y los **Jardines de la Reina**, al suroeste de Camagüey. Informa Butterlin, que un levantamiento de 15 metros del fondo marino bastaría para unir todas estas islas con la isla principal. Fuera de esta región marina somera de la costa, la isla está circundada por mares profundos a saber:

Hacia el noroeste, por el Golfo de México, que ya a 35 km de la costa de Cuba llega a 2.000 metros de profundidad. Hacia el norte, el **Estrecho de la Florida**, de unos 150—250 km de ancho y 210 km de largo, la separa de la península de Florida. Por este estrecho, menos de 2.000 metros de profundidad, pasa la Corriente de Florida, que se une al norte de las islas Bahamas con la Corriente Antillana para formar la gran Corriente del Golfo. Al norte del Archipiélago de Sabana, el Canal Nicolás separa a Cuba del bajo fondo de Cayo Sal y más al este, el Canal Viejo de Bahamas, al exterior del Archipiélago de Camagüey, la separa del bajo fondo o banco de las Bahamas. Este canal se hace más profundo hacia el este, llegando a casi 1.600 brazas al norte de la provincia de Oriente. Hacia el sureste, Cuba se separa de la Isla Española por el **Paso de los Vientos**. Este se comunica hacia el oeste con la **Fosa de Oriente**, una prolongación de la **Fosa de Bartlett**, la que separa a Cuba de la Isla de Jamaica. La fosa de Oriente se continúa hacia el oeste en la de Bartlett, al norte de la cual se encuentra el levantamiento submarino del Gran Caymán, de la que salen las islas Caymán que políticamente corresponden a Jamaica. La fosa de Oriente llega a 3.958 brazas de profundidad. Entre el levantamiento submarino del Gran Caymán y la concavidad de Cuba occidental y central, está la **Cuenca Marina de Yucatán**, que se hace más profunda hacia el oeste, llegando a unas 2.575 brazas al sur de Cuba occidental. La plataforma continental de Cuba hacia esta cuenca de Yucatán es amplia, excepto al sur de la ciudad de Cienfuegos. Finalmente, el **Canal de Yucatán**, cuya profundidad llega a 2.000 metros, separa a Cuba de la Península de Yucatán hacia el oeste.

Cuba se divide en seis provincias, cuyos límites son casi perpendiculares a las costas norte y sur, y que son, de oeste a este: Pinar del Río, La Habana, que incluye la Isla de Pinos, Matanzas, Las Villas (antes conocida como Santa Clara), Camagüey y Oriente. En términos generales, los límites de las provincias corresponden a regiones naturales, las que pueden estudiarse con referencia a las divisiones políticas.

La isla tiene en general un relieve suave, a excepción de la parte sureste, donde al sur de la depresión del río Cauto y del valle de Santa Isabel de Nipe, se yergue la Sierra Maestra, que llega a 2.005 metros de altura. Otra región de elevación moderada comprende las Montañas de Trinidad, en el sur de la provincia de Las Villas, que llega a 1.156 metros.

Siguiendo las provincias de oeste a este, encontramos que en la provincia de Pinar del Río el relieve está dominado por una cordillera llamada de Guaniguanico, paralela a la costa septentrional y extendiéndose sobre unos 180 km con una anchura entre 6 y 14 kilómetros, y comprendiendo: la **Sierra de los Organos**, la **Sierra de Rosario** y **Las Lomas**. Hay llanuras costeras al norte y al sur, y hacia el oeste, la península de Guanahacabibes. La Sierra de los Organos se caracteriza por la presencia en el borde sur de su parte occidental, de masas de caliza llamadas "mogotes", que en Venezuela se llamarían morros, pero los que a diferencia de los morros de la Serranía del Interior de Venezuela, están formadas por calizas jurásicas. En la parte oriental, las llanuras quedan reducidas a valles profundos y estrechos en las calizas, y el relieve sugiere el nombre de la sierra. La topografía cárstica está muy desarrollada. La sierra de El Rosario constituye la prolongación de la de Los Organos, hacia el noreste. Se describe como formada por sierras calcáreas paralelas de rumbo SO-NE, de pendiente menos escarpada que la Sierra de Los Organos, aunque formadas también por las Calizas de Viñales y con topografía cárstica. Su punto más elevado, el Pan de Guajaibón (728 metros) es el punto más alto de la provincia. Al norte y al sur de la Sierra de los Organos se encuentran colinas formadas por la formación Cayetano (= Matahambre). La altura de estas lomas, que Butterlin llama también las "alturas pizarrosas" está comprendida entre los 200 y los 400 metros.

La Isla de Pinos que políticamente pertenece a la provincia de la Habana, tiene una superficie de 3.061 kilómetros cuadrados, con una longitud máxima en el sentido oeste-este de 70 km y una anchura máxima de 55 km. La isla tiene forma de coma, siendo esencialmente circular con una prolongación hacia el suroeste. La parte septentrional está formada esencialmente de rocas metamórficas de edad incierta (Esquistos de Santa Fe y Mármoles de Gerona); comprende una llanura rodeada de colinas escarpadas dispuestas en círculo y cuya altura está generalmente comprendida entre 200 y 300 metros, con una altura máxima de 316 metros. La parte sur de la isla, estrecha y alargada, está formada esencialmente de calizas pleistocénicas. Entre las dos partes de la isla, al este de la Bahía de la Siguanea, está una zona cenagosa. La isla está separada de Cuba propiamente dicho, por el Golfo de Batabanó, que tiene unos 53 km de anchura.

Las provincias de la Habana y Matanzas constituyen una misma región natural, que se puede dividir en dos partes:

(1) Las **alturas de Habana-Matanzas**, en la costa septentrional, desde La Habana a Cárdenas, que comprende dos cadenas anticlinales, separadas por el valle sinclinal de Almendares-San Juan. Esta es una región de colinas más o menos aisladas por los valles y cuya altura raramente pasa de los 350 metros. En la cadena septentrional o anticlinal de **Habana-Matanzas**, hay lutas cretácicas blandas que dan colinas bajas, rodeadas por calizas terciarias. En la cadena sur o anticlinal de **Madruga**, hay la misma dispo-

y San Luis). Según Mitchell (1953), las serpentinas del suroeste de Oriente son Eoceno Inferior o Medio.

#### OLIGOCENO

En publicaciones anteriores al Léxico Estratigráfico de Cuba, se indicaban tres formaciones en el Oligoceno: Tinguaro, (antes Adelina), inferior; Jaruco, medio y Cojímar, superior, tal como figuran en Bermúdez (1950) y Butterlin (1956). En el Léxico de Bermúdez y Hoffstetter (1959), se pasa la formación Cojímar al Mioceno, y se divide el Oligoceno entre dos formaciones: Tinguaro, Oligoceno Inferior a Medio; y Jaruco, Superior, con una nueva formación. Colón (Brödermann, 1945) como equivalente en edad a ésta. En 1961, Bermúdez precisa las correlaciones con las zonas de Bolli en Trinidad (1957) (vea Bermúdez, fig. 1, p. 49), que están indicadas en la tabla acompañante. En la tabla de Bermúdez, se tratan Jaruco (y correlativas) más Cojímar como "Oligoceno-Mioceno". En el texto, se les adscribe las mismas edades a Tinguaro y Jaruco como en 1959.

**Formación Tinguaro.** Este nombre fue publicado por R. H. Palmer (1933, p. 91; 1945, p. 5, 17) pero con anterioridad, D. K. Palmer y Bermúdez (1936 b) habían descrito una rica fauna de foraminíferos hallados en una localidad en un pozo de agua en la Finca Adelina en la provincia Matanzas. En la tabla de correlación del Cenozoico preparado por Cooke, Gardner y Woodring (1943), aparece bajo el Oligoceno Inferior de Cuba la "marga Tinguaro, marga de Adelina (Matanzas)". El nombre de Palmer vino del central Tinguaro, en el anticlinal de Colón en la provincia de Matanzas, 16 km al oeste de Adelina; D. K. Palmer y Bermúdez mencionaron la presencia de su marga fosilífera allá, lo mismo como en el central Alava, 5 km al norte de Adelina. Las capas de corte en la carretera Central cerca de Tinguaro, y las de Adelina, constituyen la parte superior de la formación Tinguaro, y son margas compactas, impermeables de color gris que meteorizan al amarillo claro. Más tarde, en el pozo Criollo No. 1 perforado por la Atlantic Refining Oil Company, en las cercanías de Colón, se atravesó más de 360 metros (1.200') de la formación, siendo factible una división en dos miembros, ambas margas calcáreas, pero con ligera diferencia de color: el miembro Adelina, superior y el miembro Alava, inferior (nombrado por Brödermann, 1943). En el pozo Criollo, Adelina tenía 185 metros de espesor y Alava, 242 metros (800' según Bermúdez, 1961, p. 60, pero 536' = 162 metros según las cifras en el Léxico, p. 8). La marga Alava no se encontró aflorando en esa región, sino en el subsuelo; es una marga calcárea color crema, que al ser lavada deja un residuo casi completamente formado de foraminíferos bien conservados, algunos ostrácodos, espinas de erizos y algunos otros restos marinos pequeños. La fauna se puede correlacionar estrechamente con la zona de *Globigerina ampliapertura* de la formación Cipero de Trinidad. En otras regiones (no precisadas) se considera que capas con *Lepidocyclina g'gas* y *L. (Eulepidina) favosa* Cushman, serán equivalentes a Alava (tal como fue postulado por Palmer, 1945, para toda la formación Tinguaro). Bermúdez postula una correlación con la formación Horcones de la cuenca de Tampico en México, pero informa que en Venezuela no ha encontrado una fauna comparable. La marga Alava descansa en margas del Eoceno Superior, con contacto al parecer transicional, siendo puesto el contacto donde desapa-

recen las especies eocénicas *Hantkenina alabamensis* Cushman y *Turborotalia centralis* (Cushman y Bermúdez).

La marga Adelina, es compacta, de color amarillento en los afloramientos, con una rica microfauna, 182 especies descritas por Palmer y Bermúdez, más otras muchas especies planctónicas no distinguidas en ese entonces. Bermúdez (1961, p. 40) correlaciona la formación con las zonas de *Globigerina ciperoensis* *ciperoensis* y *Globorotalia kugleri* establecidas por Bolli en la formación Cipero de Trinidad. La lista de especies planctónicas de Adelina en la localidad tipo es (Bermúdez, 1961, p. 58): *Cassigerinella chipolensis* (Cushman y Ponton), *Globigerina ciperoensis* Bolli y subespecie *angulisuturalis*, *Globigerina clarae* Bermúdez, 1960 (1961) (= *Globoquadrina sellii* Borsetti = *Globigerina oligocénica* Blow y Banner), *G. fariasi* Bermúdez, *G. rohri* Bolli, *Globigerina cf. G. trilocularis* d'Orbigny, *Globigerinita riveroae* Bermúdez, *Globigerina unica* (Bolli), *Globoquadrina globularis* Bermúdez, *Globoquadrina palmerae* Bermúdez, *Globoquadrina venezolana* (Hedberg), *Turborotalia increbescens* (Brady) y *T. mayeri* (Cushman y Ellisor).

La fauna de foraminíferos bentónicos es muy rica, con *Uvigerina adelinensis* Palmer y Bermúdez, y otras muchas especies, Bermúdez (1950, pp. 266-270) dio una lista de las especies, comparando la fauna con la de la formación "Huasteca" (ahora Alazán) de México, y con el "conjunto faunístico de Hackberry" según fue descrito por Garrett (1938) de la región del Golfo de los EE. UU. Murray (1961, vea fig. 6.38) correlaciona los estratos con el conjunto de Hackberry, con parte del "Frió" del subsuelo, equivalente a parte de su piso Chickasawhay, que viene inmediatamente encima del Vicksburg del subsuelo. La marga Alava presuntivamente correlaciona con Vicksburg. Murray, aunque pone Chickasawhay como el piso más bajo del "Neógeno" lo considera de una edad Oligoceno algo más probable que Mioceno. H. H. Renz (1948) menciona la marga Adelina y considera que es más antigua que la zona de "*Uvigerinella*" *sparsicostata* del grupo Agua Salada. Bermúdez (1961, p. 58) compara la fauna de Adelina con la de la formación Buenavista (inédita) del grupo Merecure, aunque la fauna venezolana es mucho menos rica y no tan bien conservada.

Informa Bermúdez que en lugares dentro y fuera de la cuenca del Llano de Colón hay sedimentos equivalentes en edad a Adelina, con una rica fauna de macroforaminíferos grandes. Las especies necesitan más estudio; algunas identificaciones dadas por Bermúdez en 1950 (p. 270) fueron las siguientes: *Lepidocyclina parvula* Cushman, *L. dilatata* Michelotti, *L. yurnagunensis* (Cushman) var. *morganopsis* Vaughan, *L. formosa* Sch'lumberger, *L. fragilis* Cushman, *L. piedrasensis* Vaughan, y *Operculinoides vicksburgensis* Vaughan y Cole.

#### OLIGOCENO? MIOCENO? — FORMACIONES JARUCO-TARARA-COLON

**Formación Jaruco.** Fue descrita por Bermúdez (1950, p. 270) quién lo atribuye a la Sra. D. K. Palmer, quién no llegó a publicarlo. El nombre de formación Jaruco apareció en de Albear (1941), así como en Brödermann (1945, 1949) pero solamente en cuadros. Bermúdez establece la localidad tipo en las cercanías de la villa de Jaruco, provincia de la Habana, en un corte en la línea de los Ferrocarriles Occidentales de Cuba (Bermúdez, Est.

614). En adición ver las observaciones que hace G. A. Seiglie (1960) sobre esta localidad. Allá las capas yacen en contacto concordante debajo de la formación Cojímar, y consisten en margas calcáreas de color crema, muy fosilíferas, con algunas arena calcárea. Bermúdez indicó otros varios afloramientos típicos, p. ej. en la Playa Tarará, provincia de la Habana; en la provincia de Pinar del Río, en la Academia Naval de Mariel, y en la carretera entre Caimito del Guayabal a Guanajay; en el pozo Baños No. 1 de la Standard Oil of Cuba, al sur de Paso Real de San Diego de los Baños, donde Jaruco descansa en Tinguaro y está cubierto por la formación Paso Real; en la llanura de Colón, y otras muchas regiones no precisadas, en Las Villas, Camagüey y hasta Oriente. No se indicó el espesor de la formación Jaruco.

Bermúdez (1950) no dio una lista de la fauna en el texto, aunque en las listas faunales al final de la publicación, se podría sacar mucha información de la tabla de las distribuciones estratigráficas de las especies en orden alfabético. Especies mencionadas como especialmente características fueron: "Kelyphistoma" (ahora *Almaena*) *alavensis* (D. K. Palmer), *Heterostegina antillea* Cushman, *Operculinoides antiquensis* Vaughan y Cole y *Lepidocyclina* cf. *L. asterodisca* Nuttall. Bermúdez (1961, p. 104) agrega como abundantes: *Rectuvigerina acuta* (Bermúdez), *R. transversa* (Cushman) var. *horquetensis* (Bermúdez), *R. multicostata* (Cushman y Jarvis) y *Globigerinita dissimilis* (Cushman y Bermúdez), que determina una correlación con las zonas de *dissimilis* y *stainforthi* en Trinidad. Bermúdez correlaciona la formación con la Coatzintla de México y (en parte) con la zona de *Robulus wallacei* en Falcón oriental, Venezuela. Debe correlacionar con el piso Anáhuac de Murray (1961) en la región del Golfo de EE. UU., donde hay dos especies de *Heterostegina* (*H. texana* y *H. israelskyi* de Gravell y Hanna, 1937) antes confundidas con *H. antillea*.

**Formación Colón.** Brödermann (1945) distingue con el nombre de formación Colón o "zona de *Heterostegina*" a capas que afloran en las cercanías de la Granja Escuela "Alvaro Reynoso" en las cercanías de la ciudad de Colón, provincia de Matanzas, en el anticlinal de Colón. Posiblemente el nombre podría usarse para la facies de aguas más someras de la formación Jaruco. Las capas descansan en las margas Adelina de la formación Tinguaro. El espesor no se ha indicado.

**Formación Tarará.** Brödermann propuso este nombre en una columna geológica (1945) sin describirla en el texto. La localidad de Playa Tarará, La Habana, fue mencionada por Bermúdez (1950) como una de la formación Jaruco, y no parece necesario proponer otro nombre, excepto quizás de facies. Bermúdez (1961) menciona *Miogypsina irregularis* (Michelotti) y *Lepidocyclina*, además de las especies pequeñas. Los sedimentos corresponden a aguas algo más someras que en la localidad tipo de Jaruco.

Formaciones descritas de Oriente que pueden ser al menos en parte oligocénicas son las siguientes:

**Formación Maquey** ("Maquay") (Oligoceno-Mioceno Inferior). N. H. Darton (1926) nombró esta formación en la cuenca de Guantánamo, derivándose el nombre de la Sierra Maquey, aunque no indicó una sección tipo. Se

trata de una serie de areniscas, calizas y margas, que afloran hacia el lado oriental de la cuenca de Guantánamo. El espesor, fide Schuchert (1935, p. 492) es casi 300 metros (975 pies). La formación descansa en las lutitas de Guantánamo, con contacto transicional. La edad de Guantánamo fue considerada como Oligoceno a Mioceno (fide Schuchert, vea también tabla de Cooke, Woodring y Gardner, 1943) aunque según el propio Schuchert lleva *Discocyclina* en la base, y según Bermúdez lleva una microfauna típica del Eoceno Superior. Darton consideró que la edad de Maquey sería Oligoceno o Mioceno, sin precisar; él había mandado macroforaminíferos a Cushman y a Vaughan, pero aparentemente no había recibido los resultados a tiempo para incluirlos en su informe. Después de Darton, la formación ha sido estudiada en parte por O. E. Meinzer (1933) y por F. G. Keijzer (1945), pero no parece que se haya descrito la secuencia litológica de las capas. Algunas localidades de la Sierra de Maquey mencionadas son La Piedra, las mesas altas al lado este del río Yateras, San Antonio y El Jigüe de la Argolla.

Los únicos fósiles identificados que reportó Darton, fueron dos erizos que habían sido identificados por Jackson (1922) y luego discutidos por Vaughan (1922, p. 107-122), quien los asignó al Oligoceno Superior, parte superior.

Cushman (1920, sobre las especies americanas de "*Orthophragmina*" y *Lepidocyclina*), sin mencionar la formación Maquey, describió las siguientes especies provenientes de localidades que corresponderán a la formación:

*Lepidocyclina subraulinii* Cushman (1919, p. 73)

(cuyo holotipo proviene del Eoceno de Nuevitas, Cuba).

*Lepidocyclina morgani* Lemoine y R. Douvillé (Cushman, 1919, p. 74), una especie descrita del Aquitaniano de Europa.

*Lepidocyclina marginata* (Michelotti) (Cushman, 1919, pp. 73-74).

*Lepidocyclina crassata* Cushman (Cushman, 1919, pp. 74-75).

*Lepidocyclina canellei* Lemoine y Douvillé var. *yurnagunensis* Cushman, 1919 (que Vaughan y Cole, 1941, p. 72, elevan al rango de una especie como *Lepidocyclina* (*Lepidocyclina*) *yurnagunensis*).

*Lepidocyclina sumatrensis* (Brady) (p. 76).

Vaughan (1933) en su estudio de las *Lepidocyclinas* americanas, describió como nuevas las siguientes especies de una localidad que corresponde a Maquey: ladera norte de La Piedra, al noroeste de Jamaica, al noreste de Guantánamo.

*Lepidocyclina* (*Nephrolepidina*) *pedrasensis* Vaughan

*Lepidocyclina* (*Nephrolepidina*) *crassimargo* Vaughan

*Lepidocyclina* (*Nephrolepidina*) *dartoni* Vaughan

Keijzer (1945, p. 92-97) dio una lista de *Lepidocyclina* provenientes de la formación Maquey: *crassimargo* Vaughan, *dilatata* (Michelotti), *gigas* Cushman, *formosa* Schlumberger, *fragilis* Cushman, *parvula* Cushman, *pedrasensis* Vaughan, *undosa* Cushman, *wetherellensis* Vaughan y Cole, *yurnagunensis* Cushman y *yurnagunensis* var. *morganopsis* Vaughan. En adición mencionó especies de *Operculinoides* y *Heterostegina*.

Las identificaciones sugieren que en la formación Maquey están representados equivalentes de al menos el miembro Adelina y posiblemente el miembro Alava también.

