

LA "PEDRA DE GIRONA"

por José M.^a Pla Dalmáu

La «Pedra de Girona», esa magnífica caliza de tonalidades ocres o azuladas con que han sido construidos la gran mayoría de los edificios que integran la Gerona monumental, es indiscutiblemente, algo consubstancial con nuestra ciudad, con su espíritu y su ambiente; e incluso diríamos que con su Historia. José M.^a Gironella, con la precisión que caracteriza su pluma, escribió: «Gerona, Historia hecha de piedra memorable». X. Monsalvatje y J. Pla, en su bello libro «Terra de gestes y de beutat», nos dicen: «tes pedres han sentit reiteradament el bategar d'un poble...; cada un dels teus carrers ha recollit una oració pujada d'un cor senzill». C. Rahola, en su «Girona», dejó escrito: «Vos en parlaria llargament de totes aqueixes velles pedres, i en cadescuna llegiríem una data històrica, un bell record, una poètica llegenda...; però elles mateixes parlen prou bé el qui sab entendre el llenguatge llur». Y de Mn. Lluís G. Pla y de un soneto titulado «La Seu de Girona», son los siguientes versos: «Un degòtic de glòria i d'immortalitat / solca com un'arteria vital, la pedra bruna / de tos carreus vetustes...».

Sería difícil hallar un literato entre los muchos que han dedicado momentos de su pluma a describir y loar nuestra ciudad y su ambiente, que no aludiera, en una forma u otra, a su peculiar piedra caliza: Bech, en el poema «Ciutat creada», y refiriéndose al color de las piedras de Gerona, escribe: «colors d'entranya; ocres estirats com llargues venes de pedra que es desfan en iritzacions barroques». De Joaquim Ruyra y en una glosa sobre Gerona, hallamos la siguiente poética consideración: «...i que bonica es desclou la rosa sobre la pedra bruna...». P. Bertrana, en «Josafat», comenta: «...la fredor de pedra esgarrifa al visitant que s'encongeix aclaparant per la pesantor que endevina sobre seu...». Y para

no alargar en forma tal vez excesiva estos ejemplos de alusiones literarias a la «Pedra de Girona», reproducimos, como colofón, unas palabras de S. Rusiñol que corresponden a su «Girona de pedra»: «...arriva a la Catedral i allí sabràs lo que és la pau que pot arribar a donar la pedra...».

* * *

Nuestro propósito, en estas breves páginas, es ofrecer una idea de cómo se formó y cuáles son las características de esta venerable piedra que se extrae de los bancos calizos que forman el inmediato relieve de «Les Pedreres», montículo situado al Este de la ciudad, que delimitan los cursos de los ríos Oñar y Galligans y, a Levante, el valle de la «Font de la Pólvora» que enlaza con el de San Daniel; «Les Pedreres», coronadas por la Torre de Alfonso XII, típico elemento de la silueta de nuestra Gerona, forman como un gran repostero que resalta la belleza del casco de la capital, y de sus canteras procede, filtrándose en verano a través de la fronda de hermosas acacias, el sonido de los golpes de «buiarda», contra los bloques líticos, como un canto perenne al Arte y al Trabajo.

Enfoque geológico

En los tiempos finales de la Era Primaria se produjo en la Tierra el movimiento orogénico herciniano que afectó a gran parte de Europa, hasta los Urales, e incluso las zonas de los actuales Montes Apalaches, tierras del Colorado y del Sahara. Uno de los fragmentos de los extensos relieves hercinianos corresponde a la zona axial de los Pirineos que finaliza, a levante, en nuestras Alberes. La parte basal de este Paleozoico pirenaico aparece intensamente afectada

por el metamorfismo provocado por las intrusiones graníticas producidas al final del Ciclo tectónico herciniano.

La referida actividad geológica puede relacionarse con la formación de las Sierras de Rosas y, prosiguiendo hacia el Sur, se suceden las montañas de Bagur, las Gavarres y el Montseny, *orografía que se prolongó hasta Mallorca.*

Por lo que a las Gavarres se refiere, y que es lo que bajo nuestro punto de vista más interesa, la falta de sedimentos Carboníferos y Pérmicos nos impide datar y fechar exactamente la edad de plegamientos que tuvieron lugar en ellas. Por semejanza y comparación con otras zonas del Sistema Mediterráneo (Santa Creu d'Olorde, Malgrat, Tibidabo, Montseny etc.) puede afirmarse la presencia de la fase bretónica entre el Devónico superior y el Carbonífero inferior, con lo cual cabe la posibilidad de considerar que las Gavarres són más antiguas que parte de los mismos Pirineos.

Ciñiéndonos más al tema que nos proponemos desarrollar, resulta de interés precisar que la cordillera herciniana, al terminar la Era Primaria, fue arrasada por la erosión. Debemos imaginarnos el paisaje de nuestras tierras, en aquellos remotos tiempos, como dominado por montes de silueta suave y penillanuras de simple ondulación. En esa penillanura postherciniana se diferenciaron seguidamente algunas cuencas sedimentarias que se mantuvieron con este carácter durante la Era Secundaria (nos referimos a unos 130 millones de años atrás). Y fue precisamente en estas cuencas sedimentarias donde se originaron grandes masas de calizas.

Las tierras emergidas que existieron en el lugar del planeta donde hoy se hallan nuestras comarcas, continuaban entonces hacia Oriente: abarcaron lo que es hoy el Golfo de León y las Islas Baleares. Al finalizar la Era Secundaria se inició un fuerte movimiento de elevación de tierras al cual, por compensación, determinó que se sumergiera, en forma de depresión, la zona que actualmente corresponde a los Pirineos Orientales, hasta las estribaciones del Montseny, entroncándose, al Este, con las Gavarres.

El inicio del Terciario corresponde a una especie de Edad «madura» del suelo de nuestras comarcas, cuya configuración resultó esencialmente análoga a la actual; es la época de sedimentaciones post-cretáceas, anteriores al glaciario y a los aluviones cuaternarios. Por ello, en el período Eoceno, (segundo Período del Terciario), las aguas que cubrían la depresión aludida (última invasión marina del centro de Cataluña) acumularon grandes cantidades de materiales calizos de origen secundario; la erosión y las perturbaciones provocadas por las aguas fueron causa de que, en esta última Era, abundasen toda clase de rocas detríticas: conglomerados, areniscas, así como arcillas, etc.; también los basaltos resultaron abundantes. Además, las aguas del Eoceno alojaron infinidad de seres marinos de organización sencilla, entre los

cuales deben destacarse los Foraminíferos denominados Nummulites, que ya existieron en la Era Secundaria e incluso se ha supuesto que alguna especie pudo corresponder a la Era Primaria (*). Como seres que caracterizan esa época interesa citar también los Miliolites y las Alveolinas.

En consecuencia, las materias acarreadas por las aguas fluviales hasta las masas hídricas que cubrían la referida depresión y los restos de los pequeños seres que éstas albergan, fueron los materiales que, en mayor proporción, se sedimentaron en su seno y ofrecieron los elementos fundamentales para la formación de las calizas que estudiamos.

Después del Eoceno, cuando había pasado ya la época de los reptiles, se iniciaba la aparición de nuevas y más numerosas especies de mamíferos y de pájaros, y la vegetación debía ser análoga a la actual, los Nummulites prácticamente desaparecieron probablemente porque el medio no les resultó idóneo; las condiciones químicas de las aguas (especialmente su salinidad o concentración de sales minerales) y las climáticas, debieron ser la causa de tal desaparición; no olvidemos que los fósiles equivalen a los «termómetros registradores de los climas pasados», de manera que por ellos podemos deducir que el clima del Eoceno fue más cálido y seco que durante el Cretáceo e incluso que el clima actual; pero, a partir de esta época, o sea al iniciarse el Oligoceno (Nummulítico superior) debió experimentar un paulatino enfriamiento y aumento en humedad. (En el Plioceno, último período del Terciario, llegamos al primer glaciario pirenaico).

Durante el Oligoceno y el Mioceno, períodos que precedieron al Plioceno pero que fueron posteriores a los Nummulíticos inferior y medio (Eoceno), las fuerzas endógenas se manifestaron enérgicamente; el Mar Tetis, situado al Norte de la extensión que hoy ocupa el Mediterráneo, experimentó la compresión de sus fondos y surgieron además los Pirineos, las Cordilleras Béticas, los Alpes y muchísimas más cadenas montañosas que prolongan el hecho orogénico hasta el lejano Himalaya (Plegamiento Alpino).

