

Solé'

1951

F-8  
490  
11

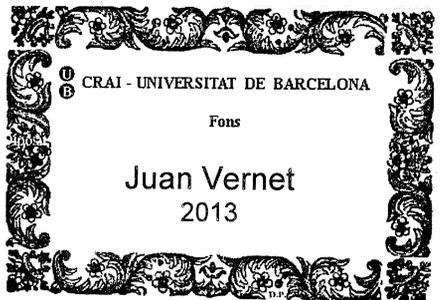
UNIVERSIDAD DE BARCELONA  
*DISCURSO INAUGURAL DEL AÑO ACADÉMICO 1956-57*



ENTRE LA GEOLOGÍA  
Y LA HISTORIA

POR EL  
Dr. D. L. SOLÉ SABARÍS

BARCELONA  
1956



① CRAI - UNIVERSITAT DE BARCELONA  
②

Fons

Juan Vernet  
2013

$$\frac{F-8}{390} = 11$$



UNIVERSIDAD DE BARCELONA  
*DISCURSO INAUGURAL DEL AÑO ACADÉMICO 1956-57*



ENTRE LA GEOLOGÍA  
Y LA HISTORIA

POR EL  
Dr. D. L. SOLÉ SABARÍS

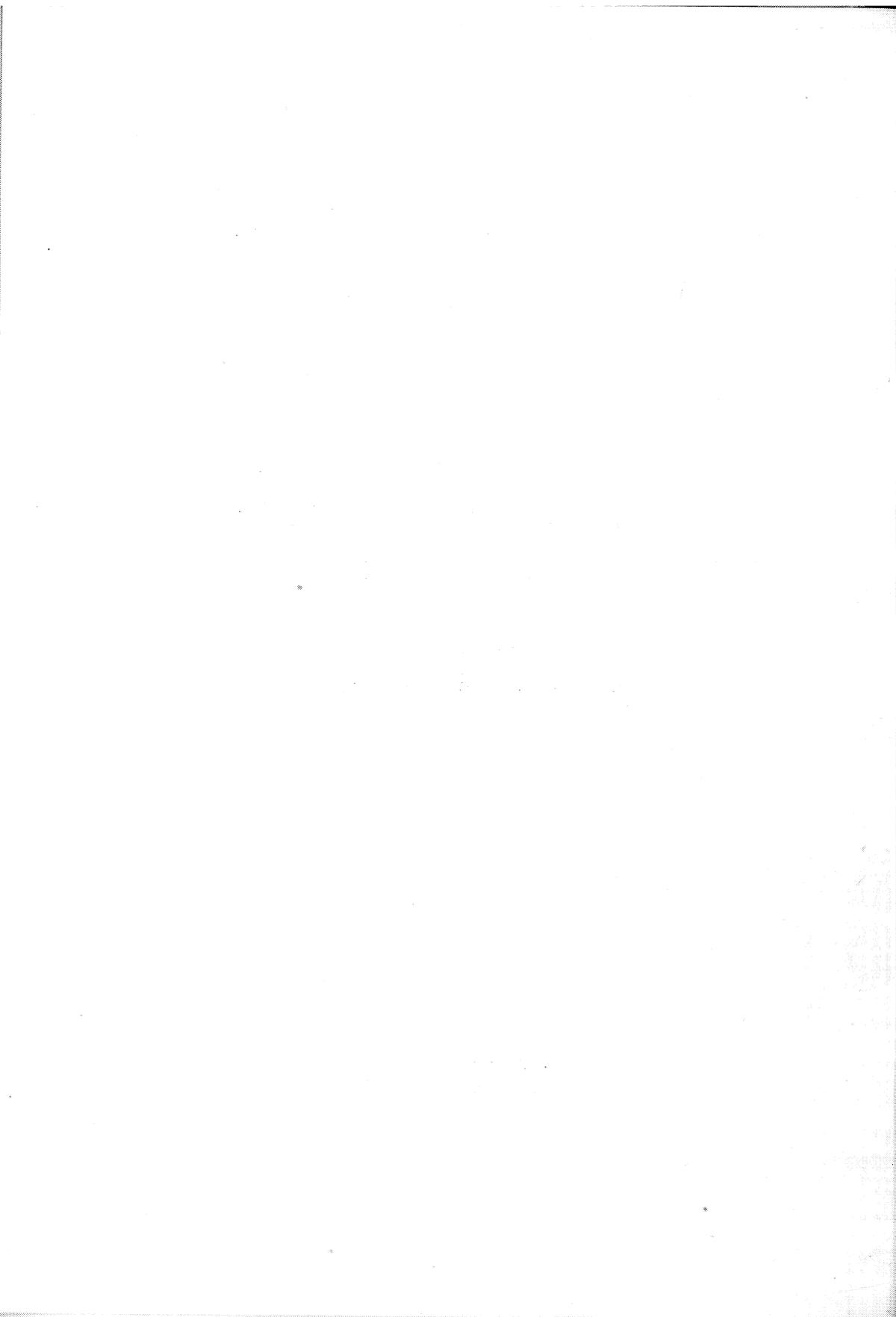
BARCELONA  
1956



BIBLIOTECA DE LA UNIVERSITAT DE BARCELONA



0701752584



*Excmo. Sr. Rector,*

*Excmos. e Ilmos. Señores,*

*Señoras y Señores:*

En cumplimiento de un estricto deber de obediencia ocupo por circunstancias diversas esta cátedra antes del momento que me correspondería por turno riguroso, y en circunstancias harto difíciles para mí para dar cumplimiento, como es debido, a tan honroso encargo. Pues si siempre me hubiese supuesto una empresa, más que arriesgada, temeraria, lo es ahora en demasía. En primer lugar por la tardanza con que me fué comunicada la decisión, ya bien terminado el curso, precisamente en vigiliass de un largo viaje al Brasil para asistir al Congreso Internacional de Geografía; y, en segundo lugar, porque he tenido que alternar la labor sosegada, de meditación y estudio que exige la tarea que me ha sido confiada, con la efervescencia de los trabajos de campo veraniegos impuestos por compromisos internacionales adquiridos con anterioridad. Nunca, pues, como en tales circunstancias tengo que confiarme a vuestra benevolencia, esperando que tendréis la comprensión necesaria para acompañarme en esta incursión por el campo de mis quehaceres científicos actuales y que sabréis perdonarme tanto la rígida especialización del tema escogido como lo mal pergeñado del escrito salido de mi torpe pluma.

\* \* \*

En el inmenso campo de las Ciencias Geológicas, tal como ocurre en otras disciplinas, son las zonas extremas o de transición en donde se hallan los hiatos a la vez más olvidados y fecundos, precisamente por requerir el esfuerzo convergente de especialistas procedentes de campos diversos y exigir el dominio de técnicas de investigación muy distintas. En este discurso voy a referirme a uno de esos hiatos concernientes a la última página de la historia de la Tierra y a la primera de la vida de la Humanidad. Por eso se titula: «Entre la Geología y la Historia». Zona de transición que interesa, en primer término, a geólogos y prehistoriadores, pues los primeros acaban en donde empiezan los segundos, pero punto de cita también para otros investigadores, tales como antropólogos, etnólogos, botánicos y zoólogos, ya que este momento histórico representa el punto de partida en la distribución, sobre la superficie terrestre, de razas, pueblos, especies vegetales y animales que actualmente pueblan la Tierra, etapa inicial en la que se encuentra una explicación plausible a gran número de hechos geográficos.

Tanto por la necesidad de ceñir el tema, como por el interés que para nosotros representa, trataré solamente de los aspectos naturales de este período de transición, y únicamente en la medida que afecta a la Península Ibérica, ambientando la acción dentro del marco mediterráneo en que ésta se halla enclavada. Así, mi propósito es tratar de reconstruir el escenario sobre el que se movieron los primeros hombres que habitaron nuestra patria.

\* \* \*

Entre los geólogos de generaciones anteriores nunca fue negligido el estudio de la Era Cuaternaria con que

se cierra la historia de la Tierra, y bastan los nombres de Luis Mariano Vidal, Vilanova y Piera y Eduardo Hernández-Pacheco como demostración. Sin embargo, es indudable que a medida que avanzó la especialización geológica aumentó también la indiferencia de los geólogos hacia esta última etapa de la vida de la Tierra. Y se comprende que así haya sido. Para el geólogo tradicional, la Era Cuaternaria representa ni más ni menos que esta última página escrita aprisa y con desgana, como para evitar compromisos, con que se cierra los manuales de Historia, al llegar a los tiempos inmediatamente anteriores a los actuales. Y en efecto, ¿qué representa el millón de años de duración aproximada de la Era Cuaternaria frente a los 2.000 millones de años en que se cifra la vida de la Tierra en su forma parecida a la actual? Si, para hacer más inteligible la proporción, cambiamos de escala y reducidos la vida de la Tierra a un año, la Era Cuaternaria representa tan sólo las 4 horas y 20 minutos del último día del año, o si se quiere, con otra unidad de comparación, los 43 últimos segundos de la duración de un día. Naturalmente, las fuerzas terrestres, durante este leve transcurso, apenas han tenido tiempo para modificar nada de lo anteriormente creado. Los depósitos de sedimentos de algunos pocos metros de espesor, a veces nada más que de unos escasos centímetros, bien poco representan frente a las formaciones de millares de metros de potencia que constituyen el campo ordinario de la investigación geológica; una simple película epidérmica que se superpone superficialmente a terrenos muy variados, ricos en restos de seres monstruosos muy diferentes a los actuales, accidentados por pliegues y fallas que llevan la impronta de los grandes movimientos que afectaron a la corteza terrestre en épocas pasadas. Todo un mundo difícil de reconstruir, pero atrayente por su magnitud y por el misterio que sobre la Tierra y la vida de los seres ancestrales representa. Frente a esto, ¿qué puede suponer esa delgada película de tierras de arrastre, sin

trastorno tectónico alguno, con formas casi o totalmente iguales a las vivientes? Poco más que una especie de suciedad que enmascara los contactos y nos impide ver, a veces en el momento más interesante, los terrenos y las estructuras que hay debajo; algo que molesta y que en los mapas geológicos se despacha con la misma desgana que aquella última página de los manuales de Historia, con una simple calificación, totalmente inexpresiva y una mancha de color gris que se extiende con una pincelada de desagrado al dibujar el mapa.