Keijzer dio una extensa lista de especies pequeñas (vea Bermúdez, 1950, pp. 273-276). Entre estas, es interesante que de cuatro localidades reportó *Globigerinita dissimilis* (Cushman y Bermúdez), que indicarían una correlación con Jaruco. Según Bermúdez (1950, p. 276) la microfauna de Keijzer procedía de la parte media e inferior de la formación; mientras que Bermúdez, en las cercanías de Vega Grande y 5 km al este de San Antonio, consiguió una fauna que se compara estrechamente con la de Cojímar (antes referida al Oligoceno Superior, ahora al Mioceno Inferior). Según datos, Maquey en su totalidad correlacionaría con Tinguaro (en parte o en total), Jaruco y Cojímar.

"Serie" de Nipe. Este nombre fue aplicado por Keijzer (1945, p. 50) a las capas que forman la cuenca de Nipe. En los bordes de la cuenca aparecen como calizas amarillentas, interstratificadas con margas y arcillas. En la parte central de la cuenca se encuentran arcillas margosas, interstratificadas con calizas areniscas y conglomerados. No se menciona el espesor.

Keijzer no logró subdividir la secuencia, aunque es muy fosilífera, con una fauna que corresponde en general a aguas poco profundas (corales, macroforaminíferos, abundantes algas coralíneas como *Lithothamnion*). Los macroforaminíferos citados por Keijzer (1945, p. 51) son:

*Heterostegina texana* Gravell  
*Lepidocyclina antiguensis* Vaughan y Cole  
*Lepidocyclina canellei* Douvillé  
*Lepidocyclina dilatata* (Michelotti)  
*Lepidocyclina giraudi* Douvillé  
*Lepidocyclina formosa* Schlumberger  
*Lepidocyclina fragilis* Cushman  
*Lepidocyclina parvula* Cushman  
*Lepidocyclina parvula* var. *crassicostata* Vaughan y Cole  
*Lepidocyclina perundosa* Cushman  
*Lepidocyclina subraulinii* Cushman  
*Lepidocyclina yurnagunensis* Cushman  
*Miogypsina* spp.  
*Miogypsinoides* sp.  
*Operculinoides antiguensis* Vaughan y Cole  
*Operculinoides semmesi* Vaughan y Cole

Keijzer interpretó la edad como desde el Oligoceno Inferior hasta el Mioceno Medio, opinión con que concuerda Bermúdez, pero en nuestro concepto, la evidencia no sugiere un intervalo tan largo, sino más bien una correlación como "Oligoceno Superior" según la interpretación que Cole ha dado a éste últimamente en Panamá, etc., o sea una correlación con Jaruco y Adelina. Las especies citadas, no demuestran una correlación con Cojímar.

Butterlin menciona también que hay complicaciones con la edad postulada por Keijzer. Este mismo admite movimientos orogénicos entre el Eoceno Superior y el Oligoceno Medio o Superior en el borde noroccidental de la cuenca de Nipe.

Woodring y Daviess (1944, p. 382) suponen deformaciones orogénicas en la Sierra Maestra al final del Oligoceno o principios del Mioceno. Sería extraño que tales movimientos no se manifestaran solamente en el borde sur de la cuenca de Nipe.

**Brecha de Farallón Grande.** Se trata de una brecha de gran espesor (1.520 metros por lo menos) que se presenta al parecer en el extremo occidental (vea nota de Hoffstetter en el Léxico) de la cadena del Pico Turquino, y que fue nombrada por Taber (1934, p. 581-583). Contiene calizas con foraminíferos del Eoceno Superior, tobas y andesitas, con bloques hasta de 7 metros o más de diámetro. Se ha interpretado la brecha como el resultado de dos ciclos diferentes de actividad explosiva y de consolidación, durante el Oligoceno.

#### MIOCENO

**Formación Cojímar** (R. H. Palmer, 1934, p. 134). Este nombre fue dado por el Dr. Palmer a margas blandas de color blanco y cremoso. Según Palmer, el nombre viene de la garganta de Cojímar, 4 millas al este del castillo del Morro en La Habana. Esta garganta está al sur de la villa de Cojímar y en el flanco norte del anticlinal de La Habana-Matanzas. Sin embargo, la Sra. Palmer en 1940, al describir la fauna de foraminíferos, manifestó que el afloramiento en la localidad nominotípica no es muy satisfactorio, y que el mejor afloramiento se encuentra unos 3 kilómetros al oeste, y aproximadamente 1 km al este de Casa Blanca, donde las capas descansan en discordancia en el Eoceno Inferior, y pasan arriba a las de la formación Güines. Otra buena sección se indicó en la garganta del río Yumurí en Matanzas, donde el río atraviesa los cerros en el extremo oriental del anticlinal La Habana-Matanzas. En este corte, se dice que están expuestos unos 650 pies de la formación. La Sra. Palmer indicó muchas localidades donde aflora la formación, en las provincias de la Habana y Matanzas, e informó que varias muestras indican también su presencia en las cercanías de Guanajay, Artemisa y Mariel en Pinar del Río, pero ella no incluyó estas muestras en el estudio.

R. H. Palmer (1934) expresó que posiblemente la formación sería equivalente a la "caliza de Bejucal" de De Golyer (1918), término insuficientemente definido, ya que en Bejucal y hacia el este afloran Eoceno y Oligoceno, y una milla al noroeste del pueblo aflora también la parte basal de la formación Güines. Schuchert (1935, p. 509) cita esta formación, a la que atribuye un espesor de 3.000-3.500 pies. El término ha sido abandonado.

La fauna de Cojímar comprende abundantes espinas de erizos, briozoarios, balánidos, moluscos (principalmente *Pecten*) y foraminíferos, con escasos erizos, ostrácodos y dientes de tiburones. La Sra. Palmer describió 203 especies y variedades de foraminíferos, señalando que el conjunto sugiere un ambiente de aguas de 190 brazas o más profundas, aunque hay algunas formas

que habrán vivido en aguas más someras. Cushman (1919) había identificado algunas especies de la garganta del Yumuri y Hadley (1934) describió 11 especies de la misma localidad, notablemente *Cibicorbis herricki* Hadley que es la *Valvulineria herricki* (Hadley) utilizada por Renz (1948) para caracterizar una zona en el grupo Agua Salada.

En 1950, Bermúdez propuso dividir la formación en tres zonas faunales basadas en los foraminíferos pequeños; de arriba abajo, estas zonas, con las localidades típicas, son:

ZONA	LOCALIDAD
<i>Uvigerina cubana</i> Hadley	Tumbadero, Río Canímar, Matanzas
<i>Siphogenerina lamellata</i> Cushman	Finca El Junco, Limonar, Matanzas
<i>Siphogenerina transversa</i> Cushman	Cortes de Cojímar y Casa Blanca, La Habana

En 1961 (p. 73), Bermúdez considera que estas zonas pueden también considerarse como miembros de la formación, ya que además de las diferencias faunales presentan diferencias litológicas a saber:

La zona de *Uvigerina cubana* comprende margas muy compactas de color amarillo. Estas capas llevan *Cibicorbis herricki* y entre los foraminíferos planctónicos, *Globorotalia fohsi robusta*.

La zona de *Siphogenerina lamellata* es una marga calcárea muy masiva de color blanco. Además de la especie típica contiene abundante *Uvigerina carapitana* Hedberg, y entre las especies planctónicas, *Globorotalia fohsi* Cushman y Ellisor (s. str.). Bermúdez (fig. 1, p. 49) correlaciona esta zona con las de *fohsi fohsi* y *fohsi barisanensis* de la formación Ciperó en Trinidad. Este es el único miembro para el cual se ha sugerido un nombre geográfico, Limonar (que aparece en el Léxico y en 1961 como "formación" Limonar). Como tal, había figurado en una columna geológica de De Albear (1941, p. 564) y una de Brödermann (1945, p. 144). En la Finca El Junco, se perforaron 30 metros del miembro en búsqueda de agua, ignorándose el espesor total del miembro. En el Léxico, Bermúdez expresó cierta incertidumbre sobre la referencia a las capas de Limonar a Cojímar, ya que escribe que "estas capas muy calcáreas siempre se observan superpuestas a las capas típicas de la formación Cojímar", pero en 1961 suprime esta observación y hace en definitivo la correlación de Limonar con la zona de *S. lamellata*.

La zona de *S. transversa* se describe como formada de capas gruesas de margas calcáreas (no se explica como se distinguen de las otras de la formación). En la fig. 1 se correlaciona con la mayor parte de la zona de *Globigerinatella insueta*.

Hasta no tener un estudio detallado de la formación, sería preferible dejar las divisiones antecedentes con el rango de zonas.

Bermúdez (1950) informó haber encontrado afloramientos de la formación Cojímar en Oriente; con más precisión, se hubiera dicho de la fauna típica, ya que menciona que litológicamente son lutitas o arcillas de color gris. Menciona en especial extensos afloramientos en las inmediaciones de

Vega Grande, cerca de Yateras, Guantánamo. Sería interesante saber si estas corresponden a la formación Guantánamo, a la que los investigadores norteamericanos habían asignado una edad Oligoceno Superior o Mioceno (vea Schuchert, 1935, p. 492) y la que por su gran espesor bien podría incluir capas de distintas edades.

**Formación Paso Real.** Bermúdez (1950, pp. 283-284) propuso este nombre para sedimentos de aguas someras en la vertiente sur de la provincia de Pinar del Río, que correlacionan con Cojímar y con la formación suprayacente Güines (vea más adelante). Estos sedimentos están atravesados longitudinalmente por la carretera central de Pinar del Río y toman su nombre de Paso Real en la carretera a San Diego de los Baños. Woodring (1923, p. 8) había usado el nombre informal de "capas de Consolación" para una caliza cerca de Consolación del Sur en Pinar del Río, que se incluye en la formación. Se trata de conglomerados costeros groseros, arenas y gran cantidad de marga calcárea, hasta unos 300 metros en espesor ( $\pm 1.000'$ ) según se comprobó en varios pozos profundos taladrados en el sur de la provincia en búsqueda de petróleo.

La formación lleva una macrofauna considerable de moluscos, erizos, corales, etc., pero parece que no ha sido descrita, excepto por *Orthaulax bermudezi* Clench y Aguayo. Conchas de este género y tubos de *Teredo* son especialmente abundantes en la parte inferior de la formación. La microfauna contiene abundantes foraminíferos de las familias típicas de aguas cálidas y someras —*Miliolidae*, *Peneroplidae*— lo que le da un aspecto muy moderno, puesto que ha habido poca evolución en estas formas desde el Mioceno hasta la actualidad. Bermúdez mencionó *Amphisorus matleyi* Vaughan, descrito del Mioceno de Jamaica (niveles superiores de la Caliza Blanca, formaciones Newport y May Pen, cuya edad Butterlin da como Mioceno Inferior. En la parte más baja de la formación Paso Real, hay abundantes ejemplares de *Miogyptina intermedia* Drooger, la que desaparece totalmente en la parte más alta de la formación.

**Formación Güines.** Este nombre fue introducido por el Barón Alejandro de Humboldt (1826 a, b) como "calcaire des Güines" y "caliza Güines"; no le asignó una edad geológica, pero la comparó con las calizas de los montes Jura de Europa por su topografía cárstica. No se ha designado una localidad precisa como tipo, pero el nombre se deriva de Güines en la provincia de la Habana. Humboldt (1826 b, p. 54) alude a "la cadena de colinas que bordea la llanura de Güines hacia el norte", y Palmer (1934) dice que la formación está bien expuesta al norte de Güines; por otra parte, Bermúdez (1959, p. 46 y 1961, p. 91) habla de las capas al sur de la villa Güines.

Según R. H. Palmer, en superficies frescas y en el subsuelo, la caliza es frecuentemente blanda, porosa, friable, de color blanco puro, y formada casi en su totalidad por fragmentos de conchas, y de corales, siendo frecuentes grandes masas de coral. En la superficie, sin embargo, la formación presenta calizas duras, macizas, blancas a rojizas, con superficie áspera descrita como "dientes de perro". Produce una topografía cárstica donde son frecuentes las cuevas y cavernas, y faltan ríos superficiales, por la gran porosidad de la formación. Su desintegración eventual da suelos rojos muy apreciados para el cultivo de la caña de azúcar; estos forman las "llanuras

rojas" de La Habana-Matanzas y la llanura de la Trocha en Camagüey occidental.

La caliza Güines está bien expuesta en la garganta del río Yumurí cerca de Matanzas, donde De Golyer (1918) la describe bajo el nombre de caliza Yumurí. Schuchert (1918, p. 507) da el espesor de Güines en esta abra como entre 750 y 850 pies, pero parece que está incluido el espesor de Cojimar, puesto que Bermúdez, (1950, p. 301) indica el espesor de Güines en la misma sección como 120'. Palmer (1934, p. 35) informa que en la provincia de la Habana el máximo espesor es de 150'. Pero según Schuchert, se perforaron 1.670 pies de la "caliza Yumurí" en un pozo y Bermúdez asegura que el espesor puede llegar a los 1.000'.

R. H. Palmer (1934, p. 135) alude a "margas locales blandas, de color pardo claro, que llevan una fauna que sugiere fuertemente una edad Mioceno" en la carretera central entre Cotorro y San Francisco de Paula, 15 km al sureste de La Habana, pero no da detalles. Según Bermúdez, aquel autor se confunde al aludir a *Lepidocyclina* y *Miogypsina* en la fauna de Güines, ya que precisamente uno de los aspectos que distingue Güines de Cojimar y Paso Real es la ausencia de macroforaminíferos.

Según Bermúdez (1950, p. 277) Güines descansa en Cojimar en discordancia en la garganta del Yumurí y está cubierta en discordancia por la formación Canímar.

Diversas opiniones han sido expresadas sobre la edad de Güines, siendo la más plausible que es Mioceno Medio.

Salterain (1880) la consideró del Mioceno, pero luego Cooke (1919, p. 113, 135) en base a los moluscos, y Jackson (1922, pp. 38, 46) en base a los equímidos, la refirieron al Oligoceno, tal como habían hecho Hayes, Vaughan y Spencer (1901) al estudiarla en la garganta del Yumurí. Sánchez Roig, el especialista cubano en equímidos, en 1926, rectifica la correlación de Jackson, correlacionando la fauna como Mioceno. Cooke, Gardner y Woodring (1943) correlacionan Güines como la parte más alta del Mioceno Inferior. Brödermann (1940) y Bermúdez (1950) la refieren al Mioceno Inferior, correlación seguida por Butterlin (1956) quien menciona *Amphisorus matleyi* entre los foraminíferos, *Ostrea haitiensis* y *Clypeaster lanceolatus*. Bermúdez (1961, fig. 1, p. 49) la refiere al Mioceno Medio, y la correlaciona con la zona de *Marginulinopsis basispinosus* y *Globorotalia menardii*. Esta correlación se basará en su posición por encima de Cojimar, ya que la fauna de foraminíferos consiste casi exclusivamente en formas de aguas someras y cálidas, Miliólidos y Peneróplidos. Se supone que corresponde a la parte superior de la formación Paso Real de Pinar del Río.

Dos formaciones miocenas de la provincia de Oriente cuyas correlaciones son algo inciertas son las formaciones La Cruz y Manzanillo que describiremos a continuación.

**Formación La Cruz.** Schuchert (1935, p. 504) atribuye este nombre a Vaughan (1918), aunque Bermúdez la cita de la publicación mejor conocida de 1919, el Boletín 103 del U. S. National Museum. Vaughan la llamó la marga de La Cruz, y (fide Schuchert) dio como localidad tipo un corte en el ferrocarril que va hacia el este desde La Cruz, que está en el lado oriental

de la bahía de Santiago. Según Schuchert, se describió como margas y calizas, pero Woodring y Daviess (fide Butterlin) expresan que hay pocas margas y que se trata principalmente de calizas de grano grueso con capas de arenas y conglomerados. El espesor según Keijzer, será de 130 metros (fide Butterlin). Vaughan la correlacionó como aproximadamente equivalente a la formación Bowden de Jamaica, pero Woodring (1928, p. 61) señala que esta correlación se basó en los corales. Cooke (1919, p. 103-106) había comparado los moluscos de La Cruz con especies de la formación Anguilla de Las Antillas Menores y con la caliza de Tampa de Florida, que ha sido llamada Mioceno Inferior. Woodring nota que *Pecten ventonensis* Cooke, de La Cruz, puede ser un nombre con prioridad sobre *P. barrettii* Woodring, de Bowden. La marga La Cruz tiene *Ostrea haitiensis*, que en la República Dominicana se presenta en la formación Gurabo, pero que en Haití se halla en la formación Las Cahobas y en capas cerca de Puerto Príncipe. Cooke, Gardner y Woodring (1943) correlacionaron La Cruz como Mioceno Medio, con una nota expresando su probable equivalencia con "la marga sin nombre en Río Yumurí, Matanzas", o sea presuntivamente las capas que Bermúdez, 1950, nombró formación Canímar. Bermúdez (1950, p. 299) reporta de la formación La Cruz, entre otras especies de aguas someras: *Amphistegina angulata* Cushman, *Amphisorus matleyi* Vaughan, *Elphidium* cf. *E. guraboense* Bermúdez y *Gypsina pilaris* (Brady). La evidencia en general, pues, parece indicar una edad de Mioceno Medio, y una correlación con la formación Canímar del oeste de Cuba, y con la Gurabo de la Isla Española.

**Formación Manzanillo.** Taber (1934, pp. 586-588) aplicó este nombre a margas calcáreas de color amarillo o gris-claro, bien estratificadas, que pueden pasar a calizas arcillosas o a arcillas o a areniscas, que están bien expuestas en las colinas al sureste de la ciudad de Manzanillo en el Golfo de Guacanayabo, provincia de Oriente, desde donde se extienden a lo largo de la costa por toda la península de Cabo Cruz en elevaciones de 180 a 200 metros pero sin extenderse mucho tierra adentro. Fósiles procedentes de la formación fueron recogidos por Taber e identificados por W. C. Mansfield, e incluyen, entre otras especies: *Orthaulax aguadillensis*, *Pecten* cf. *perplexus*, *P. aff. ventonensis*, *P. cf. gibbus*, *Metis trinitaria*, *Malea camura*, *Clypeaster caudatus*. Mansfield le asignó a la formación una edad probable de Mioceno Inferior. Bermúdez (1950, p. 295) correlaciona la formación Manzanillo con la Güines de Cuba occidental, la que en ese entonces refirió al Mioceno Inferior, pero en 1961 al Mioceno Medio. La edad, pues sería ligeramente más antigua que la formación La Cruz.

**Formación Canímar.** Bermúdez (1950, p. 295) dio este nombre a una formación del occidente de Cuba, con la localidad tipo aproximadamente a 3 kilómetros al sur de la desembocadura del Río Canímar, en la provincia de Matanzas. Allí es una marga de color crema, bien estratificada, con abundantes restos de microfósiles, principalmente fragmentos de grandes *Ostrea*. En otras localidades próximas, las margas están endurecidas, formando caliza margosa. La misma formación aflora en la carretera central entre La Habana y Matanzas (kilómetro 94) y en la entrada oriental de la ciudad de Matanzas, donde es una marga arenosa con enorme cantidad de ejemplares de *Gypsina pilaris* (Brady), por cuyo motivo Brödermann (1940, p. 20; 1942, p. 17) había usado el nombre de "Capas de *Gypsina*". Como

señala Buetterlin, es lamentable que Bermúdez haya usado el nombre de Canímar, que fue propuesto por Brödermann (1943) para capas del Plioceno para las que existía el nombre anterior de formación Matanzas de Spencer (1894).

Otras localidades mencionadas por Bermúdez correspondientes a su formación Canímar fueron: la localidad 2 km al sur del kilómetro 5.5 en la carretera Cárdenas-Varadero, de donde la Sra. Palmer describió "*Camerina*" (ahora *Operculinoides*) *chawneri*; y en el Abra de Yumurí de Matanzas, donde hay 150 pies (45 metros) de caliza margosa que descansa en la formación Güines, y están cubiertas por la formación El Abra.

Bermúdez (1950, pp. 297-298) dio una lista de especies de foraminíferos de Canímar, entre las que son más interesantes: *Angulogerina eximia* Cushman y Jarvis, *Amphistegina guraboensis* Bermúdez, *Cuneolina lata* Cushman, *Gypsina pilaris* (Brady), *Operculinoides chawneri* (Palmer) y *Planularia woodringi* Palmer. Esta fauna se parece mucho a las de las formaciones Gurabo de Santo Domingo, Bowden de Jamaica y (en cuanto a las especies de aguas más profundas) con las capas de Port-au-Prince, Haití. La edad será Mioceno Medio. Bermúdez considera que es correlativa con la formación La Cruz, pero que corresponde a aguas moderadamente profundas.