En los fondos marinos que correspondieron a nuestras comarcas, los materiales sedimentados no dejaron de experimentar un destacado proceso de emersión; las aguas se escurrieron hacia Levante y quedó configurada, más o menos exactamente, la orografía actual de las tierras gerundenses y la de su maravillosa costa. No obstante, aun subsistieron algunas lagunas sobrealadas en las tierras interiores, en las cuales se recogía el agua de algunos ríos pirenaicos y la

(*) En algún estrato calcáreo del carbonífero, en Rusia, se hallaron fósiles a los cuales se les dio el nombre de *Nummulina antiquior*, los cuales, por su similitud a los Nummulites, hizo suponer que, en la Era Primaria, aparecieron especies de este género de foraminíferos. Pero ya D'Archiach apreció que esos fósiles no eran, realmente, verdaderos Nummulites.

que provenía de las vertientes de los montes vecinos.

En el referido proceso de emersión aparecieron, las calizas de Gerona; y, más tarde, el piso de Bañolas. Las areniscas de «La Salut» (de San Feliu de Pallarols), que fueron consideradas anteriores a las citadas calizas, no deben serlo porque en esa típica y hermosa montaña (según nos ha ilustrado el geólogo Dr. Pallí, profesor en nuestra Facultad de Ciencias), hay Maciños que son superiores a las margas de Bañolas y a las calizas nummulíticas de Gerona. Estas tres capas, dice Alsius, nos revelan la cronología de las formaciones nummulíticas de la región central de la provincia y nos acusan la sucesiva pérdida de profundidad de los piélagos del mar en que aquellas tomaron origen. La típica caliza de Gerona, o sea la de las «Pedreres», no es margosa como la del «Pont Major», (también muy empleada en las edificaciones gerundenses), ni arenosa (Briof, hacia Serriñá); es una caliza compacta y resistente, y a pesar de que, por lo general, en toda ella hallamos restos nummulíticos (a veces escasos), la parte repleta de nummulites (que vulgarmente se califica de **avellanada**) forma un manto o estrato de unos 90 cms. de espesor, que se halla a mayor o menor profundidad y que obedece casi siempre a una inclinación E.W., hundiéndose en esta última dirección como orientada hacia la cuenca del Oñar.

La fisiografía actual de nuestras comarcas acusa las manifestaciones volcánicas y los movimientos sísmicos que se registraron con posterioridad, en el Cuaternario, a base, no obstante, de la persistencia de la estructura geológica fundamental que heredó del Terciario y ha quedado referida en las precedentes líneas.

Los Nummulites

Los Nummulites fueron — y decimos fueron porque hoy, prácticamente, ya no se hallan especies de estos protozoarios (*) — animales unicelulares del Orden de los Foraminíferos, seres esencialmente marinos cuyo cuerpo se caracterizó por poseer la protección de un complicado caparazón sólido en el cual podía cobijarse la masa protoplasmática; los Nummulites, como Rizópodos, poseían la facultad de emitir pseudópodos o sean prolongaciones de su protoplasma que, en ellos, resultaban largas y finas, ramificadas o reticuladas, con tendencia a anastomosarse (Mixópodos).

El referido caparazón de los Nummulites es de origen quitinoso y de naturaleza caliza. Cuando nos fijamos en estas protecciones no podemos eludir relacionarlas con las de ciertos Equinodermos, como los erizos de mar, y las de muchos Moluscos gasterópodos, los cuales, para la formación de sus conchas o revestimientos calizos, poseen tejidos diferenciados que cuidan de tal

misión; basta citar el conocido «manto» de los moluscos, con su producción de la escleroproteína denominada conquiolina, la cual parece cuida de fijar cristales de carbonato de calcio, y también, en menor escala, de fosfato de calcio, interesantísima faceta bioquímica que, Dios mediante, será otro día objeto de nuevo comentario al referirla a un molusco peculiar de nuestra comarca: el **Bolimus gerundensis**, Vidal. Los seres unicelulares que desarrollan una concha o caparazón, carecen, naturalmente, de células y mucho menos de tejidos diferenciados y especializados en fabricar tal protección; pero es indudable que, en su protoplasma, y de manera especial en las zonas periféricas del mismo (membrana más o menos diferenciada), registran también fenómenos de fijación de sales cálcicas, y la simetría y perfección con que esto se produce hacen pensar que es ineludible que tal obra obedezca a un mensaje genético particular y peculiar.

Hemos indicado que el caparazón de los nummulites es de origen quitinoso; la quitina, que precisamente es la substancia que integra, en destacada proporción, los exoesqueletos o corazas de insectos y crustáceos, es un derivado acetilado de un amino-azúcar; se considera una acetilglucosamina polimerizada, molécula que tiene cierta analogía con las de los ácidos grasos existentes en mucosas y cartilagos (Rondoni). Esta coincidencia, tanto en analogías, procedencias y resultados, permite presuponer que, de una manera u otra, algo semejante acontece en la estructuración o formación de los órganos de sostén de diversos animales, incluso vertebrados y, según Mathews, puede inducir incluso a formular consideraciones embriogénicas y filogénicas.

Con la teoría de Overton sobre la naturaleza de las membranas celulares y la supuesta «estructura mosaico» de las mismas, la cual equivale a considerar que moléculas de índole proteínica y lipoides se hallan yuxtapuestas como las losetas de un pavimento formando un estrato en el cual es lógico que no dejen de existir ciertos poros, hay que admitir que a través de la periferia de la masa protoplasmática y actuando ésta como membrana semi-permeable, pueden efectuarse intensos intercambios de substancias entre el interior y el exterior del protozoario.

Sentadas estas premisas, podemos formarnos una idea de cómo se estructuró la acumulación caliza que dio origen a los caparazones de los Nummulites y, posteriormente, a su fosilización, la cual se presenta muchas veces en forma que recuerda a monedas, y de ello se deriva su nombre (del latín, **Nummum**, moneda, y **lithos**, piedra). Estos protozoarios, como hemos dicho, vivían en aguas densas, cargadas de sales cálcicas, concentración que resultaba favorecida por la temperatura de la época y el estancamiento lacustre de la masa hídrica. La acidez del medio celular, que resulta asaz frecuente en estos tipos de protoplasmas (y en especial en los de tipo escleroproteico), la producción de Anhídrido car-

(1) En la actualidad sólo se hallan escasas especies de Nummulites en los mares de China y de la India.

bónico como producto de las combustiones y otros fenómenos intracelulares, y reacciones de indudable interés (*), permiten llegar, como resumen, a la conclusión de que el carbonato de calcio, sal insoluble, deriva a bicarbonato, sal soluble, y con tal solubilidad, hácese así posible la penetración de sales cálcicas en el protoplasma, sales que integrarán después el estrato periférico, el cual, al propio tiempo de actuar como tabique semi-permeable, oficia de lugar de acumulación y concreción de dichas sales cálcicas, especialmente carbonatos.

Un detenido estudio micrográfico de las paredes del caparazón de los Nummulites fósiles, y en especial de las paredes internas de los mismos, pues, como veremos, presentan muchos tabiques, canalículos y redcillas, denota que tales estructuras son de naturaleza caliza y que tienen cierta diferenciación en cada una de sus caras, posiblemente a raíz de la inicial estructura quitinoidea y de la subsiguiente acumulación caliza (inicialmente es posible que resulte, por lo general, de tipo cristalino).

El caparazón de los Nummulites, como buenos Foraminíferos, es perforado (foraminado); poseen un orificio principal que puede considerarse que actuó de boca y de ano, y, al propio tiempo, facilitó la salida de grandes pseudópodos; pero, además, como ya se ha adelantado, ese caparazón está atravesado por una red de numerosos canalículos y canales de mayor diámetro que se abren al exterior en poros por los cuales también pudieron emerger pseudópodos en forma de finas prolongaciones protoplasmáticas las cuales cuidaban de la progresión o locomoción del protozoo mediante movimientos más o menos reptiformes, los cuales servían, al propio tiempo, para captar o aproximar alimentos, (entre los que cabe imaginarse se hallaban pequeños vegetales de tipo bacilar), e incluso digerir dichas substancias alimenticias.