Uno de los principales motivos del menosprecio de los geólogos por el estudio del Cuaternario radica en la diferencia de los métodos empleados en la investigación de las formaciones cuaternarias respecto a los restantes terrenos. De ordinario el geólogo establece la seriación entre formaciones geológicas normalmente superpuestas, y cuando hay una interrupción o laguna, el fósil es el eslabón que permite el enlace con los otros anillos de la cadena sedimentaria interrumpida. En cambio, las formaciones cuaternarias se hallan dispersas en pequeños afloramientos distribuidos sobre la superficie terrestre, en las más diversas posiciones, difíciles de relacionar unas con otras, y frecuentemente sin el fósil guía que sirva de indicador preciso para la correlación. El problema que debe resolver el cuaternarista es, por ejemplo, si las arenas de una duna son más antiguas o modernas que las gravas de un río, situado a veces a mucha distancia de las primeras y sin ninguna relación directa con las mismas; o si tal depósito glaciario vendría encima o debajo de otro semejante situado en un valle lejano. Ante estos problemas, los métodos clásicos de la Estratigrafía no resuelven más que pequeños casos locales y resultan casi totalmente ineficaces para establecer una sucesión seriada entre los diversos depósitos cuaternarios aislados y de origen muy diferente. La sucesión y la correlación entre esos depósitos, que es el objetivo primordial de la geología del Cuaternario, debe buscarse por otros méto-

dos basados, sobre todo, en las relaciones morfológicas y genéticas. Así, por ejemplo, si encontramos que los sedimentos de un río enlazan con los depósitos de un glaciar, habremos ya establecido la correlación entre dos tipos de sedimento de la misma edad y estaremos en condiciones de interpretar sus relaciones genéticas. Luego, si más abajo, los depósitos de aquel río se hallan en relación con los de una playa antigua, habremos logrado establecer la relación entre los depósitos glaciares y los marinos, y entre las faunas que unos y otros puedan contener. Dado este método de trabajo, se comprende la íntima correspondencia entre los progresos de la Geomorfología y los de la ciencia del Cuaternario. Por eso dice Gignoux que el cuaternarista debe ser ante todo geomorfólogo, además de basarse en los conocimientos que puedan suministrarle la Prehistoria y la Biogeografía.

Valiéndose de esos métodos y con la ayuda de técnicas cada vez más afinadas, de esos depósitos, que son la cenicienta de la Estratigrafía, ha surgido poco a poco un mundo evocador y sugestivo, lleno de problemas, preñado de interés, que nos ha permitido reconstruir con todo lujo de detalles el escenario vivido por el hombre primitivo, y entrever sus primeros hechos y reacciones en su contacto con la Naturaleza.



## I. NUEVAS TÉCNICAS EN LA INVESTIGACIÓN DEL CUATERNARIO

Desde muy pocos años a esta parte ha ido desarrollándose en el estudio del Cuaternario una serie de nuevas técnicas que no sólo han servido para resolver, en gran parte, el problema fundamental de la sucesión cronológica de las formaciones cuaternarias dispersas, sino que han abierto ante los ojos un panorama, totalmente nuevo y de amplias perspectivas, que ha acrecentado el interés por los estudios sobre esta Era. Gracias a estas nuevas técnicas se ha logrado reconstruir el cuadro geográfico cuaternario en sus principales aspectos de relieve, clima, vegetación, etc., sobre lo cual apenas se sabía nada hace muy pocos años.

Pasemos brevemente revista a estas técnicas recién introducidas.

*Sedimentología.* — La petrografía de las formaciones sedimentarias es tan antigua como esta ciencia y figura desde buen principio como uno de sus objetivos inmediatos. Sin embargo, se orientó primeramente hacia las formaciones marinas, mientras los depósitos continentales fueron sistemáticamente negligidos. Además, el uso del microscopio y las simples observaciones sobre el terreno, no sistematizadas, agotaron pronto los resultados que podían obtenerse. Para el estudio de los depósitos continentales

- hacía falta una técnica más depurada que permitiese fundamentalmente dos cosas: Primero, una forma de expresión comparable, mediante valores que tradujesen las circunstancias de tamaño, forma, color, etc., que caracterizan las formaciones sedimentarias; en segundo lugar, establecer en forma inequívoca la génesis de los sedimentos continentales en relación con los variados procesos erosivos que determinan su deposición.

En cuanto al primer aspecto, que es el objetivo propio de la técnica sedimentológica, los progresos realizados son enormes en estos últimos años y se refieren sobre todo a la composición de los materiales, a su forma y a su tamaño. En cuanto a la composición, el estudio de los llamados minerales pesados constituye un auxiliar precioso para la identificación del origen de las formaciones sedimentarias. Mediante la investigación de minerales tales como las micas, granates, piroxenos, anfíboles, pirita, etc., y su abundancia relativa en los sedimentos finos, se ha logrado resolver no pocos problemas relacionados con el origen y aun con la edad de los depósitos; tal ocurre, por ejemplo, con los sedimentos de las playas, influídos por las corrientes marinas, etc., técnica de la que se ha hecho buena aplicación en Holanda en el estudio de las formaciones cuaternarias, para descubrir el origen de los aportes acumulados por las aguas o por el viento en la formación del suelo de este país. H. Alimen caracteriza por distintas asociaciones de minerales pesados los depósitos cuaternarios del Pirineo francés, para acreditar la existencia de varias fases glaciares.

Pero todavía son de uso más general las técnicas que permiten comparar las formas y tamaño de los componentes de los materiales sedimentarios. Mediante la separación fraccionada, por tamaños, de sus componentes, se expresa mediante curvas adecuadas el tanto por ciento correspondiente a cada tamaño y se estudia su relación con los procesos genéticos. Así, por ejemplo, se ha visto que

los depósitos de loes, formados por el viento, revelan una curva característica que permite identificar esta clase de formaciones aun cuando procesos posteriores hayan modificado su aspecto originario. De la misma manera las arenas fluviales o las transportadas por el viento tienen una composición granulométrica distinta, que depende del modo de actuar de los agentes de transporte y que se revela perfectamente en la forma de las curvas que expresan la distribución de tamaños. Así, luego, un sedimento cualquiera puede indicarnos su origen, aun cuando haya perdido la disposición propia de una duna, de una playa o de un ribazo fluvial.

También resulta de interés la forma de los elementos que integran unos determinados depósitos sedimentarios. Los cantos arrastrados por una corriente fluvial cualquiera, movidos por el oleaje o empujados por el hielo tienen forma muy diferente, que puede traducirse en índices comparativos que expresan las proporciones existentes entre sus diferentes diámetros o en el grado de redondeamiento de sus cantos y aristas. De esta manera, mediante relaciones matemáticas sencillas y gráficas de fácil interpretación, puede deducirse el proceso generador de los cantos de una formación sedimentaria.

Y aun la fracción más fina o arcillosa es útil en este estudio, pues mediante los rayos X se ha revelado que el sinúmero de minerales que componen la arcilla es de tipo muy diferente según las condiciones climáticas en que se ha formado el sedimento.

Además de la naturaleza mineralógica, de la forma y del tamaño de los elementos que constituyen los sedimentos, debe tenerse en cuenta la disposición y ordenación de los mismos en el seno de la formación. La orientación de los cantos nos ilustra sobre el sentido de una corriente fluvial hoy desaparecida. Asimismo, estadísticamente pueden distinguirse, por la disposición de los cantos, los derrubios originados bajo la influencia del hielo o del agua.

*Paleoedafología.* — Es sabido que el llamado suelo o capa de alteración superficial del roquedo es en su mayor parte función del clima, y que, en principio, a cada tipo de clima corresponde un tipo de suelo. Conocidas estas relaciones de dependencia entre suelo y clima, la Edafología permite, inversamente, deducir de un tipo determinado de suelo el clima que lo originó, el cual puede haber cambiado hace tiempo. De aquí nace el concepto de Paleoedafología aplicado a los terrenos geológicos, ciencia que empieza tan sólo a desarrollarse.

Ahora bien, la mayor parte de las formaciones continentales cuaternarias proceden de suelos destruídos y arrastrados por los agentes erosivos o bien han sufrido, una vez depositadas, un proceso de transformación, de tipo edáfico, que ha descompuesto los materiales que las integran. Es decir, que en las formaciones cuaternarias se hallan o bien desperdicios de suelos arrastrados durante el Cuaternario o suelos relictos de esta época. La distinción es, naturalmente, de la mayor importancia, pues buena parte de la reconstrucción del clima en el Cuaternario tendrá que apoyarse en el estudio de los suelos formados durante este tiempo. De aquí el enorme interés de la Paleoedafología aplicada al estudio de los terrenos cuaternarios.

Así, por ejemplo, durante mucho tiempo se pensó que el color rojo que caracteriza el paisaje mediterráneo, y que se traduce en los tonos cálidos de los pintores latinos, era función del clima actual. Hoy se sabe que, por lo menos para los sectores septentrionales, no es así, y que las tonalidades de la llamada «terra rossa» no es más que una herencia del Cuaternario.