Esta formación debe corresponder a la "caliza margosa y arcilla calcárea en Río Canímar" que Cooke, Gardner y Woodring (1943) refirieron al Mioceno Superior, además de la "marga sin nombre en Río Yumurí" que ellos correlacionaron como Mioceno Medio. Los microfósiles de la formación Canímar no han sido descritos.

**Formación El Abra.** Bermúdez (1950, p. 300) propone este nombre para arcillas, areniscas y conglomerados expuestos en El Abra del Río Yumurí, en el extremo oriental del gran anticlinal La Habana-Matanzas, donde están expuestos unos 50 metros (160 pies). Son capas de arcilla de color pardo rojizo, y areniscas con muchas impresiones de hojas fósiles y tallos de plantas. En los conglomerados hay una especie grande comparada con *Pecten pittieri* y que Bermúdez (comunicación personal) cree que es la misma especie descrita de las formaciones de Cumaná y Playa Grande de Venezuela como *P. arnoldi* Aguerrevere. La formación El Abra, según Bermúdez parece ser muy local, no encontrándose en la garganta del Río Canímar que está a corta distancia del Río Yumurí, ni en otra localidad en el occidente de Cuba. Sánchez Roig ha reportado *P. pittieri* de Guantánamo en Oriente, donde debe corresponder al mismo nivel pero no la misma formación geológica.

Bermúdez no encontró sino foraminíferos redepositados en la formación. El correlaciona la formación como el Mioceno más alto, muy plausiblemente, en vista de que Weisbord (1962), en base a su estudio de los gasterópodos del grupo Cabo Blanco, cree que la formación Playa Grande puede tener una edad que va desde Mioceno Superior al Plioceno. Estas capas con *Pecten pittieri*, parece que han sido incluidas por algunos autores en el Plioceno; Schuchert (1935, p. 501) menciona que el Plioceno "se conoce en las cercanías de Guantánamo con *Pecten pittieri*, y en capas fosilíferas cerca de La Habana (Sánchez Roig, 1920 a)".

**Formación Matanzas.** Spencer (1894, a, b, 1895) propuso el nombre de Matanzas (que llamó ya formación, ya serie, las calizas) para capas en las cercanías de dicha ciudad, más precisamente en la garganta del río Yumurí. Bermúdez (1950, p. 302) establece la localidad tipo en el río Canímar de Matanzas, aproximadamente 800 metros arriba de la desembocadura, donde afloran unas gruesas capas de caliza margosa con un lente intercalado de arcilla calcárea de unas 6 pulgadas de espesor. Palmer y Bermúdez (1936 a) describieron una fauna de dicha localidad, pero en ese entonces no precisaron la edad, limitándose a indicar que era del Terciario Superior y del Mioceno Superior o Plioceno. Otros afloramientos mencionados por Bermúdez (1950) fueron: en excavaciones en Pueblo Nuevo, Matanzas y en la parte superior del abra del río Yumurí, donde se observó un espesor de unos 50 pies. En el Léxico, sin embargo, Bermúdez considera que la cifra de 200' dada por Spencer es plausible. Pero nota también Hoffstetter (1959, p. 72) que es posible que Matanzas como fue interpretada por Spencer, incluía también una parte del Mioceno Superior (formación El Abra) o hasta del Medio (formación Canímar).

Según Bermúdez, la formación "Canímar" de Brödermann que éste refirió al Mioceno Superior, es la misma cosa que la Matanzas del Plioceno. La formación no ha sido identificada en otros lugares del país.

La formación Matanzas proporcionó una fauna de 105 especies de foraminíferos, de las cuales, según los autores, aproximadamente la mitad viven actualmente en aguas someras en las costas. La fauna nos sugiere una mezcla de especies de aguas someras y más profundas, con una abundancia de globigerínidos y *Globorotalia menardii*, una diversidad de especies de *Lagena*, *Seabrookia*, etc., sugiriendo aguas profundas, mientras que por otra parte la abundancia de *Reussella spinulosa* sugiere aguas someras (fide la zona de *Elphidium poeyanum*-*Reussella spinulosa* en el grupo Agua Salada, aunque aquí en la formación cubana las especies de *Elphidium* son escasas con la excepción de *E. advenum*). Palmer y Bermúdez notaron las siguientes especies de la fauna como restringidas al Mioceno Superior y Plioceno en Florida: *Bolivina marginata multicostata* Cushman, *B. pulchella primitiva* Cushman, *Loxostoma gunteri* Cushman y *Spirillina orbicularis* Bagg. Conocidas de Cuba solamente en el Terciario Superior (¿Mioceno?) ellos indicaron: *Amphistegina floridana* Cushman y Ponton, *Angulogerina carinata bradyana* Cushman y *Discorbis cushmani* Palmer y Bermúdez. Se describieron 12 especies como nuevas y un nuevo género, *Cushmanella*. Entre las nuevas formas, son comunes o abundantes *Discorbis cushmani* Palmer y Bermúdez, *Anomalina canimarensis* Palmer y Bermúdez y *Planulina edwardsiana* var. *canimarensis* Palmer y Bermúdez.

Bermúdez (1950, p. 302) menciona que hay también varias especies de moluscos que han sido estudiadas por Aguayo, Clench y Borro, (1936, 1946, b) pero no cita especies. En 1950 compara la formación con la Caloosahatchee de Florida.

**Caliza de Punta Maisí.** Este nombre fue dado por Taber (1934, p. 588) a calizas y margas que sostienen las terrazas de Punta Maisí en el extremo oriental de la provincia de Oriente. No hay más datos sobre estas calizas, que han sido señaladas en varios mapas como pleistocenas, pero que Taber refirió dudosamente al Mioceno. Butterlin las menciona

bajo el Mioceno Superior, siguiendo a una conjetura de Bermúdez (1950, p. 301) de que podrían posiblemente ser equivalentes de la formación El Abra, idea que repite en 1961 (p. 45).

## PLEISTOCENO

Varios autores se han ocupado del estudio de las terrazas marinas que se presentan en Cuba en varios niveles, a saber: Agassiz (1893), Hill (1894, 1895), Hayes, Vaughan y Spencer (1901), Vaughan (1919), Meinzer (1933), Taber (1934), Schuchert (1935), Corral (1945) y Marrero (1950). Estas terrazas tienen su mayor desarrollo en la región de Punta Maisí donde Marrero reconoce 7 niveles, de las cuales las 3 superiores serán del Plioceno. Según Taber, las terrazas pleistocenas más elevadas en esa región alcanzan 300 metros de altura y 15 kilómetros de anchura. En cambio, más al norte en la región de Holguín, no pasan de 45 metros de altura. En la provincia de Matanzas, alcanzan 90 metros. En la de La Habana, Vaughan reconoce 4 niveles situados respectivamente a los 60, 30, 5 y 2 metros sobre nivel del mar. También se mencionan terrazas sumergidas a 9 y 18 metros, que según Schuchert (1935, p. 500) traducen la emersión de la isla durante las etapas glaciales.

Hill (1894, p. 206-210; 1895, p. 267-270) propuso una nomenclatura para designar las terrazas o mesas recomendadas por Agassiz en la parte oriental de la Isla, distinguiendo:

- 1) el nivel del Yunque (Yunque level, mal escrito Junki en 1894), de 540 metros de altura, probablemente del Plioceno según Schuchert;
- 2) el nivel de la Cuchilla, a 150-180 metros, que debe corresponder al Pleistoceno antiguo;
- 3) tres terrazas o playas levantadas, escalonadas a los 100, 50 y 15 metros respectivamente, que constituyen las terrazas de La Habana;
- 4) El Seboruco (o Soboruco), arrecifes levantados que no pasan de 12 a 15 metros de altura. Se trata de un nombre local usado en Cuba para designar una caliza porosa o cavernosa. Al parecer, la primera forma del nombre es la correcta, aunque como soboruco, aparece ya en Humboldt, quien lo aplica a las calizas cavernosas cubanas tanto terciarias (Güines) como modernas, p. ej. la roca formada por fragmentos de madreporas observada por él en los cayos en el archipiélago de los Canarreos y que llama, el aglomerado calcáreo de los Cayos.

Brödermann (1943) aplicó el nombre de formación Jaimanitas a los depósitos del Pleistoceno marino en la provincia de la Habana. La localidad tipo está en las cercanías de Jaimanitas, urbanización de Marianao, y consiste de un arrecife costero de 2 metros de altura con muchos microfósiles en buen estado de conservación. El nombre ha sido aplicado después a capas semejantes en varias partes de la Isla. F. G. Richards (1935, p. 256-258) dio una lista de las especies procedentes de 12 localidades, principalmente de las provincias de Pinar del Río y Matanzas. C. G. Aguayo (1938) publicó sobre una extensa colección de moluscos recolectados por Bermúdez en la costa de la Estación Naval de Guantánamo, y finalmente, M. L. Jaime

e Isabel Pérez Farfante (1942) estudiaron varias muestras de la bahía de Matanzas, dando una lista que comprende 177 especies (ver Bermúdez, 1950, p. 307-308). Casi sin excepción son especies recientes que se conocen de los mares actuales de poco fondo que rodean a Cuba.

El espesor de los sedimentos es limitado, pero puede llegar a 60 metros en algunos lugares.

En Oriente, en la planicie de Pílon, Taber (1934) atribuye dudosamente al Pleistoceno las margas Las Puercas, que están expuestas también en la garganta del río Las Puercas, 40 - 45 km al este de Cabo Cruz. Estas margas contienen corales y varios moluscos que fueron identificados por W. C. Mansfield. A Taber estas margas le parecían más antiguas que la caliza costera (coastal limestone).

En varios lugares, especialmente en la provincia de Las Villas, Spencer (1894, a, b, 1895) se refiere a una formación o gravas de Zapata, nombradas por la península al oeste de Cienfuegos, pero cuya mayor sección se encuentra cerca de Trinidad. Típicamente la unidad comprende unos 3 metros inferiores, constituida de guijarros, y una parte superior, 0,3-3 metros formada por suelos arcillosos rojos. Spencer identificó estas capas en la costa norte también, en Sagua la Grande, Matanzas y La Habana. Descansa en la formación Matanzas o sobre capas más antiguas. Su espesor máximo es de 30 metros. Spencer atribuyó la unidad al Pleistoceno, pero Hoffstetter opina que puede incluir niveles más recientes.

En la Isla de Pinos, Hayes, Vaughan y Spencer (1901) aplicaron el nombre de gravas Mal País para las gravas que cubren gran parte de la Isla. El tamaño de los granos va desde el de arena hasta guijarros de unos 5 cm de diámetros. Estas gravas están fuertemente impregnadas por óxidos de hierro y manganeso que les da un color rojo a negro. El espesor varía desde unos pocos centímetros a quizás 3 ó 4 metros. Estas capas forman los terrenos ondulados del interior de la Isla.

Finalmente, en varios depósitos y especialmente los rellenos de cuevas, se ha encontrado una fauna bastante numerosa, de reptiles en parte (*Crocodylus*, *Testudo*) pero sobre todo de mamíferos: Hay Insectívoros (*Nesophontes*, *Solenodon* (*Atopogale*); Desdentados Megalonícidos (*Megalocnus*, *Microcnus*, *Mesocnus*, *Acratocnus*); Roedores Nototrogomorfos (*Capromys*, *Geocapromys*, *Boromys*) y Murciélagos. Esta fauna, en su mayor parte extinguida hoy día, pertenece al Pleistoceno Superior o aún al principio del Holoceno. No se conocen los antecesores locales, que han debido llegar a la Isla por transporte accidental (balsas naturales de vegetación llevadas por corrientes) en varias fechas y procedentes de distintas regiones. Los insectívoros proceden de Norteamérica y pueden haber llegado a fines del Oligoceno, los Megalonícidos y Nototrogomorfos tienen su origen en Suramérica y habrán llegado en varias épocas. Para referencias bibliográficas adicionales, vea Hoffstetter en el Léxico. Vea también Capítulo X en Schuchert (1935), quien acepta una teoría distinta a la expuesta arriba, postulando una antigua comunicación terrestre desde Honduras - Nicaragua a Jamaica y la Isla Española que habrá existido intermitentemente durante el Cenozoico (Schuchert, 1935, pp. 107-110).

Oscar Arrendondo (1958-1960) ha publicado en el Magazine "El Cartero Cubano" una serie de artículos informativos ilustrados altamente interesantes, detallando pormenores sobre el origen, evolución, extinción, morfología, ecología y costumbres de las varias especies de mamíferos extinguidos del Pleistoceno cubano. La mayoría de las especies fueron recogidas por el autor. Es de esperarse que algún día estos trabajos sean recopilados y publicados nuevamente en una revista científica, ya que ellos son producto de cuidadosas observaciones personales del Sr. Arrendondo.

## RESUMEN

Se describen las unidades estratigráficas de Cuba desde el Jurásico al Pleistoceno, dando relaciones de la fauna característica de las distintas formaciones, así como su litología. También se incluye una descripción de las formaciones ígneas del Cretácico y se hacen observaciones sobre la actividad volcánica en el Eoceno. El texto se acompaña con una tabla de correlación de las formaciones del Cenozoico y otra sobre las formaciones del Mesozoico de la Provincia de Pinar del Río, basadas en datos obtenidos en la Literatura geológica de Cuba.

## BIBLIOGRAFIA

- ACASSIZ, A. 1893. *A reconnaissance of the Bahamas and elevated reefs of Cuba*. Bull. Mus. Comp. Zool., Harvard Coll., vol. 26, pp. 1-203, 67 láms. y mapas.
- ACUAYO, C. G. 1938. *Moluscos Pleistocénicos de Guantánamo*. Mem. Soc. Cubana Hist. Nat., vol. 12, pp. 101-104.
- 1948. *Moluscos fósiles de la provincia de Oriente, Cuba*. Rev. Soc. Malacol., vol. 6, no. 2, pp. 55-63, figs. 1-8 (Se describen también algunos moluscos de la provincia de Matanzas).
- ACUAYO, C. G. y BORRO, P. 1946a. *Nuevos Moluscos del Terciario superior de Cuba*. Rev. Soc. Malacol., vol. 4, no. 1, pp. 9-12, láms. 1-2.
- ALBEAR, J. F. DE. 1941. *Estudio geológico de los suelos de la provincia de la Habana*. Rev. Bimestre Cubana, pp. 1-31, 1 lám. con mapa.
- Ibid.* Rev. Soc. Cubana Ing., vol. 36, no. 9, pp. 489-500; no. 10, pp. 553-565, 1 lám. con mapa.
- 1947. *Stratigraphic Paleontology of Camagüey District, Cuba*. Bull. American Assoc. Petrol. Geol., vol. 31, no. 1, pp. 71-91, 1 mapa.
- APPLIN, P. L. and APPLIN, E. R. 1944. *Regional subsurface stratigraphy and structure of Florida and Southern Georgia*. Bull. American Assoc. Petrol. Geol., vol. 28, no. 12, 1673-1753, 38 figs.
- ARKELL, W. J. 1935-1948. *A monograph on the Ammonites of the English Corallian beds*. Paleontogr., Soc. London. vol. 88-102, 14 pts. LXXXIV + 420 pp., 138 figs., 84 láms.
- BECKMANN, J. P. 1958. *Correlation of pelagic and reefal faunas from the Eocene and Paleocene of Cuba*. Eclogae Geol. Helvetiae, vol. 51, no. 2, pp. 416-422, 2 figs.
- BERMÚDEZ, P. J. 1937. *Estudio Micropaleontológico de dos formaciones eocénicas de las cercanías de La Habana, Cuba*. Mem. Soc. Cubana Hist. Nat., vol. 11, pp. 153-180.
- 1950. *Contribución al estudio del Cenozoico cubano*. Mem. Soc. Cubana Hist. Nat., vol. 19, no. 3, pp. 204-375.
- 1961. *Las formaciones geológicas de Cuba*. Geología Cubana, no. 1. Minist. Ind., Instit. Cubano Rec. Min. La Habana, Cuba, 177 pp., 1 fig., 1 mapa.

- BERMÚDEZ, P. J. y HOFFSTETTER, R. 1959. *Léxico Estratigráfico de Cuba*. Lexique Stratigraphique International, vol. 5, Amérique Latine, Fasc. 2c, Cuba et îles adjacentes, una carta, 140 pp., 1 mapa.
- BOLLI, H. M. 1957. *Planktonic Foraminifera from the Oligocene-Miocene, Cipero and Lengua formations of Trinidad*. B.W.I. Bull. U.S. Nat. Mus. 215, pp. 97-123, 5 figs.
- BRODERMANN, J. 1940. *Determinación geológica de la Cuenca de Vento*. Rev. Soc. Cubana Ing. vol. 34, no. 2, pp. 272-326, 1 mapa geol., 1 lám. (Existe una impresión aparte con paginación 1-57).
- 1943. *Breve reseña geológica (de Cuba)*. Censo de la República de Cuba, año 1943, pp. 113-148, 1 columna geol., 1 mapa geol.
- 1945. *Breve reseña geológica de la isla de Cuba*. Rev. Soc. Cubana Ing., vol. 42, no. 1, pp. 110-149, 1 columna geol., 1 mapa geol. (Reproducción del trabajo anterior).
- 1949. *Significación estratigráfica de los Equinodermos fósiles de Cuba*. Rev. Soc. Cubana Ing., vol. 48, no. 3, pp. 305-330, 1 cuadro.
- BRONNIMANN, P. 1953. *On the occurrence of Calpionellids in Cuba*. Eclogae Geol. Helvetiae, vol. 46, no. 2, pp. 263-268, 29 figs.
- BROWN, B. and O'CONNELL, M. 1922. *Correlation of the Jurassic Formations of western Cuba*. Bull. Geol. Soc. America, vol. 33, p. 159 (Abstract), pp. 639-664, 15 figs. 1 tabla.
- BURCKHARDT, C. E. 1930. *Etude synthétique sur le Mésozoïque mexicain*. Mem. Soc. Paleont. Suisse, vol. 49, pp. 1-124, 32 figs., 11 tablas; vol. 50, pp. 125-280, 33 figs., 7 tablas.
- BUTTERLIN, J. 1956. *La constitution géologique et la structure des Antilles*. Comm. Nac. Rech. Sci., Paris, 453 pp., 24 figs.
- COLE, W. S. and BERMÚDEZ, P. J. 1944. *New foraminiferal genera from the Cuban middle Eocene*. Bull. American Paleont., vol. 28, no. 113, pp. 333-346 (3-6), láms. 27-29 (1-3).
- COLE, W. S. and GRAVELL, D. W. 1952. *Middle Eocene foraminifera from Peñón Seep, Matanzas province, Cuba*. Jour. Paleont., vol. 26, pp. 708-727, láms. 90-103.
- COOKE, C. W. 1919. *Tertiary mollusks from the Leeward Islands and Cuba*. Carnegie Inst., Washington, Publ. 291, pp. 101-156, 16 láms.
- COOKE, C. W., GARDNER, J. and WOODRING, W. P. 1943. *Correlation of the Cenozoic formations of the Atlantic and Gulf Coastal plain and Caribbean regions*. Bull. Geol. Soc. America, vol. 54, pp. 1713-1725.
- CORRAL, J. I. DEL. 1945. *Terrazas Pleistocénicas cubanas*. Rev. Soc. Cubana Ing., vol. 40, No. 1, pp. 5-44, 2 láms., 14 figs.
- CUSHMAN, J. A. 1919. *Fossil Foraminifera from the West Indies*. Publ. 291, Carnegie Inst. Washington, pp. 21-71, láms. 1-15, 8 fig. texto.
- 1920. *The American species of Orthophragmina and Lepidocyclina*. U.S. Geol. Surv., Prof. Paper 125-D, pp. 39-105, láms. 7-35.
- 1949. *Some Cuban species of Globorotalia*. Contr. Cushman Lab. Foram. Res., vol. 25, pt. 2, pp. 26-45, láms. 5-8.
- CUSHMAN, J. A. y BERMÚDEZ, P. J. 1937a. *Further new species of Foraminifera from the Eocene of Cuba*. Contr. Cushman Lab. Foram. Res., vol. 13, pp. 1-29, láms. 1-3.
- CUSHMAN, J. A. y RENZ, H. H. 1942. *Eocene, Midway, Foraminifera from Soldado Rock, Trinidad*. Contr. Cushman Lab. Foram. Res., vol. 18, pp. 1-14, 1-3 láms.
- CHUBB, L. J. 1956. *Rudist assemblages of the Antillean Upper Cretaceous*. Bull. American Paleont., vol. 37, no. 161, 23 pp.
- DARTON, N. H. 1926. *Geology of Guantánamo Basin, Cuba*. Jour. Washington Acad. Sci., vol. 16, pp. 324-333, 5 figs.
- DE GOLYER, E. L. 1918. *The geology of Cuban petroleum deposits*. Bull. American Assoc. Petrol. Geol., vol. 2, pp. 133-167.
- DICKERSON, R. E. and BUTT, W. H. 1935. *Cuban Jurassic*. Bull. American Assoc. Petrol. Geol., vol. 19, pp. 116-118.
- EAMES, F. E., BANNER, F. T., BLOW, W. H., CLARKE, W. J. and COX, L. R. 1962. *Fundamentals of Mid-Tertiary Stratigraphical Correlation*. Cambridge Univ. Press, London; 163 pp., 20 figs., 17 láms.
- FLINT, D. E., ALBEAR, J. F. DE and GUILD, P. W. 1948. *Geology and chromite deposits of Camagüey district, Camagüey province, Cuba*. U.S. Geol. Surv. Bull. 954 B, pp. 39-63, láms. 18, 19, figs. 1-3.