Como es lógico, estos canales y canalículos quedan determinados por tabiques que son igualmente de naturaleza calcárea, de los cuales ya se ha hecho mención y que tuvieron un inicio reticular. Tal serie de canalículos y de pequeñas cámaras, que justifica se clasifique a los Nummulites como Politalámicos, establecen una intercomunicación profusa; por esos conductos pudo continuar prolongándose la masa protoplasmática a pesar de que los orificios, por su reducido diámetro, la estrangulaban de manera tan eficaz, que aquélla debía quedar prácticamente fraccionada, apareciendo el citoplasma (cuerpo sarcódico) como «dividido incompletamente en segmentos yuxtapuestos y formando, en conjunto, como una colonia de zoilos o individuos asociados», lo cual no equivale a decir que la comunicación intercitoplástica dejara de existir.

(*) Como las formuladas por Meldrum y Roughton (1933), acciones de tipo enzimático (Anhidrasas carbónicas y Ureasas) estudiadas por Hamen y Wilburg (1959), fenómenos de decarboxilación con base en Oxaloacetato (Wilburg y Jodreu - 1955), y en propianato (Hammen y Wilburg - 1959), estos que, en su turno, se convierten en intermediarios del famoso Circo de Krebs).

En el sarcoda pudieron hallarse varios núcleos (derivados segmentados de un núcleo primitivo), de manera que esa segmentación y aparente polinucleosis ha hecho dudar, incluso, sobre si realmente los Nummulites son protozoarios o bien seres pluricelulares.

Es difícil considerar si, en realidad, el protoplasma de los Nummulites pudo ofrecer una diferenciación entre la parte ectoplásmica, de contextura hialina, y la otra, endoplásmica, granulosa; créese que no, pero sí podemos atrevernos a considerar que el protoplasma contuvo vacuolas pulsátiles que derivaron a formas de configuración cambiante entre sí.

En la red canalífera y de cámaras internas de los Nummulites existen sectores de mayor diámetro y otros de carácter secundario, de intercomunicación, más reducidos. Los primeros se hallan dispuestos en forma espiral; según las especies, hallamos canales no sólo de diferente tamaño o diámetro, y de diferente sección (aplanamiento del conjunto), sino de muy variado número de vueltas en espiral (de 5 a 40 vueltas).

El diámetro de los Nummulites es también muy variable, según las especies (de 2 a 60 milímetros de diámetro).

Parece indudable que la formación en espiral que ofrecen los grandes y principales canales de estos rizópodos denota que su crecimiento obedeció a un sentido espiraliforme, es decir, que al producirse nuevas cavidades quedaban sentadas sobre las precedentes como un arrollamiento en espiral; se supone que los fragmentos nucleares debieron pasar de los espacios viejos a los más recientes, lo cual explicaría tal forma de crecimiento, materializándose así el mensaje genético que lo determina, mensaje que no se reduce a fijar un tipo o dimensión de pared, sino que supone ser presidido por un canon de bioarquitectura a base del referido desarrollo espiraliforme, con sus peculiares columnillas, retículos y refuerzos arqueados que delimitan los espacios alveolares y los canalículos.

El proceso de reproducción de los Nummulites parece ser que obedeció a dos tipos de multiplicación: «una asexual o esquizogónica, cuyos mesozoitos crecían, secretaban la concha o caparazón inicial y salían finalmente por la boca debido a la ruptura de la concha materna; y otra, sexual, en la que los gametos, nacidos en gran número en los individuos asexuados, eran zoosporas y se conjugaban por parejas formando cigotos o huevos que producían los nuevos individuos». Los seres resultantes de la reproducción esquizogónica tenían caracteres diferentes a los engendrados por conjugación, constituyendo esto un dimorfismo que es difícil, pero no imposible, apreciar en los fósiles de la «Pedra de Girona».

Especies de Nummulites que más se distinguen en la «Pedra de Girona».

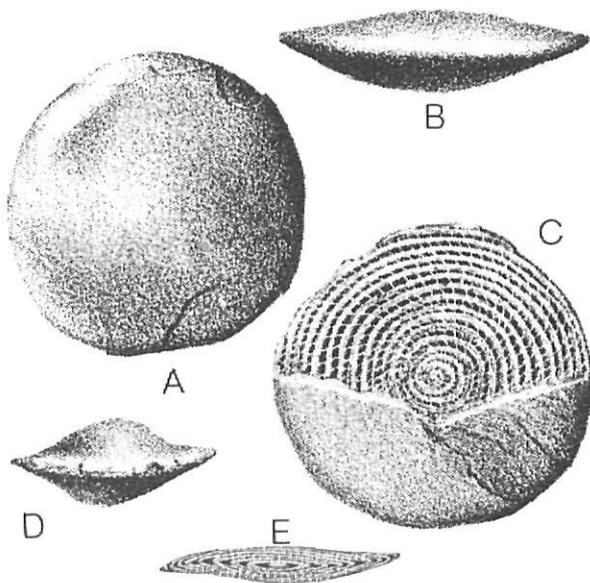
Es ciertamente difícil identificar con exactitud las especies de Nummulites que integran una

caliza gerundense; en primer lugar, los *Nummulites* se hallaron extensamente difundidos en nuestro planeta, de manera que aparecen fósiles de ellos en gran parte de las tierras eurásicas, desde el Atlántico al Tibet, y a la China y en otros lugares. Al examinar diferentes calizas nummulíticas no resulta sólo difícil la identificación de especies y variedades, sino el valorar la proporción en que las mismas figuran, e incluso llegar a determinar la especie preponderante sobre otros componentes.

Y si a estos restos fósiles les añadimos la posible presencia de huellas de otros seres (moluscos, equinodermos, políperos, etc.) se comprende la complicación que adquieren los problemas que acostumbra ofrecer la Naturaleza.

D'Archiach llegó a considerar 52 especies de *Nummulites*; la distribución geográfica (y, en consecuencia, geológica) de los mismos, le permitió establecer 23 tipos de sedimentaciones características. En lo que concierne a la región pirenaica occidental, el ilustre paleontólogo destacó la presencia de doce especies. En cuanto se refiere a las comarcas gerundenses, nosotros debemos reconocer el no haber realizado — por falta de medios — un trabajo exhaustivo en identificación de especies; es una labor ímproba debido al polimorfismo que se registra y a la irregularidad de las integraciones; a pocos metros de distancia se hallan tipos de aglutinado nummulítico que, si no merecen el calificativo de dispares, sí resultan asaz diferenciados y de muy diversa intensidad o proporción de presencia de fósiles nummulíticos.

Creemos que los *Nummulites* fósiles que se destacan en las calizas gerundenses corresponden en gran parte a las cinco especies siguientes:



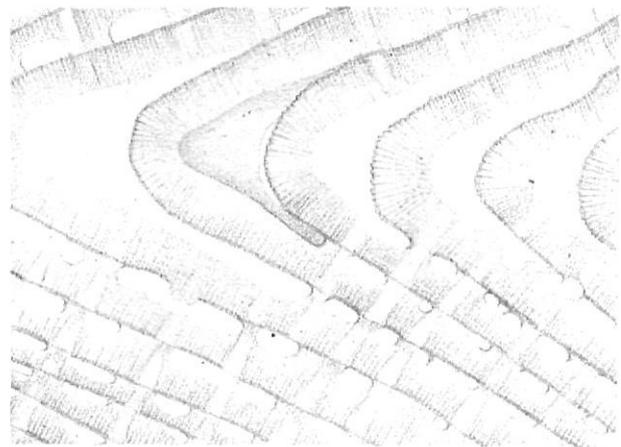
NUMMULITES LAEVIGATA, Lamk.

A) Parte superior. B) Perfil. C) Aspecto del foraminifero mostrando parte de su espira. D) Forma hinchada en la parte central. E) Corte transversal (corresponde a la variedad A). — ($\times 2$).