*Geomorfología.* — Gran parte del avance sobre el Cuaternario no hubiese sido posible sin el desarrollo paralelo de otra ciencia geológica de nuevo cuño, la Geomorfología, que al estudiar las formas de la superficie terrestre tiene

que ocuparse, a su vez, de los depósitos que a las mismas van ligados. En efecto, las formas de la superficie terrestre no son más que un balance de fuerzas de origen diferente, unas internas, creadoras de los grandes accidentes de la corteza, y otras de origen externo, destructoras o erosivas de las formas creadas por las primeras. Dichas fuerzas erosivas, viento, hielo, agua, están reguladas por el clima, ya que la proporción en que intervienen estos distintos agentes de la erosión es función del mismo. De aquí, pues, que exista una morfología climática y que, por ejemplo, las formas de los países desérticos, con sus montes isla y sus relieves abruptos, sean muy diferentes de las suaves ondulaciones de los países templados o de las formas de panes de azúcar de los climas tropicales húmedos o de las formas influídas por el hielo de la zona polar y de las cumbres de las altas montañas. Existe, en pocas palabras, una zonabilidad vertical y horizontal de las formas del relieve, la cual puede conservarse como fósil aun cuando haya cambiado el clima que la originó. Estas formas fósiles son también de inapreciable valor para la reconstrucción de los relieves y de los paisajes cuaternarios y de ellas se ha hecho amplio uso para la zona mediterránea.

Pero la Geomorfología climática no sólo regula las formas topográficas de erosión, sino también los depósitos a ellas ligados. Se comprende, en efecto, que según sea el relieve continental será el tamaño de los derrubios, pues al pie de los grandes escarpes se depositan materiales gruesos, mientras sobre las superficies suavemente inclinadas sólo pueden circular derrubios finos. Pero no es eso solamente. Según la naturaleza del clima, los detritos serán más o menos descompuestos por la alteración química o por los agentes físicos. En los climas fríos, el hielo ataca el roquedo y lo martillea, reduciéndolo a los bloques que forman los canchales o tarteras del Pirineo, por ejemplo. En los climas más húmedos y cálidos, por el contrario, la alteración química progresa más rápidamente y reduce

el roquedo a material fino, con gran abundancia de arcilla. Así, pues, existe una sedimentología climática de los depósitos continentales, de la misma manera que existe una morfología climática.

Además, la Geomorfología no sólo ilustra acerca de las condiciones climáticas de formación de los depósitos y del modelado terrestre, sino que permite enjuiciar el proceso generador de ambos, por comparación con la forma de producirse de las fuerzas vivas actuales. El gran avance realizado en el terreno de la Geomorfología acerca de las formas de erosión de los glaciares y el valor de sus depósitos morrénicos y de la erosión fluvial con sus terrazas; el valor de la llamada tectónica morfológica, que descubre los movimientos de la corteza terrestre aun cuando no hayan dejado huella apreciable en la estructura de la misma, permiten encontrar aspectos de la historia cuaternaria antes totalmente insospechados, referentes al clima y a las formas de actuar de las energías terrestres.

*Palinología.* — Hasta hace poco más de una decena de años nuestros conocimientos sobre la vegetación cuaternaria eran tan sumarios que podían resumirse en unas cuantas líneas. Pues los sedimentos cuaternarios rara vez contienen restos de plantas fácilmente determinables, como hojas, frutos, etc., y solamente algunos depósitos tobáceos de las fuentes calcáreas o de los fondos lacustres suministraron datos sobre la vegetación que vieron nuestros primeros padres. Se suponía, más que se sabía, que correlativamente a los grandes cambios climáticos del Cuaternario tuvo que haber también grandes variaciones en el paisaje vegetal. Pero faltaba la técnica capaz de descubrir estos cambios. Hoy, gracias a ella, se ha podido trazar el mapa de los grandes conjuntos de la vegetación para los diversos momentos de la historia cuaternaria, casi con la misma precisión con que el geobotánico traza sobre el mapa la distribución de las formaciones vegetales de la actualidad.

La clave para el descifrado del paisaje vegetal antiguo nos la ha proporcionado la llamada *Palinología*, basada en el estudio al microscopio de los granos de polen contenidos en las turbas y en los cienos depositados en los lagos y en los ríos y aun en las arcillas que tapizan el fondo de las cuevas. La abundancia de granos de polen en la mayor parte de las formaciones continentales cuaternarias se ha revelado como uno de los métodos más fecundos no sólo para el estudio de la flora cuaternaria, sino sobre todo para la reconstrucción de las fases climáticas de esta era, ya que, a causa de la rápida reacción de la cubierta vegetal a las influencias del medio, ésta ha sufrido grandes variaciones en el transcurso del Cuaternario, las cuales se traducen en el predominio de unas especies sobre otras y aun en la variación total de la flora. Todas estas variaciones se expresan mediante los llamados diagramas polínicos en los que se indican, con curvas adecuadas, la fluctuación a través del tiempo de las diferentes especies que componían la cubierta vegetal en un punto determinado de la Tierra. Cuando mediante alguno de los métodos utilizados en la cronología del Cuaternario llega a determinarse la edad de alguna de estas asociaciones, luego puede hacerse extensiva a los demás diagramas, con lo que tenemos un medio magnífico de correlación estratigráfica.

Así, por ejemplo, se sabe que durante la última glaciación casi toda Europa estuvo invadida por la vegetación de líquenes y musgos que forma la tundra que hoy se extiende por el Norte de Siberia y Escandinavia, y que incluso se prolongaría por el interior de la Meseta española; es el momento en que los hombres musterienses se refugian en el interior de las cuevas. Mientras tanto el bosque de robles, hayas y coníferas fué empujado hasta las orillas del Mediterráneo, al mismo tiempo que más al Sur la vegetación de encinas y pinos, propia de este mar, se extendía por el Norte de África y constreñía el espacio ocupado por el desierto del Sahara, el cual llegó casi a desaparecer, con-

vertido en su mayor parte en una región esteparia similar a las que se extienden por Argelia y Marruecos.

*Radiactividad.* — Uno de los grandes enigmas de la Geología ha sido siempre el de la cronología absoluta de los períodos geológicos, problema que hasta hace muy poco no ha podido ser resuelto. La estratigrafía tradicional únicamente había podido llegar a la ordenación seriada de las formaciones geológicas y de los hechos que de su estudio se deducen. Había podido reconstruir el orden en que fueron depositándose las distintas capas terrestres, el momento de la aparición de cada uno de los seres que ellas encierran; es la seriación que quiere expresar la terminología de terrenos primarios, secundarios, terciarios y cuaternarios aplicada a las formaciones geológicas. Pero nunca había podido cifrar en unidades de tiempo la duración correspondiente a cada una de las divisiones establecidas por la Estratigrafía. Hoy eso es posible gracias a la aplicación de la radiactividad. Los minerales radiactivos contenidos en los terrenos geológicos se desintegran a un ritmo constante, independiente de las condiciones del medio, dando una serie de productos intermedios y, como término final de la desintegración, un isótopo del plomo y el gas helio. Conocido este ritmo, basta saber la proporción entre mineral sin transformar y productos procedentes de su desintegración para poder calcular el tiempo desde que ésta empezó. Mediante este sencillo procedimiento, hoy podemos cifrar en valores bastante aproximados el número de años que corresponde a cada período geológico. Sabemos que el Pirineo se formó hace unos 50 millones de años y que la cordillera del Tibidabo emergió de las aguas hace unos 250 millones de años.

Aplicando estos métodos al Cuaternario, especialmente a los sedimentos oceánicos profundos, se han reconocido valores próximos al millón de años.

Otro procedimiento en boga actualmente es el de los

isótopos radiactivos, el cual ha dado ya importantes resultados. El Carbono 14 contenido en la materia orgánica permite determinaciones cronológicas hasta un máximo de unos 30.000 años, que es casi el período de tiempo asignado a la última glaciación cuaternaria. Mediante este método se ha demostrado la simultaneidad de la última glaciación en toda la Tierra.

La radiactividad ha prestado, además, otro auxilio precioso a las investigaciones geológicas. En efecto, se ha comprobado que la proporción de determinados isótopos existentes en el cuerpo de algunos animales depende de las condiciones del medio. Así, por ejemplo, en la concha de los moluscos, además del oxígeno ordinario, hay un isótopo, el Oxígeno 18, cuya cantidad depende de la temperatura del agua del mar en que vivió el animal. Así, mediante estas investigaciones se ha podido precisar, como si se tomase con el termómetro, la temperatura de las aguas de los océanos desaparecidos hace millones de años, e incluso estudiar la distribución geográfica de las correspondientes isothermas, la posición del Ecuador, etc. Con ello se perfila un nuevo dato de inapreciable valor en el estudio de las fluctuaciones climáticas pleistocénicas.

*Geología submarina.* — Casi inmediatamente después de la segunda Guerra Mundial ha empezado a tomar incremento un nuevo capítulo de la Geología, que todavía no me atrevo a calificar de ciencia autónoma; me refiero a la Geología submarina, nacida independientemente de las exploraciones subacuáticas, hoy tan en boga, pero que indudablemente pueden contribuir notablemente al desarrollo de aquélla. Se basa esta nueva disciplina en la posibilidad de obtener primero un mapa topográfico detallado del fondo de los mares, por medio de métodos modernos de sondeo basados en la reflexión de las ondas ultrasonoras. Sobre este mapa se construye el correspondiente geológico, en forma análoga a cómo se hace sobre tierra firme, pero

valiéndose, naturalmente, de otras técnicas, ya que la exploración directa nos está vedada. En primer lugar la aplicación de los sondeos sísmicos y gravimétricos nos revela la naturaleza del zócalo de los océanos. Este mismo verano una expedición del Lamont Observatory de la Universidad de Columbia, con la colaboración de varios científicos españoles, ha estado investigando, por tales métodos, las costas meridionales de España. Así, hoy, los perfiles geológicos no se interrumpen ya como antes, al llegar al mar, sino que mediante estos sondeos se prolongan debajo del agua, con lo que puede determinarse el espesor de la cubierta sedimentaria, la profundidad de los grandes zócalos y las deformaciones de la corteza por debajo del mar. Tímidamente, y con las mismas imperfecciones que tenían los primeros mapas y cortes geológicos del siglo XIX, empieza a dibujarse, casi podríamos decir en forma de caricatura, la geología de los fondos oceánicos y se publican ya los primeros esbozos de cartas geológicas submarinas. Su trascendencia científica y práctica puede ser enorme. No olvidemos que la superficie cubierta por las aguas representa casi las dos terceras partes de la Tierra, y pensemos en el progreso que el conocimiento geológico de la corteza terrestre representa en la economía de la Humanidad, tal como, por ejemplo, en la obtención de materias primas. Por de pronto basta consignar que importantes compañías de petróleo se están ya interesando en el conocimiento de la Geología submarina.