- GARRETT, J. B. 1938. *The Hackberry Assemblage. An interesting foraminiferal fauna of post-Vicksburg age from deep wells in the Gulf Coast.* Jour. Paleont., vol. 12, no. 4, pp. 309-317, lám. 40, 2 figs. texto.
- GRAVELL, D. W. and HANNA, M. A. 1937. *The Lepidocyclina texana horizon in the Heterostegina zone, Upper Oligocene, of Texas and Louisiana.* Jour. Paleont., vol. 11, pp. 517-529, láms. 60-65.
- 1938. *Subsurface Tertiary zones of correlation through Mississippi, Alabama, and Florida.* Bull. American Assoc. Petrol. Geol., vol. 22, pp. 984-1013, 7 láms. 5 figs.
- HADLEY, W. H., JR. 1934. *Some Tertiary Foraminifera from the North Coast of Cuba.* Bull. American Paleont. vol. 20, no. 70-A, pp. 1-40, láms. 1-5.
- HAYES, C. W., VAUGHAN, T. W. and SPENCER, A. C. 1901. *Report on a geological reconnaissance of Cuba.* Washington Gov. Print., pp. 1-123. (Traducido al español en 1917 y 1918 por la Secretaría de Agricultura de Cuba.)
- HERRERA, N. M. 1961. *Contribución a la Estratigrafía de la provincia de Pinar del Río.* Rev. Soc. Cubana Ing., nos. 1-2.
- HESS, H. H. and MAXWELL, J. C. 1953. *Caribbean research project.* Bull. Geol. Soc. America, vol. 64, no. 1, pp. 1-6, 2 figs.
- HILL, R. T. 1894. *Notes on the Tertiary and later history of the island of Cuba.* American Jour. Sci. (3), vol. 48, pp. 196-212.
- 1895. *Notes on the geology of the island of Cuba based upon a reconnaissance made for Alexander Agassiz.* Bull. Mus. Comp. Zool., Harvard Coll., vol. 16, no. 15, pp. 243-288, láms. 1-9.
- HUMBOLDT, A. DE. 1826a. *Voyage aux régions équinoxiales du Nouveau Continent fait en 1799, 1800, 1801, 1802, 1803 et 1804.* Tomo 11, en 8o., 416 pp. (Paris).
- 1826b. *Essai politique sur l'île de Cuba.* Tomo I (XLVI, 364 pp., 1 carta); tomo II, 408 pp., Paris.
- IMLAY, R. W. 1942. *Late Jurassic fossils from Cuba and their economic significance.* Bull. Geol. Soc. America, vol. 53, no. 10, pp. 1417-1478, 12 láms. 4 figs.
- 1944a. *Cretaceous formations of Central America and México.* Bull. American Assoc. Petrol. Geol., vol. 28, no. 8, pp. 1077-1195, 16 figs.
- 1944b. *Correlation of the Cretaceous formations of the Greater Antilles, Central America and México.* Bull. Geol. Soc. America, vol. 55, no. 8, pp. 1005-1046, 1 fig., 2 láms., 1 carta.
- 1952. *Correlation of the Jurassic formations of North America, exclusive of Canada.* Bull. Geol. Soc. America, vol. 63, no. 9, pp. 953-992, 4 figs., 2 tablas.
- JACKSON, R. T. 1922. *Fossil Echini of the West Indies.* Carnegie Inst. Washington, Publ. 306, pp. 1-103, 18 láms.
- JAUME, M. L. y PÉREZ FARFANTE, I. 1942. *Moluscos Pleistocénicos de la zona franca de Matanzas, Cuba.* Mem. Soc. Cubana Hist. Nat., vol. 16, pp. 37-44.
- KEIJZER, F. G. 1945. *Outline of the geology of the eastern part of the Oriente province, Cuba (E. of 76° WL) with notes on the geology of other parts of the Island.* Geogr. Geol. Mededeel. (Utrecht) Phys. Geol. Reeks, ser. 2, no. 6, pp. 239, 34 figs., 12 láms.
- KEMP, J. F. 1915. *The Geology of the iron-ore deposits in and near Daiquirí, Cuba.* Trans. American Inst. Min. Eng., vol. 53, p. 11.
- KROMMELBEIN, K. 1960. *Los primeros fósiles marinos (Trigoniidae, Lamellibr.) procedentes de la formación Cayetano del oeste de Cuba.* Mem. Soc. Cubana Hist. Nat., vol. 25, no. 1, pp. 43-47.
- LEWIS, G. E. y STRACZEK, J. A. 1955. *Geology of South-Central Oriente, Cuba.* U.S. Geol. Surv. Washington Bull. no. 975, D, pp. 171-336, 43 figs., mapas, 2 tablas.
- LEWIS, J. W. 1932a. *Geology of Cuba.* Bull. American Assoc. Petrol. Geol., vol. 16, no. 6, pp. 533-555, 1 fig., mapa geológico.
- 1932b. *Probable age of Aptychus-bearing formations of Cuba.* Bull. American Assoc. Petrol. Geol., vol. 16, pp. 943-944.
- LINDGREN, W. and ROSS, C. P. 1915. *The iron deposits of Daiquirí, Cuba.* Trans. American Inst. Min. Eng., vol. 53, pp. 40-46.
- MAC GILLAVRY, H. J. 1937. *Geology of the province of Camagüey, Cuba, with revisional studies in rudist paleontology.* Geol. Geogr. Mededeel (Utrecht). Phys. Geol. Reeks, no. 14, 169 pp., 10 láms.
- MARRERO, L. y COMAS, E. 1951. *Geografía de Cuba.* La Habana. 736 pp.
- MEINZER, O. E. 1933. *Geologic reconnaissance of a region adjacent to Guantánamo Bay, Cuba.* Jour. Washington Acad. Sci., vol. 23, no. 5, pp. 246-260 (Apéndice por T. W. Vaughan, pp. 261-263).
- 1955. *The ages of the serpentized peridotites of the West Indies.* Kon. Akad. Wetensch. Amsterdam (ser. B), no. 3, pp. 194-212, 1 fig.
- MITCHELL, R. C. 1953. *New data regarding the dioritic rocks of the West Indies.* Geol. Mijnb. (n.s.), (15), pp. 285-295, 1 tabla, 1 mapa.
- 1955. *The ages of the serpentized peridotites of the West Indies.* Kon. Akad. Wetensch. Amsterdam (ser. B), no. 3, pp. 194-212, 1 fig.
- O'CONNELL, M. 1920. *The Jurassic ammonite fauna of Cuba.* Bull. American Mus. Nat. Hist., vol. 42, pp. 643-692, láms. 34-38, 8 figs.
- PALMER, D. K. and BERMÚDEZ, P. J. 1936a. *Late Tertiary foraminifera from the Matanzas Bay region, Cuba.* Mem. Soc. Cubana Hist. Nat., vol. 9, pp. 237-257, láms. 20-22.
- 1936b. *Oligocene foraminiferal fauna from Cuba.* Mem. Soc. Cubana Hist. Nat., vol. 10, pp. 227-271, 273-316, láms. 13-20.
- PALMER, R. H. 1934. *The Geology of Havana, Cuba, and vicinity.* Jour. Geol., vol. 42, pp. 123-145, 6 figs., 1 mapa.
- 1938. *Field guide to geological excursion in Cuba.* Secret. Agric. Cuba, Habana, 20 pp.
- 1945. *Outline of the Geology of Cuba.* Jour. Geol., vol. 53, no. 1, pp. 1-34, 6 figs.
- RICHARDS, H. 1935. *Pleistocene mollusks from western Cuba.* Jour. Paleont., vol. 9, pp. 253-258, lám. 25.
- ROESSLER, M. 1916. *Geology of the iron-ore deposits of the Firmeza district, Oriente province, Cuba.* Trans. American Inst. Min. Eng., vol. 56, pp. 77-127.
- RUTTEN, L. 1933. *Algunos resultados de las investigaciones geológicas de la Comisión Científica Holandesa en Cuba.* Rev. Soc. Geogr. Cuba, año VI, no. 3, pp. 47-52.
- 1934. *Geology of Isla de Pinos, Cuba.* Proc. Kon. Akad. Wetensch. Amsterdam, vol. 37, no. 7, pp. 401-406, 1 mapa.
- 1939. *The age of the quartzdioritic and granodioritic rocks of the West Indies.* Geol. Mijnb., no. 5, pp. 128-133.
- 1940. *On the age of the serpentines of Cuba.* Proc. Kon. Akad. Wetensch. Amsterdam, vol. 43, pp. 542-547.
- RUTTEN, M. G. 1936a. *Geology of the northern part of the province Santa Clara (Las Villas), Cuba.* Geogr. Geol. Mededeel (Utrecht), Phys. Geol. Reeks, no. 11, pp. 1-60, 12 figs., 3 láms.
- 1936b. *Rudistids from the Cretaceous of Northern Santa Clara (Las Villas) province, Cuba.* Jour. Paleont., vol. 10, pp. 134-142, 4 figs.
- RENZ, H. H. 1948. *Stratigraphy and fauna of the Agua Salada group State of Falcón, Venezuela.* Mem. Geol. Soc. America, 32, pp. 1-219, láms. 1-12.
- SAGHS, K. N., JR. 1937. *Restudy of some Cuban larger foraminifera.* Contr. Cushman Found. Foram. Res., vol. 8, pp. 106-120, láms. 14-17, 3 figs. texto, 13 tablas.
- SALTERAÍN, P. 1880. *Apuntes para una descripción físico-geológica de las jurisdicciones de La Habana y Guanabacoa (Isla de Cuba).* Bol. Com. Mapa Geol. España, tomo VII, pp. 161 (1)—225—(65), 7 figs. texto, 1 mapa.
- SÁNCHEZ ROIG, M. 1920a. *Fósiles del Mioceno de La Habana.* Revista de Minas, no. 6, Habana.
- 1920b. *La fauna jurásica de Viñales.* Secr. Agricultura, Bol. Especial, 61 pp., 23 láms.
- 1926. *Los equinodermos fósiles de Cuba.* Bol. de Minas, vol. 10, 143 pp., 43 láms.
- 1949. *Paleontología cubana. Los equinodermos fósiles de Cuba.* Rev. Soc. Cubana Ing., vol. 48, no. 3, pp. 3-302, 50 láms.
- 1951. *La fauna jurásica de Viñales.* Anales Acad. Cienc. Méd. Fis. Nat. La Habana, vol. 29, fasc. 2, pp. 46-94, 28 láms.
- SCHUCHERT, CH. 1935. *Historical geology of the Antillean Caribbean region.* New York, 811 pp., 16 láms., 17 figs.
- SEIGLIE, G. A. 1961. *Contribución al estudio de las microfácies de Pinar del Río.* Rev. Soc. Cubana Ing., nos. 3-4.
- SINGEWALD, J. T. JR., and MILLER, B. L. 1916. *The genesis and relations of the Daiquirí and Firmeza iron-ore deposits, Cuba.* Trans. American Inst. Min. Eng., vol. 53, p. 74.

SPATH, L. F. 1927-1933. *Revision of the Jurassic cephalopod fauna of Kachh (Cutch)*. Paleontologia Indica (n.s.), vol. 9, 945 pp., 130 láms.

SPENCER, J. W. 1894a. *Reconstruction of Antillean continent*. Bull. Geol. Soc. America, vol. 6 (1894-1895), pp. 103-140, 1 lám.

—1894b. *The Yumuri valley of Cuba. A rock-basin*. Geol. Mag. (n.s., dec. IV), vol. 1, pp. 449-502, 3 figs.

—1895. *Geographical evolution of Cuba*. Bull. Geol. Soc. America, vol. 7, pp. 67-94, 13 figs.

TABER, S. 1931a. *The structure of the Sierra Maestra near Santiago de Cuba*. Jour. Geol., vol. 39, no. 6, pp. 532-557, 16 figs.

—1931b. *The problem of the Bartlett Trough*. Jour. Geol., vol. 39, no. 6, pp. 558-563, 1 fig.

—1934. *Sierra Maestra of Cuba, part of the northern rim of the Bartlett Trough*. Bull. Geol. Soc. America, vol. 45, pp. 567-620, 4 figs., láms. 57-85.

THAYER, T. P. and GUILD, P. W. 1947. *Thrust faults and related structures in eastern Cuba*. American Geoph. Un. Trans., vol. 28, no. 6, pp. 919-930, 10 figs.

THIADENS, A. A. 1936. *Rudistids from southern Santa Clara (Las Villas), Cuba*. Proc. Kon. Wetensch. Amsterdam, vol. 39, pp. 1010-1019, 3 figs., 1 lám.

—1937a. *Geology of the southern part of the province Santa Clara (Las Villas), Cuba*. Geogr. Geol. Mededeel. Phys. Geol. Reeks, no. 12, pp. 1-69, 3 láms.

—1937b. *Cretaceous and Tertiary foraminifera from southern Santa Clara (Las Villas) province, Cuba*. Jour. Paleontology, vol. 11, no. 2, pp. 91-109, láms. 16-19, figs. 1-3.

TRAUTH, F. 1935. *Ueber Aptychenfunde auf Cuba*. Proc. Kon. Akad. Wetensch. Amsterdam. Sec. Sci., vol. 39, no. 1, pp. 66-76.

VAUGHAN, T. W. 1919a. *Fossil corals from Central America, Cuba and Porto Rico, with an account of the American Tertiary, Pleistocene and Recent coral reefs*. U.S. Nat. Mus., Bull. 103, pp. 189-524, láms. 68-152.

—1919b. *The biologic character and geologic correlation of the sedimentary formation of Panama in their relation to the geologic history of Central America and West Indies*. U.S. Nat. Mus., Bull. 103, pp. 547-612, 1 tabla.

—1918. *Correlation of the Tertiary geologic formations of the Southeastern United States, Central America and the West Indies*. Jour. Washington Acad. Sci., vol. 8, pp. 258-276.

—1922. *Stratigraphic Significance of the species of the West Indies fossil echini*. Carnegie Inst. Washington Publ. 306, pp. 107-122.

—1933. *Studies of American species of foraminifera of the genus Lepidocyclina*. Smithsonian Misc. Coll. 89, no. 10, pp. 1-53, láms. 1-32.

—1945. *American Paleocene and Eocene larger Foraminifera*. Geol. Soc. America, Mem. 9, Pt. 1, 175 pp., láms. 2-46, 11 figs., 9 tablas, 1 mapa.

VAUGHAN, T. W. and COLE, W. S. 1941. *Preliminary report on the Cretaceous and Tertiary larger foraminifera Trinidad*. B.W.I. Geol. Soc. America, Special Papers, no. 30, pp. 1-137, láms. 1-45.

VERMUNT, L. W. J. 1937a. *Cretaceous Rudistids of Pinar del Río province, Cuba*. Jour. Paleont., vol. 11, no. 4, pp. 261-275, 3 figs., láms. 36-37.

—1937b. *Geology of the province of Pinar del Río, Cuba*. Geogr. Geol. Mededeel. Phys. Geol. Reeks, no. 13, pp. 1-60, 1 lám., 2 mapas.

WEYL, R. 1950. *Die geologische Geschichte des Antillen-Bogens unter besonderer Berücksichtigung der Cordillera Central von Santo Domingo*. N. Jahrb., Geol. Pal. Abh., pp. 137-242, 13 figs., 7 tablas.

WILSON, D., SANDO, W. J. and KOPF, R. W. 1957. *Geologic names of North America introduced in 1936-1955*. U.S. Geol. Surv. Bull. 1056 A., 405 pp.

WOODRING, W. P. 1923. *Tertiary mollusks of the genus Orthaulax from the Republic of Haiti, Porto Rico and Cuba*. Proc. U.S. Nat. Mus., vol. 64, art. 1, pp. 1-12, láms. 1-2.

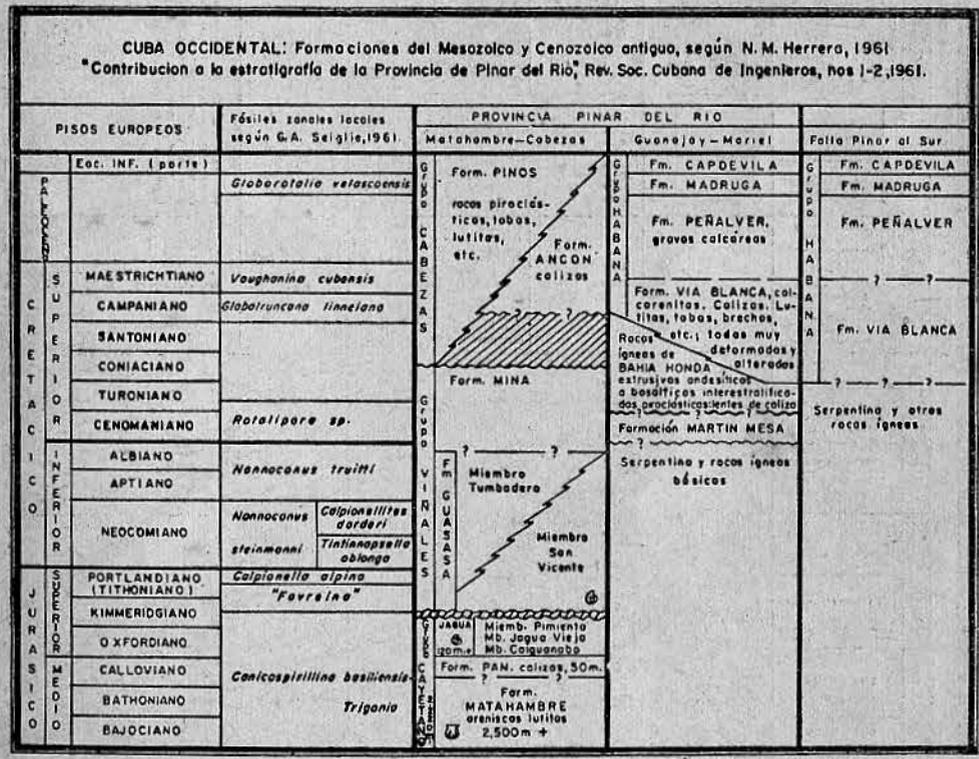
—1928. *Miocene Mollusks from Bowden, Jamaica*. Pt. 2, Carnegie Inst. Washington, Publ. no. 385, 564 pp., 40 láms.

—1954. *Caribbean land and sea through the ages*. Bull. Geol. Soc. America, vol. 65, no. 8, pp. 719-732, 3 figs., 1 lám.

WOODRING, W. P. and DAVIESS, S. N. 1944. *Geology and manganese deposits of Guisa, Los Negros area, Oriente province, Cuba*. U.S. Geol. Surv. Bull. 935-G, pp. 357-386, 20 figs., mapa.

## SUMMARY

The stratigraphic units of Cuba are described from Jurassic up to Pleistocene, giving relations of the characteristic fauna and lithology of the different formations. Also there is included a description of the Cretaceous igneous bodies and the Eocene volcanic activity. Two charts of correlation accompany the text: the first one covers the Cenozoic and the second one the Mesozoic formations of Pinar del Río province, based on data obtained from the Cuban geological literature.



Complada y dibujada por F. de Rivera, 1963  
 Univ. Central de Venezuela.

sición, pero por el hundimiento del eje, las calizas miocénicas duras de la formación Güines afloran extensamente en la región central.

(2) Al sur y al este de la zona plegada anterior, se encuentran llanuras que Butterlin llama la **llanura roja de Habana-Matanzas**, por el color de los suelos, derivados de la alteración de la caliza miocénica de Güines, que son los más productivos de la isla. La topografía es cárstica, con considerable drenaje subterráneo y numerosas dolinas. Topográficamente es una llanura baja con altura promedio de 15 metros y es una continuación de la llanura costera de la provincia de Pinar del Río, con la diferencia de que ésta se desarrolla sobre rocas del Eoceno y Oligoceno.