Nummulites laevigata, Lamk. — La forma de su caparazón es a veces comprimida y plana, o ligeramente ondulada, con borde flexuoso que en ciertos casos resulta casi cortante; pero también se presenta en formas mucho más abombadas. Sus dimensiones suelen ser las siguientes: las formas planas alcanzan hasta los 20 mm. de diámetro y tienen 3 milímetros de espesor; las formas abombadas reducen algo el diámetro y llegan a los 6 mm. de grosor; las más globulosas, quedan a unos 9 mm. de diámetro y mantienen los 6 mm. de espesor. La superficie de los *Nummulites* de esta especie acostumbra ser uniforme y lisa, mostrando grandes poros; los poros menos grandes corresponden a las zonas de mayor grosor. El espiral suele presentar 19 vueltas. Las paredes internas tienen, por lo general, un grueso uniforme, pero también puede ser variable y ofrecer incluso desdoblamientos si las paredes tienden a separarse; si por el contrario, las paredes se aproximan, llegan a aparecer como soldadas. Las columnillas no se corresponden exactamente en sentido radial. Los tabiques son arqueados y presentan una inclinación aproximada de 24°. Se cuentan unas 60 cámaras en la vuelta en espiral que corresponde a la mitad de su radio, o sea a unos 5 mm. del centro. A medida que prosiguen las vueltas en espiral, las separaciones o tabiques

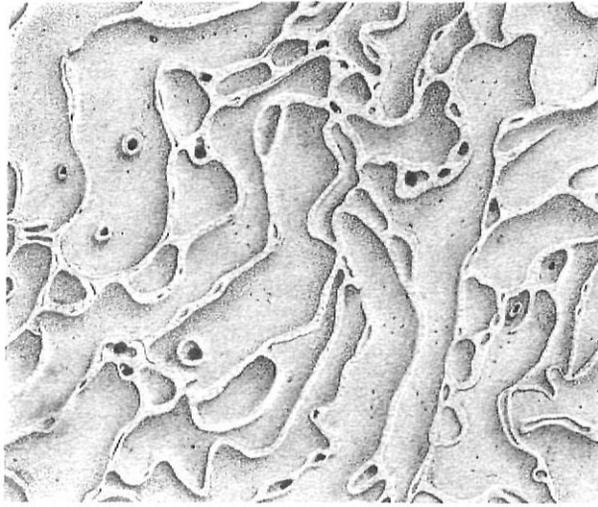


Detalle de las espiras del *Nummulites laevigata, Lamk.*

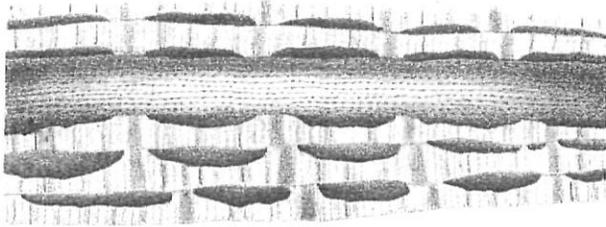


Parte de un corte transversal y central de un *Nummulites laevigata, Lamk.*, mostrando el detalle de las estructuras internas (lámina en espiral, canales y canaliculos). — (D'Archiach). — ($\times 30$).

aparecen más distanciados. El corte transversal de estos Nummulites tiene sección elíptica más o menos alargada. La especie laevigata es una de las más difundidas en Europa, pero no es corriente en las calizas nummulíticas del resto de España.



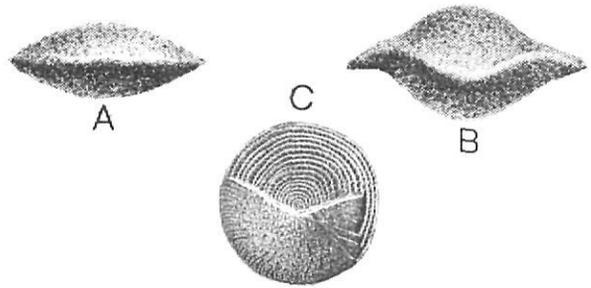
Vista de la superficie de la lámina espiral mostrando la disposición de las redcillas ramificadas y la disposición de los poros o aperturas de los canaliculos de un Nummulites laevigata, Lamk. (D'Archiach). — (× 30).



Corte transversal de la parte intermedia entre el borde y el centro de un Nummulites laevigata, Lamk, apreciando los detalles de tabiques y canaliculos. — (D'Archiach). — × 30).

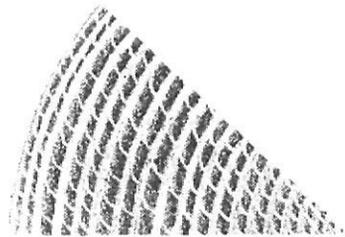
Nummulites scabra, Lamk. — De caparazón lenticular, deprimido o hinchado, subgloboso y deformado, tiene los bordes bastante redondeados y raramente cortantes. Sus dimensiones son las siguientes: 14 mm. de longitud en su eje mayor por 5 mm. de espesor. Hay formas más deprimidas que sólo llegan a 3 mm. de grueso. Los más globulosos alcanzan 8 mm. de longitud por 5 o 6 de grosor. Aparecen gran variedad de formas intermedias. La superficie de los N. scabra resulta granulosa, con granulaciones más o menos juntas y pronunciadas que a veces son reemplazadas por finos repliegues. El número normal de vueltas de su espiral es de 18 en un radio de 7 mm.; las capas resultan delgadas, regulares pero sub-equidistantes; el espesor de las

paredes viene a ser la mitad de las alturas de las cavidades o logias internas. Los tabiques son poco arqueados e inclinados; aparecen en número de 60 a 70 en el radio intermedio, o sea a 3,5 mm. del centro. De sus basamentos parten como redcillas que acaban por traducirse en las granulaciones de la superficie. Obsérvase en esta especie gran polimorfismo, tanto en cavidades, espesores de láminas, redcillas, etc., El corte transversal da una sección elíptica alargada que termina en ojiva. Por lo general, el N. scabra es de menor diámetro que la especie laevigata, o sea aparece más grueso y más regularmente lenticular. D'Archiach dice que no conoce la existencia de esta especie en los Pirineos occidentales, tanto en la parte francesa como en la española, y añade que no tiene certeza de que se halle en los Pirineos orientales, lo cual presupone que otros también han considerado su presencia en esta zona.



NUMMULITES SCABRA, Lamk.

A) Perfil. B) Forma hinchada en su parte central. C) Aspectos de la superficie y de las espiras. — (× 2).



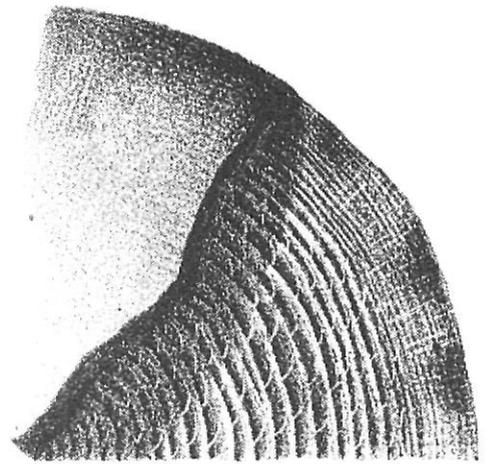
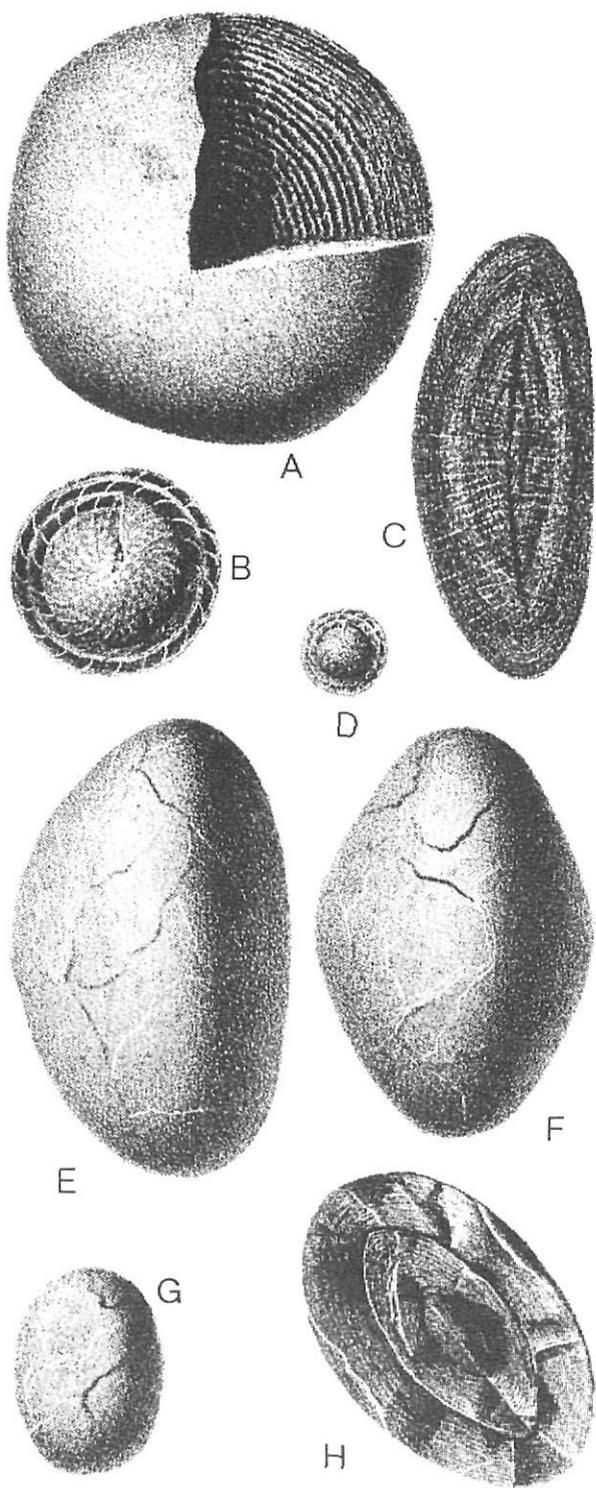
Detalle de las espiras de un Nummulites scabra, Lamk. (× 4).