Pero además de estos grandes rasgos de la tectónica de los fondos, se ha encontrado el procedimiento para investigar directamente la estratigrafía de las profundidades oceánicas. Mientras las sondas antiguas solamente permitían arrancar una pequeña muestra de los fangos del fondo del mar, hoy, mediante mecanismos adecuados, se ha logrado arrancar columnas de hasta 15 metros de espesor, en las cuales, capa a capa, puede estudiarse, por los métodos estratigráficos ordinarios, la historia sedimentaria de todo

el Cuaternario. Estos métodos han revelado que también en el mar han repercutido las fluctuaciones climáticas que caracterizan dicha Era, con alternancia de formas propias de los períodos fríos y de los períodos cálidos.

*Resumen.* — Así, a los métodos tradicionales de la Estratigrafía han venido a sumarse, en el estudio del Cuaternario, nuevas técnicas que han permitido precisar las condiciones de formación de los sedimentos, los procesos ligados a su génesis, las características climáticas reflejadas en los distintos tipos de suelos y en las revelaciones afinadas de la Palinología, la edad absoluta de las formaciones cuaternarias, etc., etc., detalles que han ampliado, cuando no han abierto perspectivas enteramente nuevas, los escasos conocimientos que se tenían sobre el Cuaternario. Con ello su estudio ha adquirido un vigor y una lozanía que difícilmente podía sospecharse hace pocos años, cuando los métodos de la Estratigrafía clásica estaban prácticamente agotados y cuando la investigación cuaternaria atraía casi únicamente la mirada de prehistoriadores y antropólogos que velaban el fuego sagrado. Ha habido, pues, en poco tiempo, una renovación total de los estudios sobre el Cuaternario, revelada por la creación de la asociación INQUA, cuyo próximo Congreso Internacional va a celebrarse en España el año próximo.



## II. RECONSTRUCCIÓN DEL PAISAJE CUATERNARIO

Los datos analíticos suministrados por todos estos métodos de investigación, antiguos y modernos, se refieren a detalles, al parecer poco expresivos, sobre forma, color, naturaleza química, contenido radiactivo, etc., de unos limos, de unas arenas o de unos depósitos cualesquiera. Todos estos datos son los elementos que deben integrarse en una visión de síntesis, cuyo objeto es la reconstrucción de una imagen coherente y orgánica, a manera de visión geográfica, correspondiente a cada período geológico estudiado; de un mundo a lo mejor desaparecido totalmente hace millones de años. Labor asombrosa que puede parecer, a los ojos del profano, una fantasía febril o una vana quimera.

Esta reconstrucción del paisaje terrestre correspondiente a los diversos períodos geológicos, nos proporciona una imagen fugaz y variable de una época a otra, pues tierras y mares, faunas y floras se transforman a un ritmo que, si para nuestra escala de medida del tiempo, nos parece asombrosamente lento, en cambio resulta rapidísimo para la vida de la Tierra, puesto que en el transcurso de su existencia las mutaciones han sido incesantes.

Para el Cuaternario esta reconstrucción es ni más ni menos que la del escenario sobre el que va a moverse el Hombre. Y dentro del plan trazado en este estudio, trata-

remos de exponer, a la luz de las nuevas técnicas y descubrimientos, las características del paisaje del Mediterráneo, en general, y de la Península Hispánica, en particular.

Los dos hechos fundamentales que presiden la historia del Cuaternario, es sabido que son la existencia de los llamados períodos glaciares y la aparición del Hombre, los cuales caracterizan la primera parte de la Era, o período pleistocénico. Como hecho subordinado cabe colocar la evolución de la fauna y de la flora, en gran parte condicionada por las fluctuaciones climáticas determinantes de los períodos glaciares.

*España entre dos dominios climáticos.* — La Península Ibérica, como en tantos otros aspectos geográficos actuales, se hallaba también durante el Pleistoceno, lo mismo que ahora, en una zona de tránsito entre dos mundos climáticos diferentes. Este carácter, que fué común a todo el Mediterráneo, fué todavía más acentuado en España, por su situación más meridional y por la proximidad al continente africano, de una parte, y su enlace con el tronco europeo, por otra. De aquí el enorme interés que el estudio de su Cuaternario representa.

La mayor parte de Europa, lo mismo que todas las zonas frías y templadas de la Tierra, estuvo sometida durante el Pleistoceno a los efectos de períodos fríos, que se manifestaron por la aparición de extensas masas de hielo. El número e importancia de estas fases puede ser discutido, pero la impronta dejada por el hielo, tanto en las formas del modelado como en los depósitos arrastrados y en los efectos ejercidos sobre la flora y la fauna, son tan importantes que pronto fué advertido por los geólogos.

El cambio climático operado sobre las zonas templadas y frías durante los períodos glaciares tuvo también su repercusión en las zonas cálidas de las bajas latitudes, aun cuando no fueron directamente alcanzadas por la oleada glacial. En estas zonas el cambio climático se tradujo en

una variación en la intensidad de las precipitaciones, sucediéndose una serie de períodos pluviales que alternaron con otros secos. De esto tampoco hay la menor duda, pues la extensión alcanzada por los lagos africanos, la expansión de la población primitiva sobre zonas enteramente desérticas de África y la alternancia del ritmo erosivo en los ríos, no deja lugar a dudas.

España se halla situada precisamente en la zona de transición entre el mundo cuaternario glaciario y el pluvial, por lo que, el estudio de estas manifestaciones sobre el solar hispano, puede revestir interés general para la investigación de los climas cuaternarios en esta zona de transición, todavía mal conocida.

#### LA IMPRONTA DEL FRÍO EN EL ÁREA GLACIAR

Las formas topográficas originadas por el efecto del hielo y los depósitos formados bajo la influencia de los períodos glaciares son forzosamente muy distintos a los originados en climas cálidos o templados, en donde la acción erosiva del hielo fué nula o escasa. Hay, pues, un verdadero tipo de paisaje creado por el hielo, y la impronta de éste se reconoce en múltiples aspectos, unos sabidos de antiguo y otros estudiados mucho más recientemente, y de los que haré especial mención.

*La zona glaciaria.* — En la zona más directamente afectada por los fríos cuaternarios se originaron las masas de hielo que constituyeron los glaciares. En las altas latitudes, estos glaciares formaban extensos mantos que recubrían uniformemente el terreno y que, empujados por la acumulación de los nuevos aportes nivosos, se deslizaban suavemente hacia las bajas latitudes, hasta llegar a una zona en donde la temperatura era suficiente para fundir el casquete de hielo; son los grandes *inlandsis* que recubrían el Norte de

Europa, desde las orillas del Atlántico hasta Siberia, y desde el Polo Norte hasta el paralelo de Bruselas.

Fuera de la zona de los *inlandsis*, en las grandes cordilleras, tal como ocurre actualmente en los Alpes o en el Himalaya, existían también glaciares locales, más o menos extensos según la latitud y altura de la cordillera. En España, alejada de los *inlandsis* europeos, las altas cordilleras estaban ocupadas por glaciaciones locales de relativa importancia, alimentadas por las zonas situadas dentro del nivel de las nieves persistentes. Este nivel pasaba durante el Pleistoceno unos 1.200 metros por debajo del actual, y descendía, como es de rigor, de Sur a Norte, desde los 2.400-2.600 m. en Sierra Nevada, a los 1.800-2.000 m. en el Pirineo y a los 1.400-1.800 m. en la Cordillera Cantábrica. Por encima de este límite quedaban la mayor parte del Pirineo; los macizos más importantes de la Cordillera Cantábrica, como los Picos de Europa; las altas sierras de la Ibérica, a saber, Moncayo, Demanda y Urbión; las principales cordilleras del Sistema Central, como Somosierra, Guadarrama y sierra de la Estrella; y, por último, la zona superior de Sierra Nevada.

La mayoría de los glaciares situados en estas sierras fueron del tipo llamado «pirenaico», en el que el hielo ocupa los rellanos elevados o las cabeceras de los valles, sin llegar a formar lenguas como en los glaciares de tipo alpino. Solamente en el Pirineo, en algunos de los glaciares que invadieron los Picos de Europa, en Gredos y en la sierra de la Estrella, existieron valles ocupados por lenguas glaciares; pero de ellos, únicamente los del Pirineo tuvieron desarrollo comparable a los glaciares alpinos, de unos 40 a 70 kilómetros de longitud.

La impronta de estos glaciares cuaternarios se conoce por sus formas de erosión y por sus depósitos o formas de acumulación. Los valles afectados por los hielos cuaternarios se transformaron en sus cabeceras en grandiosos circos de paredes verticales y con el fondo plano, acribillado de

lagos; más abajo, el valle, erosionado por la lengua del glaciar, adquirió la forma típica en U o artesa. Por si ello fuese poco, los derrubios arrastrados por el hielo constituyeron, en todas esas zonas españolas, extensas morrenas. De ellas interesan sobre todo las morrenas llamadas frontales, en donde fundía el hielo del glaciar, pues señalan el nivel más bajo alcanzado por la lengua glaciar. En el Pirineo las morrenas frontales oscilan entre 800 y 1.000 metros de altitud, mientras que en el sector francés descendían a 400 m. sobre el nivel del mar y alcanzaban la llanura de Aquitania. Algunas veces, como en Castiello de Jaca, en el valle del Aragón, y en Puigcerdá, en el Segre, forman potentes complejos comparables en pequeño a los de los Alpes, con una serie concéntrica de arcos morrénicos.