En la provincia de Las Villas (antes Santa Clara), Butterlin, siguiendo a Marrero (1951), distingue las regiones siguientes: la región costera de Zapata, las sabanas de Manacas, las montañas de Trinidad, la llanura de Cienfuegos, la región central de Las Villas y la región septentrional de la provincia.

La **región costera de Zapata** está formada por la península del mismo nombre, constituida por calizas pleistocenas y por una llanura baja y cenagosa que se prolonga hacia el este sobre una distancia de 160 km con una anchura máxima de 65 km y que es soportada por la caliza de Güines. En el mapa de Las Antillas de la "National Geographic Society", 1954, esta llanura se divide en la Ciénaga Occidental y la Oriental de Zapata.

Las **sabanas interiores de Manacas o de Santo Domingo** se extienden en las regiones axiales de las provincias de Matanzas y Las Villas a la vez, siendo zonas bajas cuya altura no pasa de 50 metros.

La **llanura de Cienfuegos** se presenta en la parte sur de la provincia y corresponde a la vez a la prolongación de la Llanura Roja y a los alrededores de las montañas de Trinidad, aumentando en altura hacia dichas sierras, llegando a 300 metros de altura al pie de la sierra de San Juan.

Las **montañas de Trinidad** forman una cadena en la costa meridional que se extienden sobre 80 km en el sentido este-oeste, con una anchura de 35 km. Están formadas por tres sierras, de oeste a este: la **Sierra de San Juan**, que llega a 1.156 metros de altura; la de **Trinidad** (1.017 metros en el Pico de Potrerillo); y la de **Sancti-Spiritus** (850 metros en la Sierra de Banao). Esta última está separada del mar por una depresión costera, la llanura o valle de Trinidad. El relieve de las montañas de Trinidad es muy acentuado y la **fosa de Jagua** que representa la prolongación submarina de ellas, corresponde a una de las dos regiones de la cuenca de Yucatán donde la plataforma continental es muy estrecha. La estructura de las montañas es muy compleja. Las rocas son principalmente metamórficas (Esquistos de Trinidad).

La **región central de Las Villas** está delimitada, al sur por las montañas de Trinidad y al norte por la llamada "Cordillera". Esta región central está sostenida en gran parte por dioritas cuarcíferas y por serpentinas, lo que le dan un relieve accidentado de numerosas colinas (100 a 300 metros de altura), especialmente en las zonas serpentinosas.

La **región septentrional de Las Villas** está constituida por la llamada Cordillera, una serie de elevaciones de dirección NO-SE, limitada al norte

por una estrecha llanura costera. Esta región de la cordillera es un anticlinorio complejo, con pliegues volcados y hasta corrimientos, hacia el norte. En la parte central del anticlinorio afloran rocas cretácicas con muchas intrusiones de serpentinas. Hablando en términos del relieve, esta "cordillera" ha sido reducida por la erosión a lomas relativamente bajas, aunque las crestas orientales, las más elevadas, llegan a 500 metros en la Sierra de Jatibonico. Estas crestas orientales se separan de las occidentales por una parte más baja sembrada de "mogotes".

**Provincia de Camagüey.** Las principales subdivisiones naturales son: la llanura de La Trocha, la región meridional de Camagüey, la región central de Camagüey-Tunas-Holguín, y la región norte. Las dos últimas subdivisiones se prolongan dentro de la parte noroccidental de la provincia de Oriente.

La **llanura de La Trocha** forma la parte occidental de Camagüey desde la costa norte hasta la del sur. Es una llanura poco accidentada, sostenida por las calizas rojas de Güines, de modo que según Palmer se podría considerar como una prolongación de la "Llanura roja" de Habana-Matanzas, más allá de la interrupción de las montañas de Trinidad. El drenaje superficial, sin embargo, está mejor desarrollado aquí.

La **región meridional de Camagüey** representa la prolongación de la llanura antecedente hacia el SE, siendo una llanura costera extensa, ondulada en la parte interna y que se levanta progresivamente de oeste a este, llegando a formar unos cerros, el grupo de Najasa, al norte del valle del río Cauto (en la provincia de Oriente).

La **llanura de Camagüey-Tunas-Holguín** continúa sin interrupción desde Camagüey dentro de la provincia de Oriente, donde se encuentran las poblaciones de Victoria de las Tunas y Holguín. Esta región se describe como una peniplanicie ondulada, del tipo sabana, con algunas cadenas montañosas, especialmente en el noroeste de Oriente (Cerros de Maniabón). Su parte central, formada sobre serpentinas, es deprimida, bordeada por cerros formados de calizas, que frecuentemente pasan de 300 metros de altura.

La **región septentrional** comprende una llanura costera, con un ligero declive hacia el mar y llegando hasta 50 metros de anchura. Esta llanura está separada de la región central por las sierras de Cubitas al noroeste y de Camaján al sureste. Estas sierras presentan en general una disposición en arco convexo hacia el sur y según Butterlin, están formadas de calizas jurásicas y cretácicas. Llegan a una altura máxima de 295 metros en la loma Tuabaquey de la Sierra de Cubitas. Estas cadenas están limitadas al sur por escarpados de fallas y bajan más regularmente en altura hacia el norte.

Continuando con las demás regiones de la provincia de Oriente, tenemos la **llanura del Cauto** que se extiende al este del Golfo de Guacanayabo y que corresponde a los valles de los ríos Salado y Cauto. Es una depresión sinclinal, que separa las alturas de Holguín al norte, de la sierra de El Turquino (parte de la Sierra Maestra) al sur. Es una región de muy poco relieve, cenagosa en la vecindad del mar.

La **región de Nipe** se extiende al oeste y sur de la Bahía de Nipe, la que forma una profunda escotadura en la costa nororiental de la provincia

CUBA: CENOZOICO

Tabla de correlación compilada por F. de Rivero, 1963

		OCCIDENTE (Prov. Pinar del Río)	CENTRO (principalmente Habana-Matanzas)	ORIENTE (Prov. Oriente)
PLEISTOCENO		Terrazas (al menos 4 niveles), calizas coralinas (p.ej. JAIMANITAS), depósitos de cavernas con memiteras, etc.		
PLIOCENO		MATANZAS, calizas y margas, 60 m., foraminíferos ?		
PLIOCENO o MIOCENO SUR		EL ABRA, areniscas y conglomerados con <i>Pecten piffieri</i> en Yumuri (Matanzas), 50 m. (?) PUNTA MAÍSI, calizas y margas que forman terrazas, edad dudosa, quizás pleistoceno		
MIOCENO MEDIO		CANIMAR, caliza margosa en Prov. Matanzas con <i>Gyaxina plaris</i> , <i>Amphistegina guabonensis</i> ?		
MIOCENO MEDIO		PASO REAL 300 m. + <i>Gir. mayeri</i> <i>f. robusta</i> <i>f. lobata</i> <i>f. foysi</i> <i>f. borinmensis</i> <i>Globobulimina insueta</i>	COJIMAR margas calcáreas de color claro 35 m. +	Zona de <i>Uvigerina cubana</i> margas compactas amarillentas en limbo de <i>Volutinaria harricki</i> , <i>Globobulimina foysi</i> , <i>robusta</i> , etc. Miembro LIMONAR zona de <i>Siphogenerina ameliae</i> , 30 m. de margas blancas macizas con <i>Gir. foysi</i> , <i>foysi</i> Zona de <i>Siphogenerina transversa</i> , margas de color crema
MIOCENO SUPERIOR		<i>Catapsydra staintonii</i> <i>Catapsydra dissimilis</i> <i>Globobulimina lugleri</i> <i>Globobulimina ciparonsis</i> <i>Globobulimina opima opima</i> <i>Globobulimina ampliapertura</i>	TARARA (Habana) margas blancas amarillentas de aguas someras, con rica microfauuna de foraminíferos incluyendo <i>Lepidocyclina</i> y <i>Megastoma uruguayensis</i> , etc.	JARUCO (Habana) margas blancas o cremosas con rica microfauuna de foraminíferos <i>Globobulimina dissimilis</i> , <i>Siphogenerina transversa</i> , <i>uruguayensis</i> , etc. COLÓN (Matanzas) conglomerados calcáreos y areniscas calcáreas con <i>Heterostegina antillarum</i> , <i>Megastoma uruguayensis</i> , <i>irregularis</i> , <i>ultrama</i> , <i>Lepidocyclina staintonii</i> , etc.
MIOCENO SUPERIOR		Equivalentes de Tinguaro	TINGUARO margas hasta 460 m	Miembro ADELINA 185 m. marga, amarilla rica en foraminíferos, p.ej. <i>Globobulimina ciparonsis</i> , <i>angustifurcata</i> , <i>G. rohrri</i> , etc. Miembro ALAVA, 242 m. marga blanca foraminifera con <i>Globobulimina ampliapertura</i> . En facies somera. <i>Lepidocyclina (Lepidocyclina) foysi</i> , <i>L. bigot</i>
MIOCENO SUPERIOR		CONSUELO	CONSUELO, margas blancas cremosas, espesor ? con <i>Globobulimina ciparonsis</i> , <i>Heterostegina cubensis</i> , <i>Anomalina dorri</i> .	GUANTANAMO, lutitas blancas grises, 1220 m.
EOCENO SUPERIOR		(Equivalentes de AVON PARK de Florida)	JABACO, margas amarillentas con esbozo de <i>Discoeyclina</i> , <i>Lithothamnium floridanum</i> , <i>Cassinella floridana</i> , <i>Dicryocanus americanus</i> , etc. <i>Fabosites cubensis</i> , <i>Gunteria floridana</i>	San Luis, margas, Conglom. CAMARONES, arcillas y algunos conglomerados y calizas 475 m. alta 700 m. con <i>Lepidocyclina australis</i> , <i>L. guineensis</i> , <i>L. guineensis</i> , <i>Globobulimina carolinensis</i> , <i>Gir. centralis</i> , <i>Particulocyclina</i> , etc.
EOCENO MEDIO		(Equivalentes de LAKE CITY de Florida)	LOMA CAÑDELA (Pinar del Río, Matanzas), conglomerados, arenas, margas, incluye fauna de Peñón con macroforaminíferos: <i>Dicryocanus americanus</i> , <i>D. cooperi</i> , <i>Gunteria floridana</i> , <i>Fabosites cubensis</i> , <i>Asterocyclina monchellensis</i> , <i>Ecocauloides walli</i> , <i>Amphistegina lapetrugii</i> , <i>Pseudophragmina (Pseudocyclina) cushmani</i> , <i>Discoeyclina marginata</i> , etc.	CAJALICHO, en región de Guantánamo, calizas macizas varios centenas de metros en espesor. Contienen <i>Dicryocanus americanus</i> , <i>Lepidocyclina australis</i> , <i>Asterocyclina</i> , <i>Amphistegina lapetrugii</i> , etc.
EOCENO MEDIO		(Correlacionado con ARAGON de México)	UNIVERSIDAD (Habana, Pinar del Río, Matanzas) 30-130 m. margas blancas foraminíferas <i>Heterostegina</i> , <i>Globobulimina argentinensis</i> , <i>T. spinulosa</i> , <i>Globobulimina orbiformis</i> , <i>Anomalina dorri</i> , <i>argentinensis</i> , <i>Plectrotaenocyclina palmerae</i> , etc.	COBRE, 4.500-6.000 m. tobas, brechas y conglomerados andesíticos, calizas tobas, margas grises con radiolarios, etc.
EOCENO MEDIO		<i>Globobulimina palmerae</i>	CARDEVILA (Habana) 300 m. de lutitas coloradas y areniscas fino de color achocolado con foraminíferos. <i>Globobulimina palmerae</i> , <i>Gir. cardevilensis</i> , <i>Loxostomum apolineae</i> , <i>Angulogerina naranjensis</i> , etc.	<i>Globobulimina argentinensis</i>
EOCENO MEDIO		<i>Globobulimina rex</i>	(?) Conglomerados Lutitas, probablemente corresponden al Eoceno medio (Loma Cañeida)	Foraminíferos en diferentes niveles indican que la edad va desde el Cretácico Superior hasta Paleoceno y Escano inferior (según algunos autores hasta Eoceno medio).
EOCENO MEDIO		MADRUGA (Habana, Pinar del Río) 200 m. + lutitas achocoladas con alguna arena, microfauuna muy rica. <i>Operculinoides bermudezi</i> , <i>Globobulimina acuta</i> , <i>Gir. cf. vinasensis</i> , <i>Baldia cubensis</i> , <i>Discoeyclina midwayensis</i> , <i>toledoensis</i> , etc.	REMEDIOS, calizas duras opaceladas en Las Villas y Comagay, hasta 200 m., con especies de <i>Borelis</i>	<i>Globobulimina vinasensis</i>
EOCENO MEDIO			(No ha sido identificado)	<i>Discoeyclina crassa</i> , <i>D. cubensis</i> y <i>Asterocyclina subtoramelli</i> en nivel no identificado.

INDICE

★ Investigaciones mineralógico - petrográfica de rocas arcillosas en la localidad de Rodas (Provincia de Las Villas)

ING. FRANTIŠEK ČECH C. SC. y  
ING. EDUARD MARTINY . . . . . 1

★ Consideraciones generales sobre la Estratigrafía de Cuba

FRANCES CHARLTON DE RIVERO. . . . . 25

de Oriente. Comprende varias subregiones: 1) una llanura costera que se extiende al oeste de la bahía y que corresponde a los valles bajos de los ríos Nipe y Tacajó, siendo llamada también esta región la cuenca de Santa Isabel de Nipe. Esta región representa la prolongación hacia el noreste de la depresión sinclinal del Cauto. 2) La sierra de Nipe se extiende al sur de la bahía. Tiene una estructura general de cúpula, dominada por varios picos de los cuales el más elevado es el de Mensura, 960 metros. Los varios macizos están separados por valles profundos. La parte sureste de la sierra se llama la Sierra de Cristal. La sierra está desarrollada principalmente en serpentinas. 3) Al norte de la Sierra de Nipe, hay una estrecha llanura costera que deriva su nombre del río Mayarí.

La parte más oriental de la provincia y de Cuba ha sido llamada la **región de Baracoa** y tiene una forma triangular con la base en el sentido norte-sur. En su parte norteña, tenemos hacia el oeste la **Sierra de Cristal**, mencionada arriba, que representa la prolongación hacia el este de la Sierra de Nipe, separada de ésta por el valle del río Mayarí. Ambas sierras se componen de serpentinas. La altura máxima de la Sierra de Cristal es de 1.215 metros. Más hacia el este, se hallan las sierras llamadas las **Cuchillas de Toa** (y de Pinar, según Marrero), resultantes de la disección profunda de serpentinas, dando sierras muy empinadas. Estas dos cadenas tienen una estrecha llanura costera hacia el Atlántico. Al sur del **valle del Toa**, se presenta la **Sierra de El Purial**, que se prolonga hasta la vecindad de Punta Maisí. Está formada por rocas metamórficas de edad incierta ("complejo basal"). El relieve es complejo, con crestas agudas y valles profundos, y toda la región cubierta de selvas, de modo que ha sido poco explorada. En la región de Punta Maisí, que forma la extremidad oriental de la isla, hay numerosas terrazas marinas. Marrero ha identificado siete, de los cuales se supone que las tres superiores (480 metros la más alta) serán del Plioceno y las cuatro inferiores del Pleistoceno. Taber (1934) usó el nombre, caliza de Punta Maisí para las calizas y margas de las terrazas.

El **valle central** es una larga depresión sinclinal interior, que une el valle superior del río Cauto a la cuenca de Guantánamo, separando las sierras de Nipe y de Cristal de las cadenas más norteñas de la Sierra Maestra. Según el mapa geológico, este valle está desarrollado en las mismas rocas paleocenas-cocenas de la Sierra Maestra. Tiene un relieve ondulado, con altura promedio entre 100 y 300 metros, o llegando a exceder esta cifra en la parte oriental.

La **cuenca costera de Guantánamo** rodea la bahía del mismo nombre, con una longitud de 40 kilómetros en el sentido norte-sur y una anchura máxima de 24 kilómetros. Está limitado al norte por la Sierra del Guaso, al este por la Sierra de Maquey, y al oeste por las cadenas más orientales de la Sierra Maestra. La cuenca comunica por los valles de los ríos Jaibo y Guantánamo, con el valle central. Es una cuenca sinclinal, de relieve poco acentuado. Los estratos más antiguos de la cuenca corresponden al Eoceno Medio (Caliza de Guaso) seguido por el Eoceno Superior y una serie en que va englobado Oligoceno y Mioceno (Serie de Maquey).

La **Sierra Maestra** es la más meridional y la mayor de las cadenas cubanas, pero su estructura está muy poco estudiada. La sierra está alargada en el sentido este-oeste, con una pendiente escarpada frente al mar, con frecuencia

interrumpida por terrazas marinas, las que debido a la erosión no se pueden seguir sobre mucha distancia. La pendiente por el lado norte es más suave. Según Taber (1934), el único que ha intentado un estudio regional de la sierra, se trata de una serie de cadenas escalonadas (**en echelón**). Hacia el oeste, está la **Sierra de El Turquino** que se extiende sobre 100 kilómetros desde Cabo Cruz hasta la bahía de Santiago, con una anchura que varía entre 8 y 30 kilómetros. Su punto más elevado, el Pico Turquino, llega a 2.005 metros. La ladera septentrional, más suave, presenta una topografía cárstica típica. Al este de la bahía de Santiago, la **cadena de la Gran Piedra** se extiende casi hasta la cuenca de Guantánamo o sea sobre una longitud de 35 kilómetros, alcanzando una altura máxima de 1.250 metros, estando separada de la costa por una línea de colinas bajas. Al norte de Santiago se extiende la **Sierra de Boniato**, paralela a la cadena de la Gran Piedra, cuya altura promedio es alrededor de 460 metros. Está separada de la bahía de Santiago por la **Sierra de Puerto Pelado**, que tiene una pendiente meridional muy escarpada y que hacia el oeste termina contra la parte oriental de la sierra de El Turquino. Al norte de la sierra de la Gran Piedra, se extiende la **Sierra de Santa María de Loreto**, separada de aquella por el valle del río Baconao. Esta sierra forma una planicie de 21 kilómetros de lado y de 580 metros de altura máxima, cuyos acantilados verticales dominan el valle de Baconao.

## ESTRATIGRAFIA

### MESOZOICO

Bermúdez y Hoffstetter en el "Léxico Estratigráfico de Cuba" (1959) y más modernamente Bermúdez en "Las formaciones geológicas de Cuba" (1961) han presentado en forma resumida los principales datos sobre las formaciones. Muchos datos paleontológicos importantes fueron reunidos por Bermúdez (1950). Butterlin (1956) en su libro sobre la geología de Las Antillas, también ha hecho una reseña brillante. Hay que notar, sin embargo, que aunque hay abundantes datos micropaleontológicos sobre las formaciones cenozoicas, las relaciones estratigráficas de éstas y más aún de las formaciones más antiguas, están insuficientemente aclaradas, y faltan descripciones de secciones tipos, así como información sobre la edad y sobre la distribución geográfica de las formaciones. Especialmente en Oriente, las formaciones están muy inadecuadamente descritas y definidas.

El nombre poco definido de "**complejo basal**" ha sido aplicado por varios autores, especialmente Butterlin (1956), refiriéndose a varias series metamórficas e intrusiones asociadas, en varias regiones de Cuba. No hay evidencia directa sobre la edad (o las edades) representada (s) por estas rocas. Aunque las especulaciones varían desde la de Weyl (1950) de que se trata de rocas paleozoicas metamorfozadas por una orogénesis varisca, a la de Hess y Maxwell (1953) (según quienes se trata de rocas cretácicas metamorfozadas.

Tales rocas han sido reconocidas en cuatro áreas:

1) **La Isla de Pinos**, donde la serie metamórfica, estudiada por Hayes, Vaughan y Spencer (1901) y luego por L. Rutten (1934) comprende micacitas y cuarcitas llamadas, esquistos de Santa Fe, más calizas generalmente

marmorizadas (mármoles Gerona), las que parecen presentarse en la parte superior de la serie. Se mencionan anfibolitas y hasta gneiss. Según But-terlin, el metamorfismo es predominantemente del tipo mesozonal. L. Rutten estimó el espesor de la serie en más de 15.000 metros. No hay datos que permitan fechar el conjunto, que está cubierto en discordancia por el Cuaternario en el sur de la Isla.