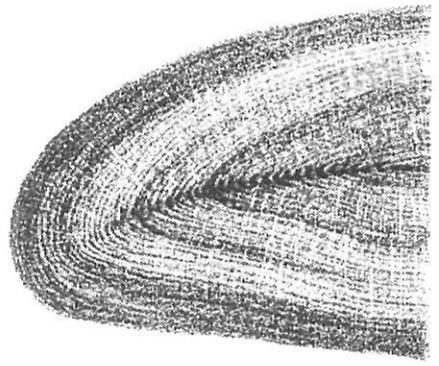
Corte transversal de un Nummulites scabra, Lamk, mostrando los detalles estructurales. — (D'Archiach). — (× 30).

Nummulites perforata, Orb. — Presenta varias formas de caparazón: de lenticular a bastante hinchado en las formas jóvenes. Las formas deprimidas tienen unos 20 mm. de diámetro y 3,5 mm. de espesor; las hinchadas jóvenes, sólo

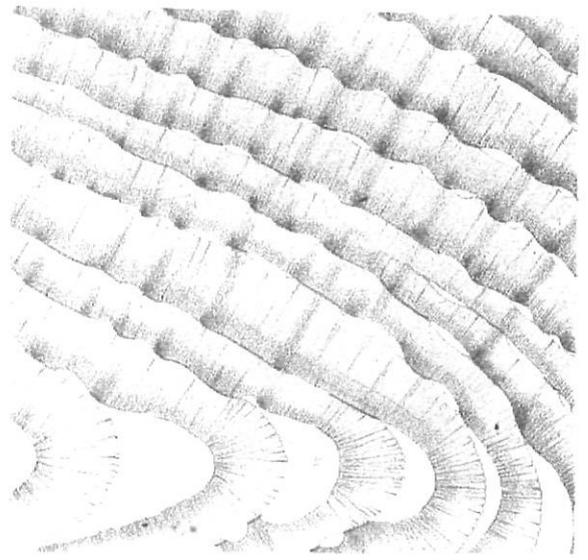
alcanzan de 5 a 6 mm. y son globulosas; pero otras formas también hinchadas llegan a 30 mm. por 18 de grosor. Su superficie es, con frecuencia, ligeramente ondulada, con puntos que manifiestan las repercusiones sinuosas de los tabi-



Segmento de *Nummulites perforata*, Orb. mostrando la espira y el aspecto de su superficie. — (× 4).



Detalle de un corte transversal de *Nummulite perforata*, Orb. — (× 4).



Porción de un corte transversal de *Nummulites perforata*, Orb., mostrando sus detalles estructurales. — D'Archiach). — (× 30).

NUMMULITES PERFORATA, Orb.
 A) Aspecto de la parte superior con un sector de espiras al descubierto. B) Forma joven. C) Corte transversal. D) Otra forma joven. E, F y G) Otras formas en que se presenta este foraminífero. H) Fisiura transversal natural mostrando la separación de las vueltas en tres zonas. — (× 2).

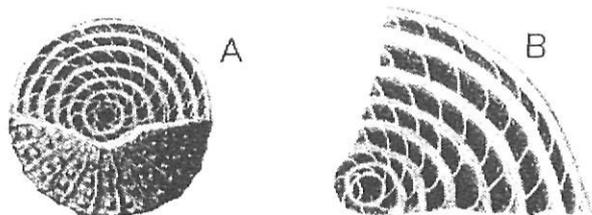
ques; las irregularidades se hacen más patentes hacia el centro del disco. Su espiral llega a tener 36 vueltas (radio de 13 mm.), las cuales resultan más recias y espaciadas como más cercanas se hallen al centro; las vueltas exteriores acostumbra ser más delgadas y juntas, hasta quedar sumamente próximas. Los tabiques se hallan con una inclinación aproximada de 30°, sujetándose a las redcillas por su base. Se cuentan 48 logias por vuelta a mitad de radio, quedando éstas más espaciadas en las espiras más periféricas. El corte transversal resulta elíptico subregular, más o menos alargado. Es esta especie, con su vasto polimorfismo, una de las más corrientes en nuestras calizas; parece ser que subsistió e incluso caracteriza al segundo período del Nummulítico superior.



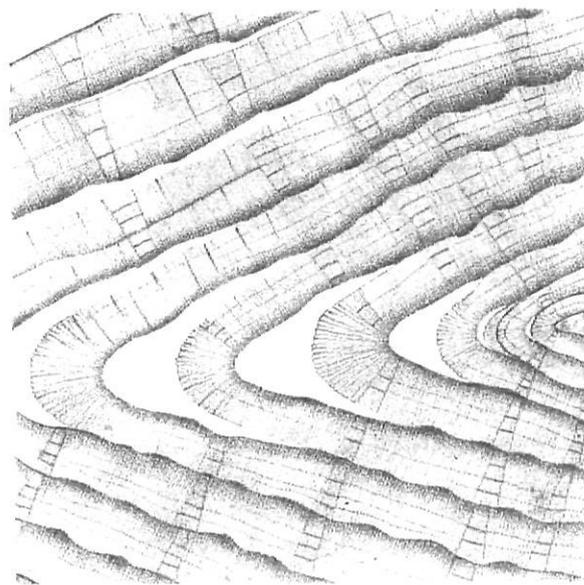
NUMMULITES LUCASANA, DeFr.

A) Parte superior. B) Perfil. C) Forma muy joven. D) Perfil de una forma deprimida. — (× 2).

Nummulites lucasana, DeFr. — Su caparazón es lenticular o sub-globoso. El tamaño oscila entre 5 y 6 milímetros por 3 a 3,5 mm. de espesor. La superficie del radiolario muestra granulación, menos numerosas y pronunciadas hacia los bordes; en alguna variedad de esta especie (a) se nos ofrecen repliegues rectos o sinuosos, simples o bifurcados, que resultan más visibles hacia la periferia que hacia el centro. El borde es redondo o poco afilado. El número de vueltas del espiral es, de corriente, siete; resultan regulares, equidistantes y de espesor bastante uniformes. Esta especie posee una «logia» central grande y aparente, que le caracteriza. Las capas que delimitan las cámaras son delgadas, pero como superpuestas y de textura algo transparente. Sus tabiques quedan poco arqueados y con escasa inclinación; se calculan unos 24 tabiques por vuelta completa en el sector que corresponde al radio medio del Nummulites. El corte transversal adquiere forma elíptica, en ojiva. Precisa mucha atención distinguir los N. Lucasana de los



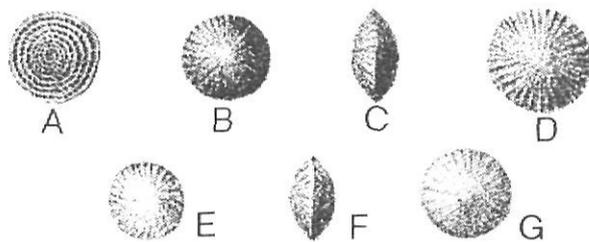
A) Aspecto de la superficie exterior y parte de la espira de un N. — (× 2). B) Detalle de la espira. — (× 4).