En la Cordillera Cantábrica existe el potente foco glaciar de los Picos de Europa, que, a pesar de no ser muy elevado, estuvo alimentado por las abundantes precipitaciones atlánticas, lo que explica que descendieran algunas lenguas a alturas excepcionalmente bajas, si bien las otras se quedaron entre 750 y 930 metros. Las lenguas glaciares no tenían más allá de 10 a 12 kilómetros de longitud. Más al Oeste se prolongan las manifestaciones glaciares hasta Galicia, en donde se halla el foco importante de la región de Sanabria, y que demuestra que por encima de los 1.400 m. toda la vertiente septentrional estaba cubierta por las nieves persistentes.

En la Cordillera Ibérica sólo existieron pequeños glaciares de circo, colgados. El glaciario fué, en cambio, mucho más intenso en la Cordillera Central. Ya en Somosierra se acusan algunos circos pequeños en su vertiente norte; existe además un importante foco glaciar en Peñalara, en el Guadarrama, en donde los glaciares descendían hasta 1.640 m. de altura. Pero sobre todo en Gredos alcanzaron la máxima importancia, con varias lenguas glaciares de 9 kilómetros de largura que descendían hasta 1.415 m. de

altitud. Con la sierra de la Estrella (1.991 m.) ocurre un caso parecido al de los Picos de Europa, pues también estuvo sobrealimentada por las precipitaciones de origen atlántico, que permitieron la formación de lenguas de ocho kilómetros de longitud que descendían hasta los 600-700 metros de altura sobre el nivel del mar. Debido a la influencia de las precipitaciones atlánticas, se aprecia aquí, lo mismo que en el Pirineo, que el nivel de las nieves persistentes y las alturas de las morrenas terminales descienden de Este a Oeste de la Península. En el Pirineo oriental el límite de las nieves persistentes se sitúa alrededor de los 2.200 metros, mientras que en el occidental desciende por lo menos hasta los 1.700-1.800 metros; las morrenas terminales que en el Canigó se hallan a 1.600 o más metros de altura, en el Pirineo occidental francés descienden a 400 metros. Lo propio ocurre en la Cordillera Central, desde los 2.050 a los 2.100 m. que señala el límite para el Guadarrama, a los 1.800-1.900 para Gredos y a los 1.620-1.650 para la sierra de la Estrella.

En Sierra Nevada (3.478 m.) la glaciación tuvo escasa importancia y se redujo a cubrir las alturas superiores a los 2.400-2.500 m. en la vertiente norte y 2.600-2.700 en la vertiente sur. Sus glaciares morían entre 1.860 m. y 2.400 metros y tenían tan sólo de 5 a 6 kilómetros de longitud como máximo.

*La zona periglacial.* — La zona afectada por la impronta de los glaciares cuaternarios es, pues, suficientemente conocida, y si aun quedan muchos problemas por dilucidar, no cabe, en cambio, ninguna duda sobre la extensión ocupada durante el Cuaternario por los glaciares españoles.

Pero modernamente se ha ido introduciendo un nuevo concepto de singular interés para las regiones situadas en las zonas templadas. Se trata del llamado *periglacialismo*, o acción del hielo que se produce en la zona no afectada directamente por los glaciares, pero suficientemente pró-

xima a ellos para haber sufrido también, aunque en grado menor, los efectos del frío en sus formas de erosión y en sus depósitos. Sus efectos pasaron primeramente desapercibidos, pues son más difíciles de reconocer, pero resultan de inestimable valor en aquellas zonas que, como España, aunque lejos de la influencia directa de los glaciares, pudieron experimentar en gran parte de su territorio el efecto de los fríos cuaternarios.

El estudio de los fenómenos periglaciares ha llegado a constituir, en poco tiempo, un sólido cuerpo de doctrina que ocupa gran número de investigadores, entre ellos los que figuran en la Comisión de Periglaciario de la Unión Geográfica Internacional.

Los efectos periglaciares se manifiestan principalmente por la existencia de un suelo helado toda o la mayor parte del año, el cual sólo funde totalmente en la estación veraniega o, lo que es más frecuente, sólo funde la parte superficial, mientras el resto continúa helado en profundidad. Actualmente se conocen zonas de Siberia en donde el espesor de la capa permanentemente helada del suelo es de unos 600 metros, pero, aun sin llegar a esa cifra record, son frecuentes los espesores de algunas decenas y aun de 100 a 200 m. de suelo helado, cuya existencia ha creado problemas técnico-constructivos en las modernas obras de ingeniería realizadas en estas altas latitudes. El suelo permanentemente helado constituye el «pergelisol», o «tjäle» de los países nórdicos. En verano la capa más superficial del suelo funde y forma con el agua de fusión del hielo el «mollisol», especie de papilla que resbala sobre el suelo helado en profundidad, creando estructuras particulares y dando lugar a los llamados fenómenos de soliflucción. Los efectos del deshielo y del rehielo se traducen en compresiones bajo cuya influencia el suelo adquiere una estructura especial, caracterizada por repliegues o «crioturbaciones» y una ordenación típica de sus elementos gruesos en polígonos, círculos, etc., muy peculiares en todos los suelos

de las zonas periglaciares actuales. Todas estas estructuras han sido reconocidas como suelos fósiles en depósitos cuaternarios muy alejados de la zona glacial; su área, a medida que progresan las investigaciones, se extiende cada vez más, como mancha de aceite que invade ya la parte norte de la zona mediterránea, aun al nivel del mar (Marsella, Nimes, etc.).

Además de los suelos estructurales, existen otros tipos de depósitos formados simplemente por los derrubios acumulados sobre las laderas y al pie de los relieves accidentados, reunidos ordinariamente con la designación de derrubios de pendiente, los cuales merecieron hasta ahora escasísima atención de los geólogos; eran, podríamos decir, la cenicienta del ya bastante despreciado Cuaternario. Y, sin embargo, su estudio ha revelado detalles interesantes y ha demostrado merecer la atención de los cuaternaristas.

El ángulo de inclinación según el cual se depositan estos derrubios de pendiente depende en gran parte del proceso generador. Si se trata de derrubios de gravedad, el ángulo oscila entre 35 y 37°, mientras que en un suelo helado el ángulo es menor, puesto que los bloques pueden deslizarse con mayor facilidad, aun en pendientes mínimas de 11°, si bien por término medio los derrubios periglaciares tienen unos 21° de pendiente. En segundo lugar, la orientación de los bloques dentro de la masa de derrubios indica también su origen, pues en los derrubios formados en las zonas periglaciares los cantos están orientados en su mayoría según su eje mayor dirigido en el sentido de la pendiente. Además, si ha habido repetición de períodos de hielo y deshielo, esto se traduce en una disposición perfectamente ordenada de los cantos en capas alternantes de tamaño diferente, y sobre todo en una absoluta ordenación de los fragmentos en el sentido indicado; se trata de los llamados derrubios ordenados («*éboulis ordonnés*»).

En España estos tipos de estructuras apenas han sido reconocidas. En las altas cordilleras, Pirineos y Sierra

Nevada, es natural hallar suelos estructurales cerca de la zona glaciaria cuaternaria. Pero aun lejos de estas regiones elevadas, en las terrazas del Manzanares, a 600 m. de altitud, se ha señalado, en la superior, una crioturbación de sus depósitos que alcanza unos 6-8 metros de espesor, y que indica claramente cuáles debieron ser las condiciones de la Meseta durante la Era Cuaternaria. Asimismo hemos podido localizar formas típicamente periglaciares, como nichos de nivación, en Sigüenza, a poco más de 1.000 metros de altitud, y valles disimétricos de origen periglaciario, casi a la misma altura, en toda la zona septentrional del Guadarrama. Por otra parte, los fenómenos crioclásticos y de soliflucción han contribuido al modelado de las vertientes de los páramos alcarreños, todo lo cual señala, sin lugar a dudas, que durante los últimos períodos glaciares el clima de la Meseta, por lo menos en la parte central y septentrional, debió ser parecido al de algunas zonas europeas como el Sur de Francia, Macizo Central francés, Dordogne, etc. En el sector septentrional de la Península, en el Pirineo, los fenómenos periglaciares, manifestados por los derrubios ordenados y formas de erosión, son típicos a partir de los 1.500 metros de altitud, pero aun a los 600 metros, en el Pirineo oriental, hemos reconocido típicos derrubios ordenados (zona de la Garrotxa). Asimismo las rasas cantábricas, situadas escasamente a cien metros de altura sobre el nivel del mar, se hallan intensamente afectadas por fenómenos crioclásticos. Todo ello nos hace suponer que el nivel de la zona periglaciaria descendía fuertemente hacia el Norte, especialmente en la zona húmeda cantábrica, exactamente igual como ocurría respecto a los fenómenos glaciares. En la zona levantina los efectos crioclásticos sobre las calizas van disminuyendo de Norte a Sur, desapareciendo aproximadamente al nivel de Valencia, mientras todavía se muestran particularmente intensos en la zona de Tortosa. Así, pues, no es aventurado suponer que durante los momentos álgidos de los fríos cuaternarios, la

mitad septentrional de la Península entraría dentro del área más atenuada de la zona periglaciár, con suelos helados en las zonas más frías y con intensas heladas en el resto. Faltan observaciones para el resto de la Península para poder apuntar conclusiones de carácter general.

*Fenómenos eólicos.* — Toda la zona próxima a los glaciares, tal como ocurre actualmente en algunos sectores circumpolares como Islandia, a causa de los fríos quedó desprovista de vegetación o reducida al césped discontinuo de liquines y muscíneas que forman la tundra. En estas condiciones semidesérticas, el viento realiza, como en los desiertos tórridos, una acción erosiva intensa, arrastrando la arena de las morrenas para constituir dunas, mientras con los polvos arcillosos finos forma el loes que en la actualidad cubre grandes superficies de Bélgica, Holanda, cuenca de París, Sur de Alemania, etc., etc.; es el tipo de loes periglaciár, similar al loes peridesértico de las zonas tropicales secas, como China.