2) **La Sierra de Trinidad**, en el sur de la provincia de Las Villas. Estas rocas metamórficas fueron llamadas la "formación de esquistos" ("schist formation" por Thiadens, (1937 a) y los Esquistos de Trinidad (Trinidad schists) por Palmer (1945). Se describen como esquistos calcáreos y micáceos con hornblenda, mármoles, algunos gneises, anfibolitas y esquistos con serpentina, constituyendo un conjunto en su mayor parte de tipo mesozonal, pero con algunos tipos epizonales (esquistos cloritosos, esquistos con serpentina) y catazonales (gneises). Thiadens estima el espesor en 11.700 metros en la vertiente norte y 7.100 metros en la vertiente sur de la Sierra. Thiadens pensaba que la edad correspondería al Jurásico Superior y Cretácico Inferior, comparando la serie con la "serie de San Andrés" (= grupos Cayetano más Viñales, vea más adelante), que está mucho menos metamorfizada. En contraste Weyl (1950) compara la serie con los esquistos con serpentina y esquistos cloritosos de la República Dominicana, que derivaría de un metamorfismo regresivo y que se refiere a una orogénesis varisca.

3) **Camagüey Central**. En la región de la ciudad de Camagüey, Flint, de Alber y Guild (1948, p. 43) mencionan "rocas del basamento" constituidas por filitas, corneanas y tactitas (calizas mineralizadas) que resultan de un metamorfismo de contacto producido por rocas dioríticas (luego frecuentemente transformadas en gneises); este metamorfismo sería anterior a la intrusión de rocas ultrabásicas serpentinizadas, halladas en contacto con aquellas. El conjunto es anterior a una serie de rocas volcánicas con algunas calizas con rudistas intercaladas, la "serie de Tobas" de Thiadens (1937 a) y la que corresponde al Cretácico Superior al menos, aunque Flint, de Alber y Guild admitirían que la base podría ser Cretácico Inferior. La serie metamórfica, por lo tanto, podría ser jurásica.

4) **Este de la Provincia de Oriente**. Una zona considerable de rocas metamórfica se representa aquí, las que corresponden al "complejo basal" de Taber (1934 p. 575). Según Keijzer (1945 p. 217) las rocas más antiguas son esquistos micáceos y esquistos cloritosos interestratificados con calizas micáceas recristalizadas, en bancos gruesos. El conjunto está penetrado por rocas graníticas y rocas básicas oscuras. Meinzer (1933) describe un pequeño afloramiento de rocas metamórficas al este de la entrada de la bahía de Guantánamo; pizarras negras, esquistos y calizas. Taber incluía en su "complejo basal" algunas rocas intrusivas (ahora serpentinas) que deben ser más modernas. Taber consideró que el conjunto sería paleozoico o aún más antiguo mientras que Keijzer la interpreta como una serie mesozoica precretácica plegada y metamorfizada antes del Cretácico Inferior.

Las capas más antiguas en Cuba (y en todas Las Antillas) identificadas paleontológicamente corresponden a un nivel en el piso Oxfordiano del Jurásico Superior, comparada por Imlay (1944 a, b) con la zona de **Dichotomosphinctes** en el Jurásico mexicano que se puede considerar como el parangón de comparación en este hemisferio. En términos de la zonación

Europea, Imlay lo compara con las zonas de **bimammatum** (= Rauraciano de autores franceses) y **transversarium** (= Argoviano de los mismos). Otra fauna más moderna ha sido identificada, referida por Imlay al Portlandiano Superior, con una fauna considerable descrita por Imlay (1942), incluyendo **Virgatosphinctes** (presente en el Jurásico de Trinidad), **Micracanthoceras**, **Hildoglochiceras**, **Durangites** y otros muchos. El problema de las relaciones estratigráficas de las capas que contienen las dos faunas y de los nombres correctos que se les deben aplicar, son más difíciles. Hay que notar también que Herrera (1961) y Seiglie (1961) afirman que se ha encontrado Jurásico Medio (identificado en la formación Matahambre de Herrera = Cayetano de autores anteriores), pero la evidencia paleontológica es algo débil, principalmente el foraminífero **Conicospirillina basiliensis** Mohler, descrito del Oxfordiano-Calloviano según Seiglie, pero según la descripción original, del "Sequaniano" = Oxfordiano terminal o Kimmeridgiano inicial (ver Gignoux, 1955, p. 315). Fuera de esta especie, se menciona **Trigonia** sin determinación de especie, que por supuesto no determina la edad. Por lo demás, la supuesta edad se basa en la secuencia estratigráfica de las capas, supuestamente por debajo de las calizas con los ammonites, aunque tal relación ha sido negada por algunos autores anteriores, especialmente Palmer.

Esta formación Cayetano de De Golyer (1918), que Bermúdez (1961) preferiría llamar **San Cayetano**, es una de las formaciones más discutidas de Cuba. Ha sido reconocida solamente en la parte occidental de la provincia de Pinar del Río, al norte y al sur de la Sierra de los Organos. No solamente la posición estratigráfica de la formación sino sus rasgos litológicos quedan muy discutidos, siendo descrita la formación por unos como esencialmente lutitas y areniscas no metamorfizadas, por otros como "esquistos y filitas". La descripción más moderna es por N. M. Herrera, quien cambia el nombre de la formación al de **Matahambre**, cambiando la interpretación de Cayetano al nombre de un grupo que incluye estas capas más calizas con ammonites oxfordianos. El nombre Matahambre viene de la Mina Matahambre, en el camino entre Cabezas y Santa Lucía (Herrera, 1961, figs. 1, 3). Según Herrera, se trata de areniscas y lutitas con evidencia de metamorfismo de bajo grado, el cual a veces las altera a filitas y cuarcitas. Las lutitas y areniscas están interestratificadas y en muchos casos lenticulares. Herrera menciona estratificación cruzada, evidencias de oleaje y estratificación gradacional, lo que sugiere depósito en ambientes de diferentes profundidades, como también la mención por Herrera de la presencia de partículas carbonosas y partículas de plantas. Herrera atribuye a la formación un espesor superior a los 2.500 metros, cifra muy inferior a los 10.000 metros postulados por Palmer. Las capas, según las figuras de Herrera, se presentan muy plegadas y falladas. Herrera asigna una edad de Jurásico Medio a Inferior a su formación Matahambre, basándose en "determinaciones sobre la edad de las Trigonias" sin mención de especies.<sup>(\*)</sup> R. H. Palmer (1945) mencionó pequeños pelecípodos semejantes a **Sphaerium**, que sugiere un ambiente lacustre. Bermúdez (1961) considera plausible un origen lacustre para toda la formación, pero Hoffstetter considera esto como bastante dudoso en vista del gran espesor de la formación. Además, observa que todavía no se ha improbadado definitivamente, la presencia de foraminíferos

(\*) Atribuye las identificaciones a Krömmelbein (1956), pero no da una cita bibliográfica correspondiente.

marinos cretácicos mencionados por Palmer. Herrera señala que varias formaciones cretácicas bajo meteorización se parecen mucho a Matahambre, lo que podría explicar dichos microfósiles. En resumidas cuentas, la mayoría de los observadores parecen apoyar la interpretación de la secuencia como normal con Matahambre (= Cayetano) por debajo de las calizas jurásicas, aunque Palmer interpretó la relación como una cabalgadura de dichas calizas sobre la Cayetano supuestamente cretácica.

Se suponía hasta recientemente que la formación Jagua de Palmer (1945) seguía encima de la formación Cayetano, pero Herrera (1961) distingue una formación de por medio, que llama **formación Pan**; hubiera sido conveniente darle el nombre completo de Pan de Azúcar, porque deriva el nombre de éste "mogote" entre San Cayetano y Pons. La formación se describe como comprendiendo calizas de color oscuro, con capas interestratificadas de caliza coquinoide compuesta de ostras, fragmentos de conchas y oolitos. Las calizas presentan casi siempre evidencia de recristalización. Estas calizas se presentan siempre en forma de mogotes intermedios en posición entre las areniscas y lutitas de la formación Matahambre y las calizas de la formación Jagua (s. str.). El espesor es por lo tanto difícil de precisar, pero no parece ser muy grande; en la localidad tipo, Herrera no cree que haya más de 50 metros. Las ostras y fragmentos de conchas de la formación Pan no han sido identificados paleontológicamente. El foraminífero *Conicospirulina babilensis* se reportó de esta caliza, pero según hemos indicado arriba, parece dudoso que ésta realmente indique una edad calloviano, como ha postulado Herrera. La naturaleza del contacto con la formación Matahambre también parece dudosa.

El nombre de **formación Jagua** fue propuesto por R. H. Palmer, nombre derivado de la localidad conocida como la Jagua Vieja, 3 kilómetros al este de Constancia y 10 kilómetros al noreste de Viñales. Expuso Palmer que se trata de calizas lutíticas en capas muy delgadas, que afloran en la base de algunos de los mogotes más septentrionales de Pinar del Río, y que contienen numerosas concreciones llamadas localmente "jicoteas" o "quesos". Estas concreciones han dado restos de peces y ammonites descritos por Brown y O'Connell (1922). Dickerson y Butt (1935) interpretaron estas calizas como correspondiendo a la formación Cayetano. Estos ammonites han sido estudiados por Sánchez Roig (1920), O'Connell (1920), Burckhardt (1930, p. 61, 62), Spath (1931, pp. 400, 592, 593), Arkell (1939, p. lxiv), Imlay (1942, 1435-1439) y otra vez por Imlay (1952, p. 969). Según las más modernas modificaciones de Imlay los géneros incluyen representantes de los géneros *Phylloceras*, *Euaspidoceras*, *Ochetoceras*, *Viñalesphinctes* y subgéneros de *Perisphinctes*: *Arisphinctes*, *Dichotomosphinctes*, *Discosphinctes* y *Biplices*. Como hemos mencionado ya, Imlay opina que las especies son muy semejantes a formas en la zona de *Peltoceras* (ahora llamado *Epipeltoceras*) *bimammatum* y *P.* (ahora *Gregoryceras*) *transversarium* del Oxfordiano (según el uso de Arkell). Imlay no cree que llega a incluir parte del Kimmeridgiano. En comparación con el Jurásico mexicano, correlaciona como una zona caracterizada por *Dichotomosphinctes*.

Palmer le asignó un espesor de unos 120 metros a las calizas Jagua.

Herrera (1961) encuentra que la litología de la formación Jagua es más variada que la descrita por Palmer y divide la formación en tres miembros, de abajo para arriba:

**Miembro Caiguanabo.** Nombrada por la Sierra Caiguanabo, comprende calizas negras en capas muy delgadas, conteniendo concreciones fosilíferas.

**Miembro Jagua Vieja.** Calizas lutíticas y areniscas arcillosas de color oscuro, en capas delgadas, con concreciones. En Caiguanabo el espesor de los dos miembros inferiores se calcula en 120 metros. En la Sierra de Cabezas los miembros superior y medio tienen un espesor aproximado de 110 metros.

**Miembro Pimienta.** Nombrado por la población del mismo nombre en la parte noroeste de la Sierra de Cabezas. Calizas negras a gris oscuras, recristalizadas, interestratificadas con lutitas calcáreas rojizas. Contienen ocasionalmente concreciones calcáreas y arenosas con escasos ammonites.

Tomando en cuenta los espesores, Herrera asigna a la formación Jagua un espesor promedio de 100 a 140 metros para los tres miembros, si estuvieran todos expuestos en un mismo afloramiento.

La fauna del Jurásico superior, Portlandiano, fue discutida ampliamente por R. W. Imlay (1942), quien dio información completa sobre las localidades, que se extiende sobre unas 375 millas desde el oeste de Pinar del Río hasta la parte oriental de Camagüey, en el norte de Cuba. Los fósiles fueron recogidos principalmente por geólogos de la compañía Atlantic. Fósiles de este nivel, informa Imlay que habían sido recibidos esporádicamente por el Servicio Geológico Norteamericano desde 1929, pero se había supuesto que correspondían al Cretácico Inferior, debido a la gran proporción de ammonites flojamente enrollados semejantes a géneros infracretácicos, asociados con *aptychi* (opérculos de ammonites) semejantes a tipos de la misma edad. Una confusión fue introducida porque según diversos autores, los ammonites jurásicos oxfordianos de la formación Jagua, vendrían de la misma formación de caliza. Imlay, por lo tanto, hizo un estudio pormenorizado de los ammonites y logró determinar que los ammonites desenrollados (*Hamulina?*, *Leptoceras?*, *Ptychoceras?*) están asociados con ammonites de enrollamiento normal que determinan la edad Portlandiano Superior. Géneros no conocidos por debajo del Portlandiano Superior incluyen *Corongoceras*, *Micracanthoceras*, *Durangites*, *Lytohoplites* y *Paradontoceras*. Géneros no conocidos por encima del Portlandiano incluyen *Metahaploceras*, *Physodoceras* y *Durangites*. Géneros que no se presentan por encima del Titoniano Inferior incluyen *Corongoceras* y *Lytohoplites*. La fauna también incluye 7 especies de *aptychi* las que habían sido estudiadas por Trauth (1936) y referidas al "género" *Lamellaptychus*. Hay además una mandíbula de un cefalópodo, referido al género *Hadrocheilus*. Las especies de *aptychi* se comparan con especies del Cretácico Inferior (Neocomiano), pero Imlay hace hincapié en que están estrechamente asociadas con los ammonites jurásicos.

Imlay identifica la caliza que dio los ammonites portlandianos, con la **caliza de Viñales** nombrada por E. De Golyer (1918). R. H. Palmer (1945), en la misma publicación en que propone en nombre Jagua para la caliza oxfordiana, propone el nombre de **formación Quemado** para la caliza que dio los ammonites portlandianos descritos por Imlay, de la provincia de Camagüey; el nombre viene de la localidad Quemado de Güines en la provincia de Las Villas, en cuya provincia, según Palmer, la caliza tiene su mayor desarrollo. La describe como una serie de areniscas duras silíceas y cal-

cáreas y calizas pardas duras, que llega a 1.330 metros (4,400') en espesor. En contradicción a lo expuesto por Imlay, Palmer insiste en que los *aptychi* vienen de otra formación litológica, que llama las "capas con *aptychi*" (*aptychus beds*). Esta formación, manifiesta Palmer que descansa directamente sobre la formación Quemado en las provincias de Las Villas y Camagüey, y que tiene una distribución geográfica amplia, desde Pinar del Río hasta Camagüey, o sea sobre 720 kilómetros. Sobre toda esta distancia, la formación conserva su carácter litológico de una caliza de grano fino, de estratificación delgada con las capas variando desde hojosas hasta unas pulgadas en espesor, localmente con algunas capas de ftanita. En los pozos se presenta como una marga lutítica y bituminosa. Radiolarios abundan en muchos sitios. La fauna en adición a los *aptychi* incluyen unos pocos ammonites, ocasionales restos de peces y escasos moluscos. Palmer agrega que localmente hay ftanita en la base y debajo de estas, una arenisca o conglomerado basal.

Además, Palmer considera que la caliza de Viñales en el sentido exacto es un equivalente lateral de las calizas de *aptychi* como descritas arriba. El nombre de caliza de Viñales, considera Palmer que debe restringirse a una caliza dura, gris y maciza que forma la mayor parte de la Sierra de los Organos. El considera esta caliza equivalente de las calizas con *aptychi*, que en su expresión típica no se extienden más al oeste de San Diego de los Baños en Pinar del Río. Después del depósito de las calizas con *aptychi* y Viñales s. str., Palmer cree que tuvo lugar la primera orogénesis importante, a la vez que la máxima, en la historia geológica de Cuba.

Imlay (1952, p. 969) mantiene el nombre de Viñales para capas de edad Portlandiano, pero admite una subdivisión en una formación Quemado abajo y capas de *aptychi* arriba. Reitera, que en muchos casos los ammonites portlandianos y *aptychi* de tipos supuestamente neocomianos, se encuentran en una misma laja rocosa, por cuyo motivo es necesario suponer que en Cuba tales *aptychi* hicieron su aparición más temprano que en Europa. Aunque en su tabla (que trata únicamente del Jurásico) representa Viñales como restringido al Portlandiano Superior (con hiatus del Jurásico terminal o Purbeckiano), expresa que "en vista de la gran potencia de la caliza Viñales, no sería sorprendente que se hallasen fósiles del Cretácico Inferior en la parte superior de la formación. Se sabe de fuentes fidedignas que en un sitio en la provincia de Pinar del Río la caliza Viñales está cubierta por capas que contienen *Orbitolina texana* (Roemer) que es característico de la parte superior del Cretácico Inferior". (Imlay, loc. cit. p. 969)

ALBIANO - APTIANO

Conjunto con *Nannoconus truitti* - *N. minutus* - *N. elongatus* - *N. bucheri* - *N. wassalli*, asociados con *Orbitolina* ex gr. *O. concava* - *texana* y las primeras "Globigerinas".

BARREMIANO (?)

Conjunto con *Nannoconus steinmanni* - *N. colomi* - *N. kamptneri* - *N. bermudezi* - *N. globulus*.

NEOCOMIANO

Conjunto con *Nannoconus steinmanni* - *N. aff. globulus* - *N. colomi*, asociados con Calpionelas.

PORTLANDIANO SUPERIOR

Calizas con *Calpionella alpina* y *C. elliptica*, Favreina y Lombardia.

PORTLANDIANO MEDIO

Calizas densas con radiolarios, calizas oolíticas y pseudo-oolíticas. Favreina y Lombardia. *Aptychi* y ammonites portlandianos.

Imlay (en Brönnimann, 1953, p. 263) (fide Hoffstetter en el Léxico, p. 114) admite para la fauna de Viñales que había referido al Portlandiano Superior en 1952, la edad de Portlandiano Medio, siendo representado el Portlandiano Superior por las calizas con *Calpionella elliptica* y *C. alpina*.

Conviene insistir aquí en el interés de estas zonas cubanas para los geólogos venezolanos, ya que en los últimos años se han encontrado en el Estado Yaracuy calizas con ammonites desenrollados superficialmente muy semejantes a las formas de Viñales; además, de la misma región, P. J. Bermúdez (1962 b) ha identificado Calpionelas por primera vez en Venezuela.

N. M. Herrera (1961) eleva Viñales en la provincia de Pinar del Río al rango de un grupo, cuyo espesor máximo cree que no pasa de 2.500 metros. Lo divide en dos formaciones nuevas: la inferior, Guasasa (Portlandiano-Albiano) que incluye el nivel portlandiano descrito por Imlay, más las zonas adicionales de Brönnimann; y la formación Mina, cuya edad parece variar alrededor del Cenomaniano, posiblemente empezando en el Albiano, y terminando en el Turoniano (o hasta Coniaciano, supone Herrera).

La formación Guasasa se nombra por la Sierra la Guasasa al norte de Viñales. Herrera la divide en dos miembros, que según parece son en gran parte sincrónicos y representan esencialmente dos facies ligeramente diferentes. El espesor de Guasasa, según Herrera es variable, pero no excede 200 metros. Los fósiles de Imlay (1942) se refieren a esta formación, sin especificar el miembro. Los dos miembros se denominan San Vicente y Tumbadero.

**Miembro San Vicente.** Toma su nombre del balneario de aguas medicinales que se encuentra en la misma región, pero según la figura de Herrera, la sección tipo se encuentra un kilómetro al sur, en la Sierra de Viñales frente a la Sierra la Guasasa. Comprende calizas negras a grises, densas, macizas, en muchas partes pseudo-oolíticas y con partes dolomitizadas. Las calizas de la base son densas, sublitográficas, en capas tan gruesas que la estratificación no es perceptible las de la parte superior tienen estratos delgados a medianos, con abundante microfauna y algunos macrofósiles. Según la lista de las especies (no organizada en zonas), están representadas las zonas desde la de Favreina (Portlandiano Superior) hasta la de *Nannoconus steinmanni* (Neocomiano), incluyendo la zona con *N. steinmanni* - *colomi* - *bermudezi* - *globulus*, interpretada por Brönnimann como Barremiano. Herrera no da cifras del espesor de este miembro, pero al parecer puede en algunos casos corresponder a casi toda la formación Guasasa.

**Miembro Tumbadero.** Esta se describe como diferenciándose de San Vicente principalmente por la presencia de pedernal (ftanita) en nódulos y lechos, y por ser más escasamente fosilífera. El espesor se indica como 50 - 150 metros. La microfauna indicada por Herrera, indica que la edad puede ir desde la zona de *Calpionella alpina* - *C. elliptica* a la de *Nannoconus truitti*, lo que sugiere que empieza un poco más alto y termina un poco más alto que el miembro San Vicente. No obstante, Herrera informa que aunque en algunos sitios la facies San Vicente parece cesar en el Neocomiano, en otros parece llegar casi hasta el tope de Tumbadero, como está indicado en la tabla.