Parte de un corte transversal de *Nummulites lucasana*, DeFr. — (D'Archiach). — (× 36).

N. perforata jóvenes; los primeros son más globulosos, su diámetro no pasa de 6 a 7 mm. y poseen repliegues y granulaciones que no se observan en la especie perforata. Cuando estas granulaciones típicas de los N. Lucasana desaparecen por causas externas, cosa frecuente, se observan como puntos redondos (poros) que se destacan por claro sobre el fondo y que se agrupan hacia las cúspides, quedando los mayores en la parte central. Esta especie, en dos variedades, abunda en España, de Santander a Cataluña.

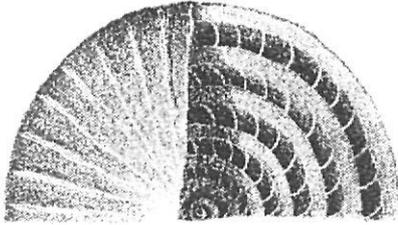
Nummulites Ramondi, Dfr. — Poseen caparazón sub-globoso o lenticular, regular, cubierto de finos repliegues, rectos o algo flexuosos, a menudo bifurcados o radiados, que van engrosándose. El borde resulta más o menos cortante. Las dimensiones se reducen a unos 6 mm. de diámetro por 2,5 mm. de grueso. Los poros de la parte central son pocos, pero de buen tamaño. El número de vueltas del espiral puede cifrarse en 9; las espiras son regulares y determinan la altura de las cámaras. Los tabiques, que son bastante



NUMMULITES RAMONDI, DeFr.

A) Corte perpendicular. B) Parte superior. C) Perfil. D) Parte superior variedad A. E) Parte superior variedad B. F) Perfil variedad C. G) Parte superior variedad G. — (× 2).

regulares, quedan algo arqueados o inclinados. Poseen unas 24 cámaras en la 3.^a espira, 28 en la 4.^a, 32 en la 5.^a y 44 en la sexta. El corte transversal resulta elíptico. Se conocen cuatro variedades de esta especie, que es, sin duda, una de las más difundidas en España y constante en las calizas del perímetro mediterráneo.



Aspecto de la superficie de un *Nummulites Ramondi*. Defr. y detalle de la estructura de sus espiras. — ($\times 8$).

Formación de las calizas nummulíticas. — Es indudable que una buena parte de los materiales que integran la corteza terrestre son debidos a la sedimentación de restos de organismos pretéritos. La acción vital de muchos seres marinos produce abundantes estructuras en las cuales predomina el carbonato de calcio. En la época actual y en las zonas tórridas de los mares, constatamos la masiva formación de bancos coralíferos; las acumulaciones de conchas de moluscos y caparazones de otros seres, como por ejemplo equinodermos, se registra también, en la actualidad, en las proximidades de los continentes.

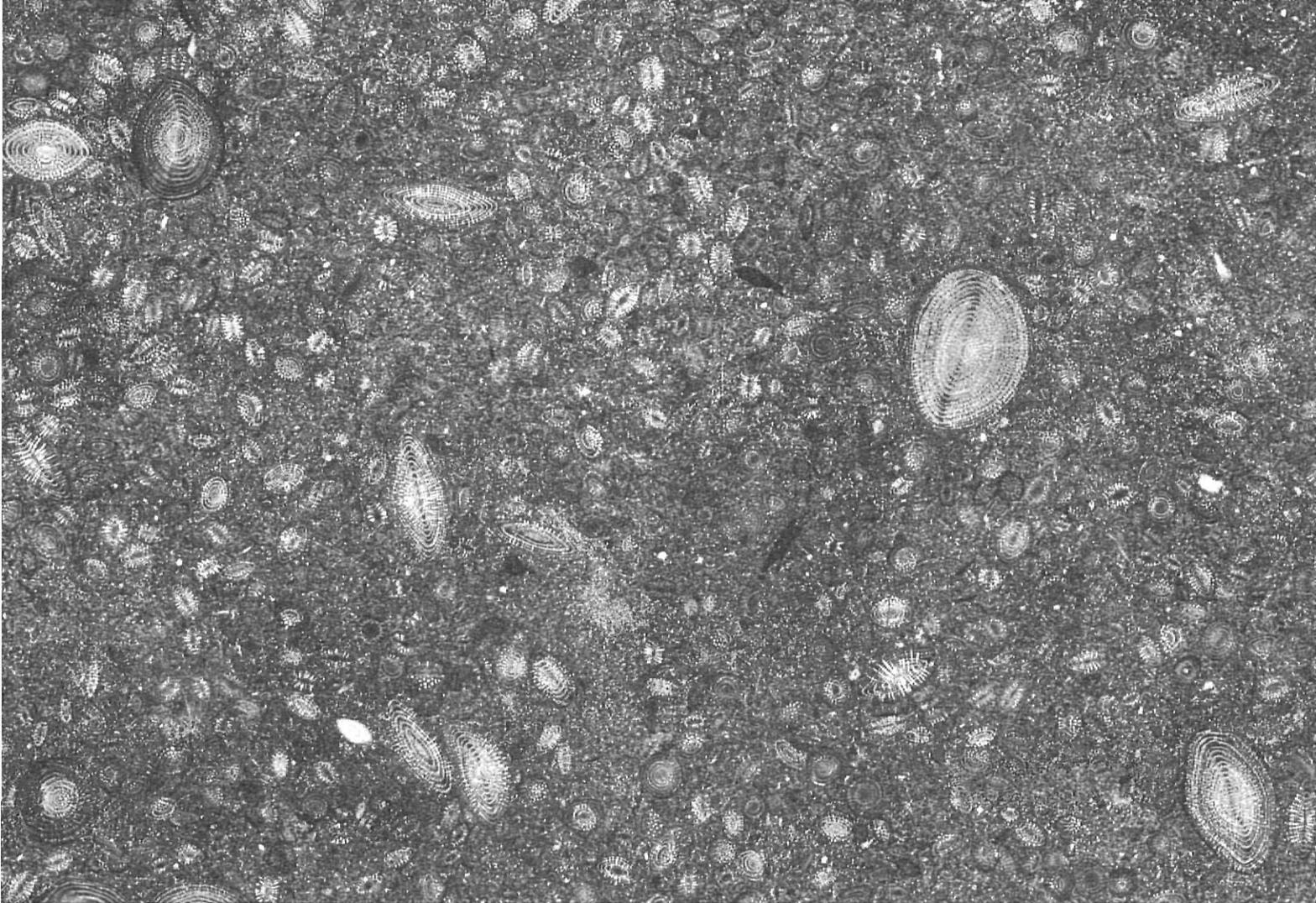
Cuando las aguas marinas y en las zonas donde los foraminíferos proliferan con destacada prodigalidad, contienen protozoarios de este tipo ya muertos, sus caparazones se sedimentan formando estratos calizos semejantes a la creta. Es lógico que cuando las aguas contuvieron ingentes cantidades de Nummulites, a la muerte de estos sus caparazones se posasen en los fondos marinos integrando masas de considerable espesor; dichos caparazones fueron experimentando, paulatinamente, un proceso de fosilización por impregnación de sales minerales (cálcicas especialmente) que substituyeron la parte ocupada por la masa celular que el propio caparazón protegía; además, la presión de las aguas sobre los fondos marinos y los fenómenos físico-químicos propios del medio, determinaron que los referidos materiales cálcicos se transformaran en depósitos de calcita y también de aragonito; tanto los cristales de Calcita como los de Aragonito son anhidros; los primeros obedecen cristalográficamente a formas exagonales romboédricas, mientras que los de aragonito corresponden al sistema rómbico.

El aragonito se halla de manera especial cuando las estructuras calcáreas proceden de organismos vivos, mientras que las calcitas típicas obedecen muchas veces, puramente, a depósitos de origen químico.