Estos depósitos loésicos se han revelado de inestimable valor en la estratigrafía del Cuaternario. Cada etapa glaciár se caracteriza por la deposición de una capa de loes, de pocos metros de espesor, sobre la cual, en el período interglaciár siguiente se desarrolla, al aumentar la pluviosidad y la temperatura, una vegetación de pradera, y se forma un tipo de suelo de acuerdo con las nuevas condiciones climáticas, el cual en el período glaciár siguiente quedará recubierto por una nueva capa de loes pulverulento. La serie de capas de loes, separadas por esos lehms de origen edáfico, se caracterizan en algunos sectores europeos por su abundancia en micromamíferos y por su riqueza en utillaje prehistórico, con lo cual se ha podido establecer una perfecta cronología de las mismas y se ha construído una de las series estratigráficas más perfectas y completas del Cuaternario. Algo por el estilo sucede en América del Norte.

En la zona mediterránea el estudio de los depósitos y de las formas de origen eólico es mucho más delicado, lo mismo que ocurre para los fenómenos periglaciares, de los cuales, en realidad, dichas acumulaciones no son más que una consecuencia inmediata. Poco a poco se van conociendo depósitos eólicos en el Sur de Francia, Yugoslavia, Italia, Palestina, etc., que señalan que la zona mediterránea no quedó libre de ellos. En España no se han señalado todavía en forma indudable, aparte la tenue cubierta loésica de las terrazas del Manzanares, aun cuando nada impide que algún día puedan descubrirse. Sin embargo, los efectos del viento durante el Cuaternario son indudables. En las terrazas del Jarama, Oriol Riba ha descubierto cantos eolizados totalmente análogos a los más perfectos de las zonas desérticas y periglaciares, y sobre algunas terrazas de Cerdaña y de la región tarraconense hemos reconocido asimismo los efectos de la eolización sobre numerosos cantos, aunque con formas mucho menos típicas que aquellas otras. Es un nuevo dato que viene a perfilar el carácter de la zona septentrional española como límite de la acción periglaciaria.

*Terrazas climáticas fluvio-glaciares.* — Hace poco más de una cuarentena de años, varios geólogos, entre los que descuellan Depéret y Lamothe, observaron que en la mayor parte de los ríos europeos, existían a diversas alturas sobre el cauce actual, a veces a más de cien metros, rellanos ocupados por gravas y arenas, paralelos o casi paralelos al trazado actual del río, y que evidentemente representaban niveles antiguos del mismo, a los que denominaron terrazas. Hoy el estudio de las terrazas es uno de los capítulos más complejos y prometedor de la Geomorfología. Casi al mismo tiempo, Penck establecía el perfecto enlace de las principales terrazas de los ríos de la vertiente septentrional de los Alpes con las morrenas terminales de los glaciares, y creaba su hipótesis sobre el origen fluvio-glaciario de dichos

niveles de terrazas. Admite este autor que las fluctuaciones climáticas cuaternarias determinaron un ritmo alternante en la fuerza erosiva de los ríos, de forma que durante el período glaciario, al decrecer el caudal de los cursos fluviales, éstos disminuían su fuerza erosiva y depositaban materiales de acarreo, es decir, acumulaban una terraza; mientras que durante el período interglaciario siguiente, al aumentar el caudal con el agua de fusión del hielo, la fuerza erosiva se acrecía de tal modo que los ríos ahondaban su cauce, dejando colgados a cierta altura sobre la vaguada actual los restos de la terraza depositada durante la fase glaciaria. Así, en principio, a cada período glaciario correspondía una terraza fluvial, y siendo aquéllos cuatro, debiera haber otros tantos cuatro niveles de terrazas, que pronto los investigadores, a veces forzando un poco los hechos, quisieron ver en todas partes.

En España se ha establecido perfectamente el enlace de algunas morrenas pirenaicas con sus correspondientes terrazas en los valles del Segre y del Aragón. En el Segre, en el anfiteatro morrénico de Puigcerdá, la morrena exterior, más antigua, enlaza con la terraza de + 60 m. de altura, mientras la interna, más reciente, enlaza con la terraza a + 20 m. Lo propio ocurre en Castiello de Jaca, en el valle del Aragón, en donde también se observa una terraza alta (+ 60 m.) enlazada con la morrena externa, atribuida al penúltimo período glaciario, y una terraza media (+ 20 m.) enlazada con la morrena atribuida al último glaciario. En los demás ríos pirenaicos estos enlaces no se han conservado. En cambio, en la vertiente francesa dichas relaciones se han establecido en numerosos ríos, como por ejemplo el Garona.

## LA IMPRONTA DEL FRÍO FUERA DEL ÁREA GLACIAR

En el área más alejada de la zona glaciaria, los efectos de los períodos fríos del Pleistoceno tuvieron también grandes repercusiones, casi tan importantes como dentro de la propia zona glaciaria, no siendo la única los períodos pluviales a que anteriormente se hizo alusión. Trataremos de enumerar brevemente las consecuencias más importantes del frío fuera de la zona directamente afectada por la acción del hielo.

*Terrazas glacioeustáticas.* — Las observaciones de Penck sobre las terrazas fluvio-glaciares fueron vigorosamente reforzadas con las observaciones de Depéret y Lamothe sobre terrazas marinas. En efecto, estos autores creyeron reconocer en varios puntos del Atlántico y especialmente en el Mediterráneo, cuatro niveles de playas levantadas entre el nivel actual de las aguas y unos cien metros de altura, a las que dieron los nombres de Siciliense, 100 m., Milaziense, 70 m., Tirreniense, 35 m. y Monastiriense, 15 m. Esta observación ha sido pródiga en consecuencias y constituye la base de la teoría llamada glacioeustática. Se comprende fácilmente que cada período glaciario debe ir acompañado de una oscilación del nivel general del océano, pues las precipitaciones acumuladas en forma de hielo sobre los continentes y la consiguiente disminución de caudal de los ríos, exigen que el nivel del océano descienda en cada glaciación; mientras que, por el contrario, cada período interglaciario debe ir acompañado de un ascenso del nivel general de los mares, producido por la fusión de los grandes casquetes de hielo. Si ningún otro factor interviniese para alterar el fenómeno, la altura alcanzada por las aguas en cada fase interglaciaria sería aproximadamente la

misma; y asimismo el descenso del nivel del mar en los períodos glaciares no sería muy diferente, dado que las diferencias en la intensidad de las glaciaciones cuaternarias no han sido muy grandes. Sin embargo, las observaciones de Depéret demuestran que las terrazas marinas se hallan escalonadas entre 100 metros y el nivel actual del mar, como indicando que, al remontar las aguas en cada nuevo período interglaciar, el nivel alcanzado por ellas fué más bajo que en el período anterior, lo cual únicamente sería posible en el supuesto que las glaciaciones hubiesen sufrido un ritmo decreciente, lo cual está completamente reñido con la observación. Esto ha obligado a admitir que, interfiriendo con los movimientos glacioeustáticos, se ha producido una variación general negativa del nivel del mar, de origen distinto, por ejemplo tectónico, en virtud de la cual las aguas, al ascender durante el período interglaciar, no lograban alcanzar el nivel precedente, ya que mientras tanto había continuado el movimiento regresivo aludido. Con esta corrección, la correspondencia de los niveles marinos con las glaciaciones parecía un hecho sólidamente establecido y ha servido durante bastantes años como base de la crónología cuaternaria.

Sin embargo, en estos últimos tiempos se ha visto la necesidad de introducir algunas modificaciones importantes al cuadro trazado por Depéret. En primer lugar, los cuatro niveles establecidos por este autor no se han reconocido en todo el Mediterráneo, y alguno de ellos se ha demostrado que estaba totalmente desprovisto de fundamento. Así la llamada terraza milazziense, que Depéret sitúa a 70 metros, es negada por la mayoría de autores, pues parece que en Milazzo, al Norte de Sicilia, localidad epónima, fueron confundidos los depósitos atribuidos a esta edad con otros más antiguos, deformados por movimientos tectónicos recientes. Lo mismo ocurre con el nivel llamado Monastiriense, de Monastir, donde también los depósitos de esta edad fueron confundidos con un nivel más antiguo.

Así, después de las modificaciones últimamente reconocidas, puede establecerse la siguiente sucesión de terrazas marinas: Siciliense, + 80 a 100 m.; Tirreniense I (o s. str.) + 20 a 35 m.; Tirreniense II u Ouljiense, + 15 m. y Flandriense + 6 metros.

Estos datos no son siempre fáciles de observar, pues frecuentemente las terrazas marinas mediterráneas han sido deformadas por movimientos tectónicos recientes, tal como han demostrado Gigout, Birot y Solé en las costas españolas. Por lo tanto, esta sucesión reviste todavía un carácter provisional, como lo demuestra la necesidad de crear una Comisión Internacional para el estudio de las líneas de costa en el Mediterráneo, a la que me corresponde, juntamente con el profesor Hernández-Pacheco, la responsabilidad de aportar las observaciones españolas.

La Península Ibérica, por la gran extensión de sus costas y por su interposición entre el Atlántico y el Mediterráneo, ocupa una posición clave para el estudio de las terrazas marinas, hoy defectuosamente conocidas. En el litoral mediterráneo existen pequeños y escasos vestigios de playas tirrenienses a un par de metros de altura sobre el nivel del mar, en el sector comprendido entre Barcelona y Tarragona. Pero a partir del litoral de Alicante hasta la punta de Tarifa, las banquetas formadas por playas fósiles constituyen uno de los motivos morfológicos dominantes de la costa mediterránea. En ella hemos reconocido los niveles + 2 m., Flandiense, + 5 m., Tirreniense II, + 25 m., Tirreniense I, y un nivel superior, posiblemente Siciliense, a + 80 m. También hay restos tirrenienses en las costas gaditanas y varios niveles de terrazas mal conocidas al otro lado del Estrecho de Gibraltar. También hay espléndidas terrazas marinas tirrenienses en Mallorca e Ibiza. En la costa atlántica, las terrazas de abrasión marina, desarrolladas desde el cabo de San Vicente hasta cerca de la desembocadura del Miño, presentan el enorme interés de estar relacionadas con las industrias humanas más anti-



guas de la Península, lo que ha permitido saber su edad. Breuil y Zbyszewsky señalaban los niveles de 12-15 metros, 25-35 m., 50-60 m. y 80-90 m. perfectamente caracterizados por su industria.