**Formación Mina.** Tiene su localidad tipo en la carretera Cabezas-Matahambre, donde la carretera atraviesa el arroyo la Mina, al sur de la población

de Pons. Aquí aflora por debajo de la formación Ancón. Consiste en calizas grises, lajosas, de grano fino, con abundantes foraminíferos, con las cuales están interestratificados intervalos de lutitas, areniscas y ftanitas internamente interestratificadas entre sí. Herrera no da cifra de espesor, porque dice que sus límites son difíciles de identificar, pero que en la zona de Pons es probable que no pasq de los 500 metros.

La microfauna sugiere que la edad sea más limitada que la indicada por Herrera y Seiglie, quienes la indican dudosamente como llegando al Turoniano y hasta quizás Coniaciano Inferior. La lista de foraminíferos sugiere más bien una edad Albiano-Cenomaniano: *Hedbergella* ("Globigerina") *cretaea*, *Rotalipora* cf. *R. appenninica*, *Thalmaninella* sp., *Ticinella roberti*, *Praeglobotruncana* sp., *Planomalina buxtorfi*.

Herrera, en su cuadro de columnas estratigráficas de Pinar del Río, introduce varios otros nuevos nombres de formación, en general insuficientemente definidos. En la región de La Mulata a Soroa (algo al noreste de la región donde establece las formaciones que acabamos de describir), él resucita el nombre de **Grupo Artemisa** de Lewis (1932 a, b) esencialmente coextensiva con su grupo Viñales, el que divide en "formación *Aptychus*" abajo y una formación *Yaya* arriba, de calizas, areniscas y lutitas, que incluye una facies llamada "caliza de plataforma" Guajaibón con miliólidos. Esta facies, según el cuadro, se puede extender desde el Aptiano-Albiano al Santoniano. Es difícil entender las correlaciones según esta tabla.

Para concluir con este informe de Herrera, señalaremos que en la región de Matahambre-Cabezas en Pinar del Río occidental, dicho autor distingue, descansando en el grupo Viñales con un hiatus de considerable parte del Cretácico Superior, un grupo nuevo llamado **Cabezas**, que al parecer va desde el Campaniano hasta el Eoceno Inferior, sin interrupción ni hiatus perceptible. Este grupo a su vez lo divide en dos formaciones (facies) distintas en su litología, pero al parecer esencialmente contemporáneas. Herrera sugiere que fueran depositados originalmente en sendas regiones aisladas y que fueron asociadas por movimientos tectónicos posteriores.

**Formación Ancón.** Deriva su nombre de una finca cerca de la Sierra de Viñales (Herrera, 1961, fig. 5). La parte inferior comprende calizas negras a gris-azuladas, con ocasionales nódulos de ftanita, en estratos medianos, y de grano fino a microcristalino. Esta parte inferior presenta una microfauna de edad Cretácico Superior, cuya edad podría ser limitada al Campaniano, aunque quizás podría ser un poco más larga. La parte superior de la formación se describe como comprendiendo calizas arcillosas, de color marrón, rosado o gris blancuzco, en capas muy delgadas y de grano fino; estas llevan una microfauna que parece ser Paleoceno terminal (zona de **Globorotalia** ("*Truncorotalia*") *velascoensis*). La diferencia en litología y microfauna entre las dos partes de la formación hace algo sospechosa, la interpretación de que corresponden a una sola unidad estratigráfica. En cuanto al espesor de Ancón, Herrera informa que es muy difícil de calcular, pero que en la zona de Matahambre nunca es mayor de 50 metros y en la zona de Viñales y San Andrés es raramente mayor de 30 metros. Su relación con la formación Pinos es difícil de determinar, ya que ésta a veces parece descansar en Ancón.

**Formación Pinos.** Comprende rocas piroclásticas de diferentes tamaños de granos, areniscas y lutitas tobáceas, tobas, pedernal y a veces intervalos de lutitas y areniscas no tobáceas, pero con abundante material ígneo redepositado. Hay calizas en forma de cantos y fragmentos, no siendo claro si todas son redepositadas o si corresponden a lentejones que sufrieron fragmentación tectónica posterior. La formación solamente contiene fósiles en estas calizas, de edad Coniaciano-Campaniano, los que por cierto no determinan sino un límite inferior posible para la formación. Herrera, como está indicado en la tabla, supone que es esencialmente contemporánea con la formación Ancón.

La posibilidad de existir simultáneamente en la misma región una facies calcárea y una piroclástica nos parece muy poco plausible. En contraste, si se ha observado en otras regiones del Caribe, que pueden presentarse formaciones calcáreas de amplitud restringida, dentro de una serie predominantemente piroclástica. Posiblemente a la "formación Ancón" corresponden, al menos, dos niveles calcáreos diferentes dentro de tal serie piroclástica.

**Formación Martín Mesa.** Herrera (p. 16) publica este nombre que atribuye a Ch. Ducloz en un trabajo inédito, para una unidad de calizas en el extremo oriental de Pinar del Río, que compara con el grupo Artemisa, más especialmente con las calizas de la formación con *Aptychus*. Las refiere a las edades "Neocomiano a Coniaciano" sin indicar fósiles ni otros datos que justificaren la correlación.

**Igneas Bahía Honda.** Esta es otra unidad insuficientemente definida de la misma región oriental de Pinar del Río, que comprende rocas extrusivas de composición andesítica a basáltica, interestratificadas con rocas piroclásticas de grano fino a grueso. Localmente aparecen capas o lentes de caliza y de ftanita. Herrera les asigna una edad Turoniano a Maestrichtiano sin argumentación.

**Grupo Habana.** Este nombre fue originado por R. H. Palmer (1934) para designar las rocas más antiguas que afloran en el anticlinal Habana-Matanzas. Con anterioridad, De Golyer, 1918 (? *fide* Lewis) y Lewis (1932 a, p. 539) habían usado el nombre, en la forma de lutitas Habana (Habana shales). La descripción original de la formación fue poco satisfactoria, sin designación de una sección tipo, datos paleontológicos, cifras de espesor, etc. Con posterioridad, los geólogos holandeses que trabajaron en Cuba extendieron el nombre a los sedimentos más diversos en toda la República que consideraban del Cretácico Superior, así que el término ha perdido todo sentido preciso, y hace falta un reestudio completo del Cretácico y Paleoceno para aclarar la confusión.

Palmer (1934) describió la formación Habana como una serie de lutitas, margas, cretas, gravas poco consolidadas, conglomeraos y arenisca calcárea, que asignó al Cretácico Superior. El afloramiento en La Habana, expresa Palmer que no es sino la extremidad occidental de una faja larga que se extiende con una sola interrupción hasta la ciudad de Matanzas (el anticlinal Habana-Matanzas), pero su máximo espesor se alcanza al sur de La Habana, donde llega a unos 7.000' (2.120 metros) en espesor. En la parte occidental de la región, dice Palmer, la parte inferior de la formación comprende una serie potente de lutitas calcáreas y margas de color gris claro y pardo, que contienen mucha piritita. Estas lutitas están cubiertas por una serie potente

de areniscas y lutitas estratificadas que Palmer llama las lutitas o miembro **El Cano**, sin entrar en detalles. El nombre fue propuesto por Lewis (1932) a como equivalente de **Lucero** de De Golyer, y según Bermúdez es equivalente de la formación **Capdevila**, cuyo nombre se prefiere por haber sido mejor definido. La formación **Capdevila** es Paleoceno. Desde aproximadamente el medio del anticlinal y se extiende hacia el este hasta Matanzas. Según Palmer, las lutitas inferiores y las areniscas (**El Cano**) cambian a un aspecto más marino y pueden ser dividido en los cuatro miembros que se describirán a continuación. El valor de esta afirmación, sin embargo, queda casi anulado por el dato dado por el mismo Palmer en la página anterior (p. 128) que "el afloramiento cretácico en Luyanó" (cerca de La Habana) incluye tres de los cuatro miembros: la gravas calcáreas, arenisca de conos y lutitas sucias ("dirty shales").

Los cuatro miembros que Palmer describió, sin mención de localidades tipos en general, son los siguientes:

1) **Capas de grava calcárea** (lime gravel member), el miembro inferior o que Palmer consideró como tal, porque Bermúdez expresa ciertas dudas al respecto. Se describe como formado de fragmentos de caliza, con algunos pocos fragmentos redondeados de andesita, riolita y basalto. Según Bermúdez, este miembro lleva una fauna abundante de foraminíferos característicos del Cretácico Superior, Maestrichtiano, como **Omphalocyclus macroporus** (Lamarck), **Orbitoides browni** (Ellis) y otros muchos. También se mencionan rudistas y el erizo **Lanieria lanieri** d'Orbigny. El origen de esta formación, si es una caliza nodular, si es una formación originalmente maciza, pero tectonizada o que meteoriza en forma de gravas, o si se compone de fragmentos de calizas antecedentes, no aparece por las descripciones. Tampoco se explica la presencia de calizas con Alveolínidos semejantes a la caliza paleocena Remedios (vea más adelante), a menos que este miembro realmente sea más moderno de lo que Palmer suponía y con gran cantidad de macro y microfósiles cretácicos redepositados. Este miembro ha sido nombrado recientemente por Herrera (p. 19) la **formación Peñalver** del grupo Habana.

2) **Miembro de arenisca de conos** (cone sandstone member) (traducido en el Léxico como conos de arenisca). Palmer la describe como una arenisca de cemento calcáreo, con numerosos granos de color verdoso, probablemente glauconíticos y que tiende a formar concreciones bajo meteorización de forma cónica invertida. Palmer informa que este miembro aflora extensamente en la vecindad de La Habana, siendo explotado como piedra de construcción de caminos. Menciona unos escasos fósiles del Cretácico Superior sin nombrarlos. En 1945, él menciona las margas blancas del miembro siguiente como una facies local de la arenisca.

3) **Miembro de creta** (chalk member), traducido por Bermúdez como miembro de marga blanca. En 1934, Palmer lo describe como una creta que varía de unos pocos pies a 100 pies o más en espesor, que con frecuencia descansa en la arenisca y que tiene un desarrollo considerable en Luyanó y también al este, en el lado sur de la bahía de La Habana. Localmente es dura, aporcelanada y forma cerros, pero en otras partes es blanda y lleva abundantes foraminíferos. Según Bermúdez en el Léxico, se trata de una marga muy pura y homogénea que al ser lavada deja un residuo

de foraminíferos bien preservados, con predominio de formas pelágicas del Cretácico Superior. Parece posible, sin embargo, que Palmer haya confundido cretas más modernas con la creta cretácica p. ej., la de Madruga.

4) **Miembro de cantos grandes** (big boulder bed member). En 1934, Palmer describe este miembro como variando en el sentido del rumbo, desde una lutita parda a una serie de capas de caliza dura alternando con lutitas. Las lutitas son blandas, friables, de aspecto terroso y compuestas principalmente de detritus de rocas ígneas, con color pardo. Palmer llama estas lutitas también las "lutitas sucias" o quizás se traduciría mejor lutitas terrosas (dirty shales). Donde están presentes las calizas, estas bajo meteorización se reducen a peñones o cantos. Esta facies con calizas informa Palmer que no se halla en la vecindad de La Habana, pero no precisa donde se encuentra, porque dice que "en la parte oriental de la región, la fauna característica de este miembro se presenta en la facies de lutita". Más hacia el oeste, según Palmer, este miembro parece pasar a lutitas y areniscas casi sin fósiles llamadas **El Cano**. Según Palmer, el miembro de peñones lleva una fauna abundante de foraminíferos, corales y equinodermos, también abundantes moluscos y ocasionales ejemplares de **Trigonia**, **Inoceramus**, **Pholadomya** y **Pecten**. La fauna, según Palmer, ha sido determinado por paleontólogos europeos como Maestrichtiano.

De paso en 1934, Palmer menciona que en la carretera General Machado entre Capdevila y Vento, hay una serie de lutitas y areniscas muy semejantes litológicamente que se distinguen de las "lutitas terrosas" principalmente por ser más arenosas, y por llevar una escasa fauna de edad "considerada Eoceno Inferior por algunos paleontólogos". Agrega Palmer que "estratigráficamente parece representar una continuación de la sedimentación de las "dirty shales" y por lo tanto ser de edad Cretácica. Es concordante en todas partes con el Cretácico, está muy inclinada y cubierta en discordancia por el Eoceno Superior poco inclinado" (esto es Eoceno Inferior, formación Universidad). En 1938 (fide Wilson, Sando y Kopf, 1957) Palmer aplicó el nombre de **formación Capdevila** a estas capas, que en 1945 la separa de la formación Habana y la refiere al Paleoceno.

Según Herrera (1961), Ch. Ducloz y D. Rigassi han hecho recientemente un reestudio de la unidad estratigráfica Habana en la provincia del mismo nombre, pero al parecer el informe no ha sido publicado. Informa Herrera que en este informe se eleva Habana al rango de grupo, y se le asignan las siguientes formaciones, en orden descendiente: Capdevila, Alcázar, Apolo, Peñalver y Vía Blanca, más unas capas descritas solamente como pre Vía Blanca. En la provincia de Pinar del Río, según Herrera, se reconocen solamente las formaciones Capdevila, Peñalver y Vía Blanca. En el cuadro y en la discusión que sigue, Herrera incluye también en el grupo Habana, la formación **Madruga** entre Capdevila y Peñalver.

Las formaciones Capdevila y Madruga las describiremos más adelante, ya que nos parece debatible la propiedad de incluir estas formaciones terciarias en el mismo grupo con las cretácicas, en vista de que no se ha identificado paleontológicamente (que sepamos) el Daniano o "zona de Globigerina" y que puede por lo tanto existir un hiatus considerable dentro del grupo.

El nombre de Peñalver evidentemente se propone para el miembro de grava calcárea de Palmer.

## NOTAS BIBLIOGRAFICAS

**Evolution and Distribution of the Genus "Mya", and Tertiary Migrations of Mollusca**, por F. Stearn MacNeil, United States Geological Survey, Professional Paper 483-G, Washington, D. C., 51 págs., 11 pls., 1965.

Este trabajo que forma parte de una serie, "Contributions to Paleontology", del Servicio Geológico Nacional de los Estados Unidos, tiene una importancia mucho mayor de lo que se podría sospechar por el título, siendo mucho más que una contribución esmerada y pormenorizada a la clasificación sistemática de un solo género de pelecípodos. Su lectura puede recomendarse a todos los adeptos de la geología por una parte, y de la zoología por otra, como ejemplo señero de la variedad de facetas que deben tomarse en cuenta para la zoología y paleontología sistemática, y de los muchos aspectos interesantes que pueden salir de tal estudio. En este caso, son las migraciones de los moluscos a través de la región ártica, y hasta la historia del océano Ártico en el Terciario, los aspectos notables que salieron del estudio de *Mya*, que MacNeil estaba realizando en combinación con estudios semejantes del gasterópodo *Neptunea*, cuyo estudio se reserva para otra publicación.

*Mya*, un género comestible de gran importancia económica en aguas frías a templadas frescas del hemisferio norte, se presta admirablemente para un estudio de la filogenia y de las migraciones de la especie, siendo un género con relativamente pocas especies, claramente delimitado y aislado biológicamente de aun los géneros más estrechamente relacionados. Tiene peculiaridades morfológicas que lo hacen fácilmente identificable, en los animales vivientes con sus largos sifones envueltos en una sola capa muscular retráctil, y en las conchas la presencia de una prominente "cuchara" calcárea en el borde interno dorsal de la valva izquierda que sale dentro de la cavidad umbonal de la otra valva. Esta estructura es un condróforo, un soporte para el ligamento (la estructura que abre las valvas) que en este género es completamente interno, asimétrico en el sentido anteroposterior y fuertemente inclinado en el sentido dorsoventral de modo que yace completamente dentro de la valva derecha. *Mya* se restringe al hemisferio norte, en aguas frescas a árticas. Intentos anteriores para resolver los problemas de la sistemática del género habían fracasado porque se basaron en material parcial e incompleto. Estudios recientes por paleontó-

logos japoneses, aprovechados plenamente por MacNeil, han demostrado que *Mya* se originó e hizo la mayor parte de su evolución en Asia oriental, llegando eventualmente a la costa oriental de Norteamérica; tres o cuatro de las especies del Pacífico posteriormente migraron vía el océano Ártico a las costas norteamericanas de Europa y la parte norte de la costa oriental de Norteamérica.

La ascendencia de *Mya* no se conoce en la actualidad. Se han mencionado como posibles ascendientes, a *Bicorbula*, del Eoceno de Java, y *Raetomya*, de Egipto y Nigeria (agreguemos, de Venezuela y Perú también), pero las diferencias morfológicas son demasiado grandes para postular una relación estrecha. MacNeil sugiere como una posibilidad, la especie *Sphenia? minor* Forbes del Eoceno antiguo de Gran Bretaña. La primera especie conocida de *Mya* (*M. ezoensis* Nagao e Inoue) aparece en una formación japonesa del Eoceno tardío u Oligoceno temprano. La primera especie norteamericana aparece en Alaska en el Oligoceno medio. A excepción de una sola especie, los 16 taxa restantes se originaron en la parte norte del océano Pacífico. La excepción es *Mya producta* Conrad, que aparece en el Mioceno medio de la costa oriental de Estados Unidos (Formaciones Choptank de Maryland y Kirkwood de Nueva Jersey), sin que se conozcan sus relaciones y ascendencia. Para el Mioceno superior, *Mya arenaria*, un representante de un grupo de especies derivadas de *M. ezoensis*, hace su aparición en la costa oriental de Estados Unidos (Formación Yorktown), habiendo llegado allí vía el océano Ártico. Otra especie de ascendencia asiática, *M. pseudoarenaria* Schlessch, llega a Gran Bretaña en el Plioceno

superior (Coralline Crag), pero *M. arenaria* no llega al lado oriental del Atlántico sino en el Pleistoceno.

Debido a los importantes conceptos sobre el tema de la migración y la evolución de especies malacológicas en general, conviene considerar detalladamente la primera parte del trabajo de MacNeil, que tiene la organización siguiente:

Aspectos biológicos y temporales de la migración:

Migración y dispersión; Migración y ecología; Migración y variabilidad específica; Migración y evolución; Migración y correlación.

Paleogeografía del Terciario del océano Ártico y las regiones boreales.

El clima del Ártico y su efecto sobre los organismos.

Períodos y rutas de la migración.

En el primer aparte, MacNeil define **migración** y **dispersión**, dos conceptos interesantes igualmente al neozoólogo. La **migración** puede definirse sea como una amplificación del área habitada por un organismo, sea como el abandono de tal área para radicarse en otra área nueva. La **dispersión** (inglés, **dispersal**) se define como el ensanchamiento de la distribución geográfica de un organismo, durante cualquier época de su vida o aun después de su muerte. La diferencia entre los dos conceptos se puede ilustrar por dos casos: a) Una especie cuyas formas larvales planctónicas logran una amplia **dispersión**, pero las cuales no logran establecerse en nuevas regiones; por lo tanto, no se puede hablar de una **migración**. En contraste, la dispersión larval de muchas especies, incluyendo *Mya*, ha facilitado grandemente su migración.

b) Las conchas vacías de los cefalópodos nautiloideos (y probablemente de los amonoideos también), fueron dispersadas ampliamente por las corrientes después de la muerte de los animales, pero no se puede hablar de una migración.

**Migración y ecología.** Es imposible establecer *a priori* reglas estrictamente geográficas para la migración de una especie. Las migraciones generalmente dan la impresión de ser fortuitas, pero esto probablemente resulta de nuestra ignorancia del complejo de factores ecológicos implicados. En *Mya* la profundidad podría ser un factor limitante, ya que es una especie de aguas someras (la máxima profundidad a que ha sido observado es de 40 brazas, siendo dudoso si se reproduce a tal profundidad). Como las especies se entierran en el fondo, están limitados a fondos barrocos o arenosos. Las larvas pelágicas no sufren de las mismas limitaciones, desde luego, y pueden franquear trechos de agua profunda o fondos duros. La duración del período larval limita la distancia de dispersión posible; esta es de dos a cuatro semanas para las especies que se reproducen en verano, y uno a tres meses para las de reproducción invernal. Etapas larvales pelágicas son notoriamente escasas entre especies árticas, las que generalmente tienen larvas bentónicas. Por lo tanto, en vista del número de especies que han logrado hacer una migración a través de la región ártica durante el Terciario, la conclusión inevitable es que en las épocas de las migraciones la región habrá gozado de una temperatura más benigna que la actual.