Las aguas en que se sedimentaron los caparazones de los Nummulites debían contener, de manera especial, yeso (en gran cantidad) y bicarbonato del mismo catión (en menor escala). A la sedimentación natural de los caparazones debió unirse la sedimentación de sales cálcicas, las cuales actuaron como de masas incrustantes y como aglutinadoras (cemento), y cooperadoras (materiales de relleno), en la formación de las «couches» calizas. La génesis de esas calizas resultó y resulta un proceso ciertamente complejo por intervenir, como hemos dicho, factores de índole físico-química; por ejemplo, Buch y Gripenberg han precisado que la presión hidrostática es un factor importante porque incrementa la solubilidad del carbonato de calcio; también resultan interesantes los factores térmicos (temperaturas de la masa).

La pureza química de las calcitas sedimentarias, refiriéndose a la molécula Carbonato de Calcio, no puede ser excesiva; otros factores, también de orden químico, algunos incluso relacionables con la vida que se desarrolla en el ambiente calcitígeno, influyen en la integración o composición del complejo sedimentado. Por ejemplo: no puede excluirse, en las aguas donde se producen sedimentaciones calizas, la presencia de restos de la vegetación que arrastran las lluvias y de vegetales que viven en su seno (no nos referimos a las algas que, como las Halimeda y las Lithothamnias, se incrustaron masivamente de carbonato de calcio y contribuyeron a formar cienos calizos). Los vegetales que viven en el medio acuoso tienen necesidad, para su nutrición, de Anhídrido carbónico, pues deben desarrollar fenómenos de fotosíntesis, y obtienen el citado anhídrido del bicarbonato de calcio solubilizado, con lo cual se favorece la formación de carbonat-iones que dan origen a los carbonatos, los cuales, por su insolubilidad, se depositan en el fondo del lugar.

Otras plantas, y es interesante destacarlo pues en el Terciario abundó la vegetación, producen y segregan ácidos orgánicos que actúan sobre óxidos de hierro que contiene el suelo, lo disuelven y así forman después compuestos de este catión que pasan a integrar los fangos y también acaban por sedimentarse; la parte orgánica de esos vegetales acaba por descomponerse en ácido carbónico y agua, mientras de que el hidrato férrico queda incrustado en la sedimentación.



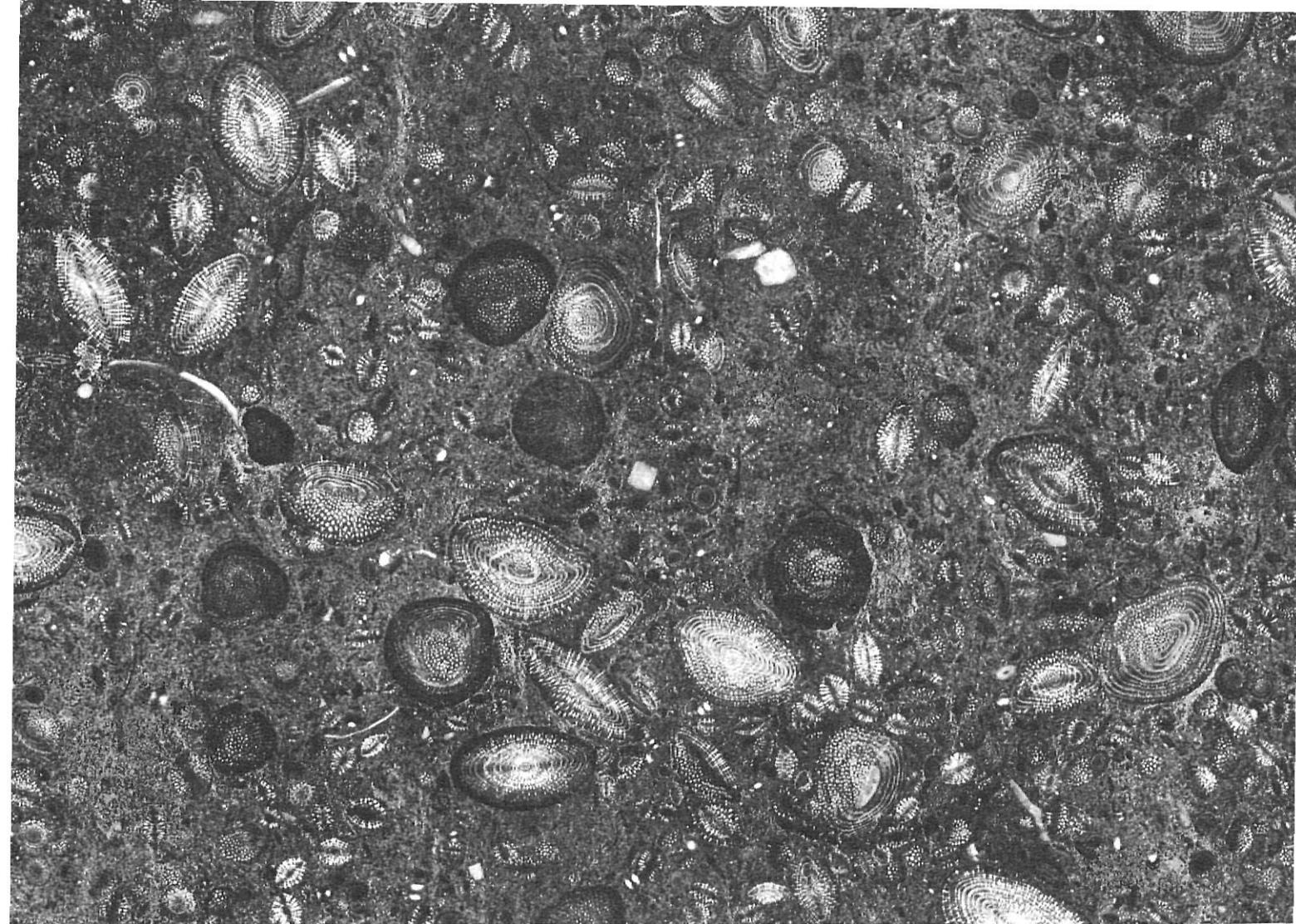
Aspecto de un corte pulimentado de la caliza nummulítica de "Les Pedreres", de Gerona. — ($\times 2$).

No es difícil imaginarse que los fenómenos químicos que se producen o pueden producirse en la formación de depósitos calizos, son variadísimos, tanto en cambios de cationes como en cambios de aniones; nos limitaremos a citar dos detalles que creemos son buena muestra de todo ello: uno es la precipitación de otros carbonatos mediante la presencia de caliza. En efecto, «si se trata polvo de Calcita con solución de carbonatos de hierro, zinc o magnesio en agua carbónica, la Calcita se mantiene disuelta mientras se depositan los otros carbonatos citados por razón de ser sales menos solubles». Otro, es que el hidrato férrico puede precipitar por la Calcita; introduciendo ésta en una solución de cloruro férrico, se forma un precipitado de carbonato férrico ($+ 3 H_2O$), al propio tiempo que se disuelve el espato calizo.

Las calizas nummulíticas de Gerona ofrecen de manera especial tonalidades azuladas y ocres, dependiendo tales coloraciones de la proporción en que se hallan los citados y otros cationes adicionales.

Y no tienen menor importancia los fenómenos de naturaleza físico-química, pues, por ejemplo, en lo referible a carbonato de calcio, Sverdop, Johnson y Fleming, del Instituto Oceanográfico de Oslo, de la Marina USA y de la Universidad de Washington, respectivamente, han demostrado que tales moléculas, formadas por reacción entre otras que fueron solubles y quedaron luego precipitadas por su insolubilidad, pueden redisolverse en determinadas condiciones (como las de presión, antes referidas), reconociendo además, todos ellos, que los fenómenos físico-químicos que pueden intervenir en estas génesis son aun muy desconocidas y, fatalmente, complicadísimos. Otro interesante ejemplo que se relaciona con la precipitación del Hidrato férrico ante la Calcita, es el demostrado por Senormont al realizar esta reacción a altas presiones, pues, mediante ellas, logró un precipitado de óxido anhidro (Fe_2O_3).

Y a todo ello debe añadirse otro tipo de fenómenos no menos interesantes; nos referimos a la seudomorfosis que pudieron experimentar estos



Aspecto de un corte pulimentado de la Piedra caliza de Amer. — (× 2).

materiales en el transcurso de tantos siglos, o, mejor dicho, millones de años derivados de cambios de textura que se traducen en caracteres físicos, como por ejemplo endurecimiento, cambios de forma, cambios químicos, etc., derivados unos u otros de las aguas telúricas, de vapores y gases también intraterrestres, cambios de temperatura, movimientos geodinámicos, intrusión de otros elementos debida a causas diversas (como son las volcánicas) y de la influencia de otros fenómenos químicos registrados en materiales contiguos.