Por último, en el sector cantábrico reaparecen las superficies de abrasión marinas denominadas aquí «rasas», las cuales se escalonan a diversas alturas sobre el nivel del mar, pero sin industria ni fauna. Los movimientos tectónicos han afectado a estos niveles, que se hundecen en dirección a Galicia, tanto por el Norte de Portugal como al Oeste del Cantábrico. Es decir, que el hundimiento de las rías gallegas se debe, por lo menos en gran parte, a una flexión muy reciente del vértice NW de la Península.

La legitimidad de la hipótesis glacioeustática ha sido comprobada no sólo por la presencia de terrazas marinas a lo largo de las costas, sino también por la existencia de depósitos continentales dentro del mar, hasta una profundidad cercana a los 100 m. Así, en el Canal de la Mancha los pescadores arrastran frecuentemente dientes de mamut, y la topografía submarina del fondo del canal indica la existencia de una red fluvial hoy sumergida enteramente.

También el estudio de las formaciones coralinas en los mares cálidos ha demostrado la existencia de terrazas marinas, a alturas parecidas a las anotadas sobre el actual nivel de las aguas, y de rasas de erosión sumergidas, que señalan la acción del oleaje a profundidades hasta de 200 metros alrededor de las islas.

En las costas mediterráneas se observan fenómenos análogos. En los sondeos practicados en la zona de Palestina se ha reconocido la alternancia de cuatro niveles cuaternarios marinos y continentales hasta 80 m. de profundidad. En las italianas, Blanc ha reconocido la misma sucesión hasta — 100 m. y asimismo, en las de Vigo, Margalef ha comprobado la existencia de depósitos continentales bajo los marinos de la ría. Hoy día, se aceptan como muy probables descensos del nivel del mar del orden de los 100 me-

tros para la última glaciación y de los 200 metros en la glaciación antepenúltima.

El hecho es de particular trascendencia para la geografía del Cuaternario. En efecto, basta aceptar esos valores para el descenso del nivel actual del mar para poder pasar a pie enjuto desde Inglaterra a Escandinavia, a través del Mar del Norte; el propio Canal de la Mancha dejaría de existir. El Estrecho de Gibraltar se reduciría a poco menos de la mitad, a un pasillo de 4 a 5 kilómetros de anchura. El Bósforo y los Dardanelos serían un curso fluvial que comunicaría la laguna del Mar Negro con el Mediterráneo. Creta, Chipre, Sicilia, Córcega y Cerdeña quedarían unidas al continente europeo. Todos estos cambios fueron presenciados por el hombre prehistórico, el cual, desde África, pudo aprovechar estos momentos para transir el Estrecho de Gibraltar.

*Períodos pluviales.* — En las bajas latitudes, fuera de la zona sometida directamente a las influencias glaciares y periglaciares, la alternancia de fases climáticas cuaternarias se traduce en una sucesión de períodos lluviosos y secos, en número parecido a los períodos glaciares e interglaciares propios de las altas latitudes.

El hecho ha sido bien estudiado y se manifiesta en primer lugar por la existencia de antiguas terrazas lacustres que en algunos lagos, como en el Mar Muerto y en los del Colorado, se escalonan entre varios centenares de metros y el nivel actual de las aguas, señalando las fluctuaciones del nivel del lago. Asimismo la existencia de terrazas fluviales en los actuales desiertos, como por ejemplo en el Hoggar sahariano, la presencia de suelos cuya formación exige una mayor pluviosidad y la reconstrucción de las antiguas zonas morfológicas y de vegetación indican claramente que ha habido en esas regiones largos períodos de mayor pluviosidad.

En el aspecto cronológico, el principal problema que

ofrece el estudio de los períodos pluviales es su posible correlación con los períodos glaciares. Aun cuando esta correspondencia es difícil de precisar, hoy parece cada vez más extendida la opinión de que existe una exacta coincidencia entre fases pluviales y fases glaciares, mientras que los períodos interglaciares corresponderían a los períodos secos.

Sin embargo, el hecho no puede considerarse como definitivamente resuelto, y algunos autores sugieren la idea de que la fase pluvial no se desarrollaría simultáneamente en las latitudes bajas y medias, por lo que mientras pudo coincidir con los períodos glaciares en unas zonas, en otras pudo alternar. En Marruecos y Argelia, según todas las observaciones efectuadas, parece indudable que las formaciones glaciares y periglaciares de las cordilleras norteafricanas enlazan con las formas de erosión desarrolladas durante los períodos pluviales.

España, situada en el borde de la zona sometida durante el Cuaternario a las intermitencias climáticas de los períodos pluviales, se presta, por su situación, al estudio del tránsito entre zonas de dominio pluvial y zonas de dominio glacial. Todas las observaciones parecen señalar que la influencia de los climas glaciares solamente se ejerció en las altas montañas y, en forma amortiguada, en el Norte de la Península y en la parte septentrional de la Meseta. En el resto de España es probable que las fluctuaciones climáticas cuaternarias se tradujesen más bien en la importancia alcanzada por las lluvias que en la modificación importante de las temperaturas. Así parecen indicarlo las dos terrazas lacustres del lago de Banyoles, similares a las de las zonas tropicales, y cuyo proceso de formación está cortado por la existencia de un cambio climático importante correspondiente a la rubefacción de la terraza superior.

Los mismos indicios se manifiestan, según se irá viendo, en diversos aspectos de los depósitos formados tanto en el

interior de las cuevas como en los suelos y los derrubios de pendiente, así como en los caracteres de la fauna y de la flora y en las formas del modelado terrestre desarrolladas en consonancia con el clima.

*Otros tipos de depósitos cuaternarios de la región mediterránea.* — Además de los depósitos y formas glaciares y periglaciares, además de las terrazas marinas y glacioeustáticas, de los loes y de los derrubios de pendiente que llevan la impronta de las condiciones climáticas bajo las cuales se formaron, existen otros depósitos propios de las zonas alejadas de la influencia de los fríos y que han merecido hasta ahora poquísima atención, a pesar del gran interés que para los problemas del Cuaternario representan, especialmente para la región mediterránea, en general, y la Península, en particular. Me refiero a los limos rojos y a las costras.

Cuando se penetra en la región mediterránea, el color del suelo cambia inmediatamente, y a los tonos grises o parduscos de las zonas septentrionales sucede un color rojo cada vez más intenso. Así, al descender por el valle del Ródano, las primeras tierras rojas se anuncian en la región de Lión, pero no se imponen hasta que aparece la encina, el árbol simbólico del Mediterráneo. Progresivamente la rubefacción producida por la oxidación del hierro va extendiéndose y domina en todas las zonas algo húmedas del Mediterráneo. Los materiales rubificados son diversos: suelos fósiles, terrazas fluviales y marinas, superficie de las morrenas, etc. El estudio de esta rubefacción es uno de los elementos de juicio más interesantes para la cronología cuaternaria. Sin duda han existido varios períodos de rubefacción. Así, por ejemplo, las rañas españolas, de fines del Plioceno o principios del Cuaternario, presentan una rubefacción intensa de la pasta arcillosa. Como señala Kubiena, están formadas sin duda por el arrastre de suelos rojos anteriores, quizá de tipo laterítico, cuyo desmantela-

miento se produciría durante la crisis climática del Villanfranquiense, que, al destruir gran parte de la cubierta vegetal, facilitó la acción erosiva de las aguas y la formación de este tipo de depósitos característicos de las regiones áridas, ligados con formas de erosión de igual significación climática. Pero sin duda alguna la rubefacción ha continuado en el Mediterráneo en el transcurso del Cuaternario, en virtud de un proceso edáfico, tal como han señalado Marcellin, Choubert, Arambourg, Pfannenstiel, etc. La demostración es perfecta con la sola observación de las terrazas tirrenienses españolas, por ejemplo en Mallorca y en el litoral levantino. En todas partes se observa que los depósitos marinos de las terrazas tirrenienses se apoyan o indentan con limos rojos, mientras encima de ellas descansan las dunas fósiles y encima de éstas, todavía, derrubios crioclásticos cementados y no rubificados (Alicante, Campo de Tarragona, etc.). La interpretación climática de un corte de esta naturaleza parece sencilla. La rubefacción corresponde a una fase climática cálida y húmeda, posiblemente, según exige la Edafología, correspondiente a un clima tropical húmedo, con sequías estacionales algo pronunciadas. Luego al retirarse el mar, durante el período glaciario, los vientos arrastrarían las arenas de las playas recién emergidas y formarían la duna que cubre la terraza marina. Progresando la acción del frío, sobre la duna se depositarían los cantos arrancados a los acantilados próximos por la acción de las heladas, que, posteriormente, serían cementados por la evaporación de las aguas cargadas de cal, en los períodos secos. La dificultad de la interpretación estriba únicamente en determinar si la fase de rubefacción corresponde al clima cálido interglaciario, como es el caso para las morenas rubificadas de las zonas glaciares europeas, o bien corresponde al clima pluvial desarrollado en las zonas subtropicales durante el período glaciario.

En oposición a este perfil, los depósitos modernos correspondientes al Flandriense, por lo menos los más recientes,

no están nunca rubificados. El hecho es perfectamente demostrable, por ejemplo, en las terrazas lacustres de Banyoles, en donde los travertinos superiores, pertenecientes al Cuaternario antiguo, han sido intensamente rubificados, con un buen espesor de arcilla de decalcificación y fenómenos de corrosión intensa de la caliza, propios de un clima lluvioso y cálido, mientras que la terraza inferior, perfectamente datada por la presencia de la mandíbula de Neandertal, no está rubificada, a pesar de estar constituida por análogos materiales que la superior. Así, pues, no hay duda de que el último período de rubefacción en este sector del Mediterráneo occidental se ha producido antes de la última glaciación. Seguramente existieron dos fases de rubefacción que transformaron los depósitos del Tirreniense I y II, pero probablemente no son las únicas, tal como supone Choubert y parecen indicarlo los depósitos cuaternarios más antiguos.