*Mya arenaria* soporta una reducción considerable en la salinidad, y

parece que las especies en general toleran tales condiciones con tal que haya suficiente sal en el sustrato. En aguas de elevada salinidad crecen más rápidamente y producen una concha más pesada.

Un factor probablemente más importante en las migraciones transárticas, que la temperatura mínima que puede resistir el adulto, es la mínima a que la especie puede reproducirse. Se sabe que *M. arenaria* puede sobrevivir en fondos donde el agua encima se congela en el invierno, pero seguramente no se reproducirá a tales temperaturas.

MacNeil concluye que la temperatura es en mucho, el factor más importante en determinar la distribución geográfica general de una especie, siendo más crítica la temperatura a que se hace la reproducción que la de la maduración o las temperaturas letales. Otros factores, tales como la salinidad y las condiciones del fondo, son de importancia secundaria, gobernando la distribución local dentro del área general controlada por la temperatura. La profundidad parece ser también un factor secundario.

La forma del área de reproducción está controlada por las líneas isotermas y también por las corrientes, que pueden modificar los contornos. Las corrientes juegan un papel predominante en la migración de especies con larvas pelágicas, pero los organismos bentónicos son capaces de migrar contra el sentido de las corrientes.

En el Terciario superior y Cuaternario de California, hay niveles en que invasiones de especies características de aguas frías, sugieren marcados enfriamientos. No obstante, MacNeil señala que tales episodios pueden corresponder, no a un enfriamiento

general, sino al ensanchamiento hacia el sur, de una corriente oceánica. Cambios de temperatura en las regiones árticas, parecen haber causado mayores avances y retiradas de las corrientes, y de ahí, de las especies de moluscos, en el lado americano del océano Pacífico, que no en el asiático. Como ejemplo de la magnitud de tales cambios, se puede notar que *Mya truncata* en el Plioceno inferior y otra vez en el Pleistoceno inferior, llegó a más de 1.000 millas al sur de su límite actual. En contraste, el límite entre las aguas frías y menos frías parece haber sido más estable en Asia oriental, delimitándose por el punto donde se aparta de la costa la corriente tibia de Kuro Shio, que a su vez alimenta la Corriente Japónica.

**Migración y variabilidad específica.** En esta sección, MacNeil hace comentarios sobre la importancia de poder distinguir las diferencias entre poblaciones debidas, respectivamente, a: 1) Diferencias ecológicas locales (sustrato, oxígeno, temperatura, etc.); 2) Factores genéticos; y 3) Diferencias en las distribuciones de poblaciones más antiguas. Por ejemplo, es importante saber si una variante de una especie de *Neptunea* que vive en un fiordo noruego (donde la temperatura es mucho más baja que en el mar afuera), es simplemente una variación ecológica o si es una reliquia de una especie que tenía una distribución geográfica mucho más amplia durante las glaciaciones pleistocenas. MacNeil no llega a conclusiones generales, pero señala el peligro de atribuir todas las variaciones a condiciones locales de ambiente. En especial, no hay evidencia incontrovertible de que la temperatura puede causar diferencias de forma; más bien, las especies de moluscos

buscan las condiciones de temperatura que les convienen.

**Migraciones y evolución.** MacNeil señala aquí que especies provistas de larvas pelágicas (como *Mya*) tienden a ser dispersadas más rápida y más ampliamente, y con un mínimo de cambios evolutivos en la vía, en contraste con las formas con larvas bentónicas; por lo tanto, formas superficialmente idénticas (fenotípicas) de ellas, en diferentes regiones, tienen buenas probabilidades de ser realmente estrechamente relacionadas y de indicar una correlación en el tiempo. En contraste, los organismos totalmente bentónicos, demoran más tiempo en hacer una migración, se modifican más durante el lapso, y los fenotipos son menos indicativos de una correlación temporal. En ambos casos, cambios menores en la composición genética se efectuarán a lo largo de la ruta de migración, la que se puede identificar por una secuencia de variaciones transicionales entre sí ("a succession of intergrading variants can be taken as the trace of a migration route").

**Migración y correlación.** En esta sección, MacNeil alude (aunque no por nombre) a la tesis de Huxley (1862) de la homotaxis. Huxley postulaba que una semejanza entre faunas en regiones apartadas sería *a priori* una indicación de diferencia de edad (contrario a la opinión de los paleontólogos en general), porque necesariamente se habrían producido cambios durante una migración de modo que tales semejanzas debían indicar un mismo nivel evolutivo de dos estirpes diferentes y no una correlación temporal. MacNeil considera que probablemente no existe una regla general para determinar si especies o géneros homotáxicos sean

contemporáneos o no; habría que conocer la historia antecedente. En general, sin embargo, sería arriesgado suponer **a priori** que la presencia de una misma especie en diferentes partes del mundo fuese sincrónica. La correlación de faunas muy distantes es delicada, dependiendo generalmente en mayor grado sobre correlaciones intermedias y secuencias estratigráficas dentro de unidades de la magnitud de épocas, que no de la identidad de especies. Se debe recordar que las faunas actuales no son idénticas sobre todo el mundo y, con toda probabilidad, nunca lo han sido.

**Paleogeografía del Terciario de las regiones árticas y boreales.** En esta sección, MacNeil aduce muchas evidencias tomadas de la estratigrafía regional de estas regiones, para sugerir que el océano Artico o no existía, o estaba presente en forma de unos mares epicontinentales restringidos, durante el Terciario antiguo y medio. Las evidencias son demasiado largas para reproducirlas todas aquí, pero se dividen en: a) La ausencia de Terciario marino correspondiendo a esas edades en dichas regiones y, en contraste, la presencia de capas terrestres con carbón en varias partes; y b) Evidencias por la existencia de una costa ininterrumpida entre Europa y Norteamérica en el Eoceno, Oligoceno y hasta Mioceno, así como entre Asia y Norteamérica, cerca del borde actual del mar de Bering, durante el Oligoceno. La formación cenozoica marina más antigua conocida del Artico norteamericano es la formación Nuwok del norte de Alaska que no es más antigua que Mioceno medio o superior y que lleva varios géneros originarios del océano Atlántico. Las capas marinas más antiguas de Spitzbergen fueron atribuidas al

Paleoceno por Ravn (1922), pero según MacNeil contienen formas que determinan la edad como no más antigua que Mioceno medio. La intermigración de mamíferos entre Europa y Norteamérica en el Terciario antiguo y medio habrá sido grandemente facilitado por la presencia de tierras en la región ártica.

**Clima del Artico y su efecto sobre los organismos.** En esta sección MacNeil recapitula el fenómeno, muy conocido, del enfriamiento progresivo del clima de las regiones polares y zonas climáticas vecinas (boreales) durante el Terciario. En altas latitudes del Artico, se conocen palmeras del Paleoceno y los mares someros del Eoceno eran universalmente cálidos. Familias y géneros que tuvieron una distribución universal en ese entonces, por regla general se restringen hoy día a las regiones tropicales y subtropicales. Con el enfriamiento gradual de las regiones polares durante el Terciario, algunos géneros se especializaron para aguas frías o templadas, siendo frecuentemente restringidos a las partes norteñas de los océanos Atlántico y Pacífico. Los géneros ya existentes en el Eoceno pueden tener más tarde especies en ambos océanos, pero los que nacieron en el transcurso del Terciario tienden a restringirse a uno u otro de los océanos.

**Períodos y rutas de migración.** Se ha reconocido, mucho tiempo ha, que la distribución de los moluscos en la actualidad y durante el Terciario, indica que se efectuaron intermigraciones en forma intermitente, entre el Atlántico y el Pacífico en latitudes subtropicales, durante la mayor parte de la era cenozoica. En contraste, en las latitudes muy norteñas, tales intermigraciones parecen ha-

berse efectuado solamente muy tardíamente, a partir del Terciario superior.

En las regiones subtropicales, probablemente las migraciones más importantes tuvieron lugar a través del norte de Sudamérica, en el Terciario más antiguo. Intermigraciones menores parecen haber tenido lugar otra vez en el Mioceno, por la misma región y posiblemente a través de la América Central. Estas migraciones explican las semejanzas entre muchas especies de la región caribe y otras de la provincia panameña, por el otro lado de América. Hay interesantes semejanzas entre la fauna de la Formación Imperial del sur de California (Mioceno superior o Plioceno inferior), y la Formación Tamiami de Florida (Mioceno superior, posiblemente incluyendo Plioceno), además con la formación Caloosahatchee, la que se ha considerado como Plioceno típico desde los tiempos de Dall pero que, según MacNeil, ha proporcionado **Equus**, supuestamente restringido al Pleistoceno. (Si esto es cierto, puede tener repercusiones importantes en la región caribe; por ejemplo, se puede reabrir la cuestión de la edad del Grupo Cabo Blanco).

En el lejano norte, no hay evidencias de intermigraciones entre los océanos Atlántico y Pacífico durante el Terciario inferior o siquiera medio; pero, en contraste, durante el Mioceno superior, Plioceno y Pleistoceno las intermigraciones parecen haber sido frecuentes. Muchos géneros que habían hecho la mayor parte de su evolución en la parte norte del Pacífico, de repente aparecen en las costas orientales de Norteamérica y en el norte de Europa. Simultáneamente, otros hacen la migración en el sentido contrario, desde el Atlántico norteño al Pacífico. Pero el vo-

lumen de migrantes desde el Pacífico al Atlántico es mucho mayor que al inverso. MacNeil explica esto porque: a) El flujo de agua por el estrecho de Bering es principalmente hacia el norte, y b) Dicha vía es muy angosta mientras que existe una amplia comunicación entre el océano Artico y el Atlántico.

La primera aparición bien documentada de una especie originaria del Pacífico en aguas del Atlántico, es la de **Mya arenaria** en la Formación Yorktown (Mioceno superior) de Virginia. **Placopecten clintonius** (Say) puede haber venido también desde occidente. La primera aparición de especies oriundas del Atlántico, en aguas del Pacífico, se halla en la Formación Yakataga (Mioceno y Plioceno) de Alaska, en un horizonte o muy alto en el Mioceno o muy bajo en el Plioceno; allí aparecen **Astarte alaskensis** Dall (= **elliptica** Brown) e **Hiatella arctica** (Linneo). Desde esos niveles en adelante, las intermigraciones son frecuentes; por ejemplo, **Siliqua** aparece en el Pacífico, y numerosos géneros y especies del Pacífico se presentan en el Atlántico, entre ellos **Acila**, **Neptunea**, **Thais**, **Boreoscala**, **Panomya** y **Macoma cal-carea** (Gmelin). Diferentes estirpes parecen haber emigrado al Atlántico en diferentes tiempos y por diferentes rutas. Formas de aguas frías pasaron libremente durante el Pleistoceno, pero formas de aguas más cálidas podían pasar por la región ártica tan sólo durante las interglaciaciones, cuando el clima sería más benigno que en la actualidad. Algunas especies oriundas del Pacífico son comunes ahora por ambos lados de Norteamérica, por ejemplo, **Neptunea decemcostata** (Say). Pero muchos de los géneros representados en ambos océanos tienen especies restringidas

a uno u otro. El cuadro se complica porque hay muchos géneros que tienen pares o grupos de especies originadas separadamente en cada uno de los dos océanos, pero que debido a estas migraciones transárticas han llegado a tener ahora casi la misma distribución. En tales casos, autores que ignoran la filogenia han sugerido que se trata de simples variantes de una misma especie, lo que es incierto. Un ejemplo es el par de especies *Hiatella arerica* e *H. pholadis*, superficialmente muy semejantes, pero la primera con una larga historia antecedente en el océano Atlántico, y la otra, igualmente en el Pacífico.

Otra peculiaridad de la distribución debida a las migraciones, es la presencia de algunas especies oriundas del Pacífico, en las costas del Océano Artico en la parte occidental de Siberia pero no en el este. Eso sugiere que mientras algunas especies llegaron a Siberia desde el estrecho de Bering, otras hicieron la migración en el sentido contrario, es decir, entraron al Artico, y siguieron hasta Spitzbergen, desde donde seguían hacia el este, por la costa de Siberia. MacNeil señala que, en general, en las migraciones la tendencia ha sido hacia una migración en el sentido contra las agujas del reloj, o sea, de oeste hacia este.

Migraciones dentro del océano Pacífico también parecen haber sido principalmente desde el oeste hacia el este. Algunos de los mejores fósiles guías en el occidente de Norteamérica, por ejemplo, *Acila shumardi* y *A. gettysburgensis*, son especies asiáticas que invadieron a Norteamérica abrupta y temporalmente.

La figura 1 de MacNeil indica las rutas más probables de migración de

especies malacológicas con larvas pelágicas durante el Terciario tardío y Cuaternario.

Puesto que diferentes especies parecen haber migrado durante diferentes glaciaciones e interglaciaciones del Pleistoceno, MacNeil considera que un estudio detallado podría aportar refinamientos que serían muy útiles en la estratigrafía del Pleistoceno de las regiones árticas y boreales del oeste de Norteamérica, tan alejadas de las regiones clásicas europeas.

Las partes restantes del trabajo son interesantes principalmente a los malacólogos, comprendiendo una extensa sección sobre la filogenia y distribución de las especies, y la sección de paleontología sistemática, donde se describen las especies individuales. La figura 3 de MacNeil presenta en forma resumida su interpretación de la filogenia de las especies, a la vez que indica la referencia de las especies a los dos subgéneros *Mya* s. str. y *Arenomya* Winckworth, 1930.

El género *Mya* fue descrito por Linneo, 1758, siendo su especie tipo, por designación posterior de Children, 1822, la especie *Mya truncata* Linneo, una especie con distribución en el Atlántico septentrional, Artico y Pacífico septentrional, pero que Linneo conoció, por supuesto, de Europa. Winckworth (1930) intentó restringir el género, proponiendo el género *Arenomya* con tipo monotípico *Mya arenaria*, sin dar más motivo para la separación que "las marcadas diferencias concológicas". No obstante, varios autores modernos japoneses han admitido *Arenomya* como un subgénero, opinión en que concuerda MacNeil, quien establece varias diferencias entre los subgéneros, a saber:

*Mya (Mya)* tiene una depresión subumbonal anterior, y el borde inferior del seno palial coincide con la línea palial. Si hay una callosidad ligamental (una estructura reconocida formalmente por MacNeil por primera vez) es pequeña y carece de una elevación radial.

*Mya (Arenomya)* no tiene ninguna depresión subumbonal anterior, y el borde inferior del seno palial está separado de la línea palial. La callosidad ligamental tiene la forma de espátula y generalmente tiene una depresión detrás de su centro. La valva izquierda siempre tiene una depresión subumbonal formada por solución.

En adición, hay numerosas especies ancestrales a, o coexistentes con, las especies de los dos subgéneros, que presentan varios aspectos particulares o combinan rasgos de los dos subgéneros. En la clasificación, estas han sido referidas a *Mya* (? *Arenomya*).

Especies referidas a *Mya* (? *Arenomya*): *producta* Conrad, Mioceno medio, Formación Choptank de Maryland y Formación Kirkwood de Nueva Jersey; *ezoensis* Nagao e Inoue, Oligoceno del Japón; *kusiroensis* Nagao e Inoue, Oligoceno medio, parte superior del Japón, y parte superior de la zona de *Acila shumardi* de la misma edad en Alaska; *grewingki* Makiyama, Oligoceno superior y Mioceno inferior del Japón y Sakhalin, posiblemente Alaska; *grewingki haboroensis* Fujie, Mioceno medio, Japón; *dickersoni* Clark, Mioceno superior tardío de California (Formación Neroly); *elegans* (Eichwald), (*Mya intermedia* Dall es un sinónimo), Plioceno, Pleistoceno y Reciente, Alaska.

Referidas a *Mya (Arenomya)* sin interrogación: *fujiei* MacNeil n. sp.,

Mioceno medio, Japón; *arrosensis* MacNeil, n. sp., Formación Ciervo, Mioceno superior, parte media, California; *japonica* Jay —que no es la especie indicada como tal por Grant y Gale—, Pleistoceno de Alaska, Reciente, aguas del Japón y golfo de Chihli, China, quizás en el mar de Okhotsk, *arenaria* Linneo, con una extensa distribución, aparentemente desde el Mioceno medio en el Japón; en los Estados Unidos occidentales, desde el Mioceno superior, parte media en el Plioceno y Pleistoceno, y otra vez en el Reciente, reintroducido alrededor de 1865. En los Estados Unidos orientales, *M. arenaria* se conoce de la Formación Yorktown (Mioceno superior), la Waccamaw, Plioceno de North Carolina y en muchas localidades pleistocenas, desde Labrador a South Carolina Reciente, la misma distribución, pero común solamente entre el golfo de San Lorenzo y el golfo de Long Island. En Europa, la especie se encuentra en el Pleistoceno, y en la actualidad, al parecer reintroducida durante el siglo XVI. Actualmente se encuentra entre el norte de Noruega hasta el sur del golfo de Vizcaya.

Bajo *Mya(My)*, MacNeil tiene: *salmonensis* Clark Mioceno antiguo, a Oligoceno tardío del Japón, Sakhalin y Alaska; *cuneiformis* (Böhm), Mioceno medio a Plioceno inferior del Japón, Mioceno medio de Alaska; *pseudocarenaria* Schlessch, Plioceno superior y Pleistoceno inferior de Inglaterra, y una extensa distribución en el Artico en el Reciente, llegando a Spitzbergen, norte de Noruega. *M.(M.) truncata* Linneo, tiene la distribución más extensa de las especies vivientes, y se conoce fósil desde el Mioceno medio temprano en la región Pacífica; como mencionamos antes, llega a la latitud de Los Angeles, Califor-

nia, en el Mioceno tardío y Plioceno temprano. Se conoce fósil en los Estados Unidos orientales en capas de edad Pleistoceno (post-Wisconsin); en Europa, llega hasta Sicilia, Calabria y Toscana en el piso Calabriense del Pleistoceno. Hoy en día, vive casi alrededor de todo el océano Artico, llegando hasta el golfo de Vizcaya, en

Europa, Cabo Cod, en Estados Unidos orientales, y Puget Sound en el oeste. **M.(M.) priapus** Tilesius, una especie asiática desde el Mioceno superior. **M. pullus** Sowerby, en el piso Butleyense del Pleistoceno inferior de Gran Bretaña.

FRANCES DE RIVERO

## UNA CLASIFICACION REVISADA DE LOS PROTOZOARIOS

Honigberg, B. M. (jefe del comité), W. Balamuth, E. C. Bovee, J. O. Carliss, M. Gojdics, R. P. Hall, R. R. Kudo, N. D. Levine, A. R. Loeblich, Jr., J. Weiser, D. H. Wenrich (1964): "A revised classification of the Phylum Protozoa", **Journal of Protozoology**, vol. 11, N° 1, pp. 7-20. (Copias pueden solicitarse, a \$ 1 USA, al doctor Robert Samuels, Treasurer, Society of Protozoologists, Dept. of Microbiology, Meharry Medical College, Nashville 8, Tennessee, EE. UU. Am.).

La necesidad de una reconsideración a fondo de la clasificación del **phylum** Protozoarios, se ha sentido desde hace mucho tiempo por los especialistas que trabajan en este grupo, y por los micropaleontólogos que se ocupan de las formas fósiles que corresponden a muchos grupos. La sociedad internacional de protozoólogos (Society of Protozoologists) estableció en 1954 un comité de Taxonomía y de problemas taxonómicos, con R. P. Hall como director del comité. En 1959 fue sustituido por B. M. Honigberg. Desde entonces, informes de progreso han sido sometidos a las reuniones anuales de la Sociedad, y

en la reunión de 1960 se efectuó una mesa redonda sobre problemas de la clasificación sistemática y evolución de los protozoarios. Otra discusión se efectuó en la Primera Conferencia Internacional de Protozoología que tuvo lugar en Praga, Checoslovaquia, en 1961. Un esquema preliminar de clasificación fue repartido a los asistentes, y los comentarios se tuvieron en cuenta en la preparación del esquema final.

En esta nota, consideraremos el esquema principalmente desde el punto de vista del paleontólogo y micropaleontólogo, es decir, daremos las divisiones principales del **phylum**, pero no entraremos en las subdivisiones menores (el esquema llega hasta los órdenes). No presumiremos que nuestros lectores tengan muchos conocimientos de los protozoarios en general, y trataremos de aclarar los términos especializados.

Los protozoarios son un grupo extremadamente variado, tan diferentes de los organismos de otros grupos, que muchos zoólogos han considerado que sería conveniente tratarlos como comprendiendo el reino de los protistas aparte de los reinos tradicionales animal o vegetal; o al menos un subreino en contraposición