Las características físicas de las calizas especialmente las de resistencia (factor interesantísimo cuando se emplean como material de construcción), dependen del conjunto de factores que determinaron su petrificación.

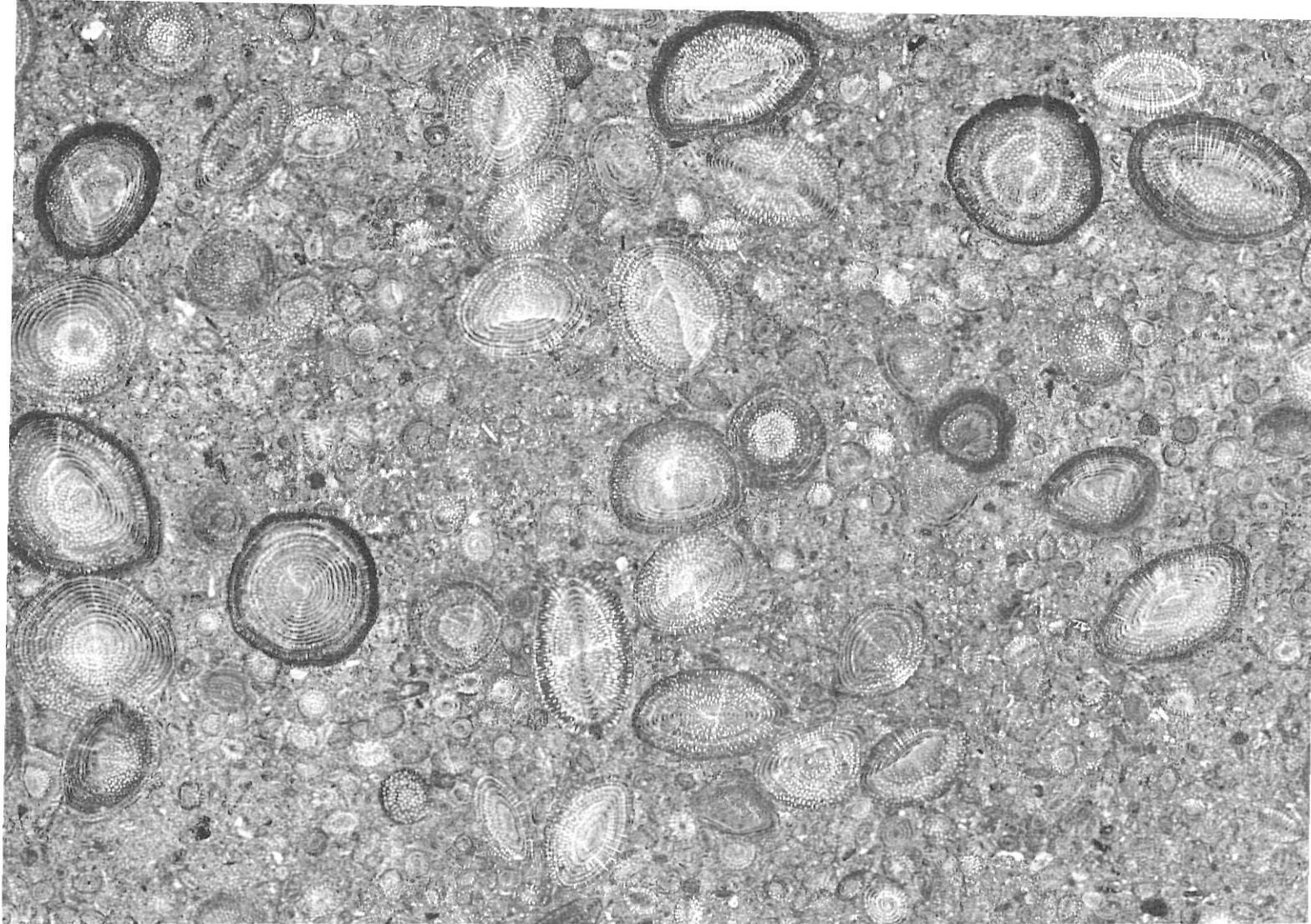
La erosión

Observando los bloques de piedra de los muros de las casas gerundenses, los detalles archi-

tectónicos esculpidos de algunos de los mismos, e incluso las losas de sepulturas y pavimentos, apreciamos que mientras la superficie de unas han resistido magníficamente el paso del tiempo, otras acusan muchísimo la acción erosiva de los elementos, resaltando en éstas la superior resistencia de los fósiles de Nummulites que se mantienen más íntegros, haciendo la erosión mayor mella en la masa caliza que los aglutina.

Estas diferencias son debidas a que las calizas más margosas, como las procedentes de las canteras del «Pont Major» resultan menos resistentes debido, probablemente, a ser margosa, a su menos recia contextura que se traduce como en una mayor porosidad de sus superficies exteriores. Tal diferencia de textura es atribuible a que su masa soportó presiones menores que las otras más resistentes, diferencia de presión que se traduce también en una menor proporción y engarce de sus moléculas cristalizadas.

Las causas o elementos que provocan la erosión de la piedra, son especialmente dos: la



Aspecto de un corte pulimentado de la caliza nummulítica de las canteras de "Pont Major", de Gerona. — ($\times 2$).

acción del agua y la acción de esos líquenes que doran y aterciopelan la superficie de las piedras.

La acción del agua de lluvia, como disolvente, es prácticamente nula; ahora bien, el agua, que cuando llueve o hay niebla moja las superficies exteriores de las piedras y penetra incluso algo en sus poros, no deja de experimentar las modificaciones de volumen que le son características. Es sabido que el agua, a los 4 grados Centígrados, es cuando tiene menor volumen; en consecuencia, cuando el agua infiltrada alcanza los cero grados y se convierte en hielo, forma microcristales cuyo volumen es superior al que tenía el agua que los integra cuando se hallaba a cuatro grados sobre cero, cristales que a pesar de ser tan considerablemente pequeños actúan como de cuñas microscópicas, pero potentes, que resquebrajan y disgregan las partículas de las capas más superficiales de la caliza; el viento y la lluvia cuidarán de llevarse las partículas disgregadas y esa erosión en cada momento tan ínfima, con el tiempo adquiere sensible e importante proporción.

Los Nummulites fosilizados ofrecen a la erosión mayor resistencia que la masa aglutinante; quedan como «avellanas» que sobresalen de la roída superficie de la piedra. Esta mayor resistencia puede atribuirse a la naturaleza cristalina del caparazón fosilizado, aspecto del cual ya nos hemos ocupado en el tercer apartado, al referirnos a las características de estos rizópodos.

En cuanto a la acción de los líquenes anteriormente aludidos, tratase de un fenómeno de penetración de los filamentos de las ricinas y de posibles micelios comparables al de penetración de las raíces de los pinos entre las rocas de nuestra costa; en el hecho puede intervenir alguna substancia de carácter ácido, propia de estos simbióticos vegetales, la cual facilite la descomposición del Carbonato de Calcio; y también cabe la posibilidad de que la parte acuosa de los filamentos referidos (que equivale a un elevado tanto por ciento de su masa), experimente congelación y la dilatación con el consiguiente y disgregador aumento de volumen.



Caliza nummulítica erosionada. Corresponde a bloques líticos de la fachada de la Catedral de Gerona. — (× 2).

La «Pedra de Girona» como material de construcción.

CARACTERISTICAS TECNICAS:

Estructura: compacta y uniforme.

Fractura: plana, pero a veces con tendencia a concoidea.

Densidad: de 2,69 (la del «Pont Major» = 2,89 y la de Amer = 2,79).

Imbibición: promedio 2,44 %; más acentuada en la piedra de color ocre que en la gris.

Dureza: mediana (de 3 a 3,5 de la Escala de Morhs).

Valor de las cargas de rotura:

Presión: 800 Kgr./cm².

Tracción: 25 idem.

Cortadura: 60 idem.

Pérdida de resistencia en máxima absorción de agua: 19,7 %.

Carga admisible (coeficiente seguridad):
mínimo 1/10
máximo 1/20.

Resistencia al desgaste: promedio (Dorry — arena cuarzo — 2 Kg/cm² — 4.000 vueltas) — 12 mm.