Las morrenas de Puigcerdá, lo mismo que las terrazas fluviales, conducen a la misma conclusión, pues mientras la morrena de la penúltima glaciación está algo rubificada, en cambio, la de la última glaciación conserva los colores propios del granito recién arrancado de la cantera. Observaciones análogas han sido hechas por Alimen en los depósitos fluvioglaciares de la vertiente nortepirenaica, en donde el grado de rubefacción de los materiales, además de otras características, le sirve para identificar la presencia de diferentes glaciaciones.

Aparte de la rubefacción sufrida por estos diversos materiales cuaternarios, hay en la zona mediterránea húmeda otro tipo de depósitos mal conocidos, pero de grandísimo interés. Me refiero a los limos rojos que cubren extensiones grandísimas en la región de Barcelona, por ejemplo, y que alcanzan a veces quince y veinte metros de espesor. Estos limos alternan con otra formación típicamente mediterránea, las costras calizas. Limos y costras son los depósitos más característicos del Cuaternario del Levante español,

pero se extienden asimismo por buena parte de la región mediterránea, aun cuando sus áreas de dispersión no coinciden exactamente. Los limos dominan en la zona mediterránea húmeda, mientras las costras son características de las zonas mediterráneas secas. Ambas áreas se superponen en parte, puesto que su formación no fué simultánea y sus respectivas zonas de influencia se extendieron una encima de la otra.

Las costras calizas, internacionalizadas con la designación de «caliche», y mal descritas frecuentemente con la denominación errónea de travertino, cubren en el Mediterráneo extensiones enormes y alcanzan frecuentemente espesores de más de un metro, siendo uno de los grandes obstáculos del solar hispano para el cultivo. Frecuentemente el labrador, para encontrar un poco de tierra arable debe arrancar, a veces con dinamita, esta dura costra y arriñonarla en los márgenes de su campo. Es el mismo esfuerzo, aunque menos espectacular, que ha exigido la naturaleza mediterránea para la creación de esos bancales que como construcciones ciclópeas convierten muchas de nuestras montañas en colosales graderías, obra de generaciones, destinadas a salvar de la furia de la arroyada la escasa tierra labrantía que cubre las vertientes, y que frecuentemente hay que volver a subir a hombros.

Las costras aparecen un poco más al Sur que los limos rojos. En Francia, las primeras costras se observan en la región de Nîmes, en el clásico corte de Colias. En España, los limos ampurdaneses aparecen ya impregnados de pequeños nódulos de caliche dispersos en la formación rojiza. En la región de Barcelona esos nódulos se reúnen para formar pequeñas capas arriñonadas. En Tarragona y Tortosa, lo mismo que en la zona valenciana, y en Ibiza y Mallorca, las costras adquieren enormes espesores. Y en las zonas almerienses las costras forman capas durísimas de dos a tres metros de espesor, que tienen todas las características de la hammada sahariana. Las costras del Norte de África

han sido particularmente estudiadas en Argelia y Marruecos por edafólogos y geólogos, y parece que en las condiciones climáticas de algunos sectores costeros continúan formándose en la actualidad. En España, en cambio, se trata de un fenómeno fósil, ya que únicamente los materiales cuaternarios antiguos están encostrados, mientras que el Flandriense y las terrazas modernas no presentan nunca trazas de caliche. En cambio, las costras recubren siempre las dos terrazas tirrenienses y cementan, según se ha indicado, los derrubios crioclásticos correspondientes al último período glaciario. Han existido, pues, distintos períodos de formación de costras, como los ha habido diferentes de formación de limos rojos. Parece que la fase más tardía de formación de costras debe colocarse al final del último glaciario.

La alternancia de limos y costras es particularmente instructiva en la región de Barcelona, según han descrito Llopis y Ribera. Ahora mismo con motivo de las obras de la fachada de la Pasión en la Sagrada Familia acaba de abrirse un enorme foso que descubre la naturaleza del zócalo en esta región de Barcelona. Sobre el Plioceno marino, representado por arenas y margas fosilíferas, se hallan tres niveles de limos rojos separados por otros tantos de costras de caliche noduloso. La sucesión es la misma que se observa en toda la zona del Maresme, con un ritmo cíclico que consta de limos de color rojo vivo, decalcificados en la base, limos calcáreos de color salmón en la parte media y costra nodulosa en la parte alta. Es evidente que la costra se ha formado por una movilización vertical del carbonato cálcico en sentido ascendente, según corresponde a un clima seco, similar en la actualidad al de las costas septentrionales de África.

Como las condiciones climáticas de formación de los limos y de las costras son muy diferentes, resulta evidente que las fluctuaciones climáticas cuaternarias se hallan magníficamente impresas en esta seriación de los limos barce-

loneses, con alternancia de períodos cálidos y lluviosos con otros secos. Es el mismo ritmo alternante que permite reconocer la sucesión de terrazas marinas y fluviales, de depósitos loésicos y de morrenas. Lástima que hasta ahora la falta de utillaje prehistórico o de fósiles no haya permitido todavía establecer la perfecta cronología de estos depósitos, cuyo ciclismo es tan convincente e instructivo como el de los loes centroeuropeos.

*La morfología árida.* — Las formas topográficas de significación climática tienen también particular interés en los estudios cuaternarios. Con Birot hemos descrito en la región meridional de España hermosos ejemplos de rampas de erosión (1) que enlazan con las terrazas tirrenienses y aparecen recubiertas por costras. Parece, pues, que estos niveles marinos constituyeron durante el período seco, subsiguiente a la elevación glacioeustática, niveles de base a expensas de los cuales se labraron estas formas propias de climas secos. Es decir, que en la región meridional de España, lo mismo que en el Norte de África, durante el Cuaternario se produciría una alternancia de períodos pluviales y secos.

En Sicilia e Ibiza hemos observado el mismo fenómeno y a la misma conclusión llega Mensching para Mallorca. Es decir, que esta zona centro y meridional de la Península correspondería a la línea mediterránea limítrofe entre el Cuaternario con fases glaciares y el Cuaternario de tipo pluvial.

---

(1) En la morfología árida se distinguen dos tipos de llanuras de erosión: el *pediment*, desarrollado en zonas extensas, con escasa pendiente y sobre rocas duras (calizas, cristalino) y el *glacis d'érosion* (rampa de erosión, según nuestra terminología), desarrollado sobre rocas blandas, con fuerte pendiente y escasa extensión superficial. Los mejores pediments españoles son los de la Cordillera Central, descritos en otros trabajos nuestros, mientras la zona murciana y almeriense es un país de rampas. Estas últimas son indicativas de un clima más árido que el que corresponde a los pediments.

Es la misma conclusión a que conduce el estudio de las costras y de los depósitos de las cuevas.

*Los sedimentos de las cuevas.* — Para un geólogo, cualquier sedimento cuaternario es una reliquia preciosa del pasado el cual puede servir para la reconstrucción del escenario vivido por nuestros antepasados. Por eso, después de haber interrogado a los depósitos dejados por los ríos y las aguas de arroyada, por los mares, por los glaciares y por el viento, busca todavía con afán otros indicios de este pasado y los encuentra, y muy instructivos, en los depósitos acumulados en el interior de las cuevas. El prehistoriador ha escudriñado también con el mismo fin los restos dejados por el hombre en estos refugios en los que éste se vió obligado a cobijarse durante las etapas frías prehistóricas. Mediante tales restos ha logrado reconstituir las culturas y los movimientos de pueblos, especialmente de cuanto ha sucedido durante los últimos períodos glaciares; pero más exigente que el geólogo desdeña aquellas cuevas desprovistas de industria humana. En cambio, el geólogo tiene que aprovecharlo todo y estudiando las tierras y gravas acumuladas en las cuevas, los restos de los animales que allí vivieron, los granos de polen aportados por el viento, intenta reconstruir los acontecimientos cuaternarios aun sin el auxilio de aquel utillaje humano que, naturalmente, cuando existe, es de inapreciable valor para la cronología de los hechos estudiados.

En las cuevas mediterráneas se reconocen tres clases de depósitos indicativos de circunstancias climáticas diferentes: las incrustaciones calcáreas, las tierras más o menos alteradas por la meteorización y transformadas en un verdadero suelo, las brechas formadas por cantos caídos de las paredes y del techo de la cueva, y, ocasionalmente, en la zona litoral, sedimentos marinos. Las incrustaciones calizas con su cortejo de estalactitas y estalagmitas revelan un ambiente de humedad, que generalmente es producido por la

abundancia de aguas de lluvia, aun cuando pueden influir otros factores ligados al desarrollo de la formación de la cueva. Por eso, de ordinario, se consideran ligados a los períodos pluviales, suposición que viene comprobada por el estudio del polen de las plantas que vivieron en aquellas épocas y por la ecología de los animales coetáneos.

Las tierras depositadas dentro de las cuevas, ya sea por el viento o por el agua, experimentan, como todo el roqueado, un proceso de alteración química que conduce a la formación de un suelo. En las cuevas mediterráneas hay suelos rojos, en parte de origen eólico, similares a la «terra rossa» del exterior, e indicadores de un clima de tipo mediterráneo más o menos parecido al actual; y suelos pardos, demostrativos de condiciones climáticas semejantes, en humedad y temperatura, a las del centro de Europa.

Por último, los lechos de brechas, formados por cantos arrancados a las paredes de las cuevas, se atribuyen lógicamente al efecto de las heladas, y denotan, pues, los rigores térmicos de los períodos glaciares; se mezclan generalmente con las tierras pardas, pero en cambio suelen faltar en la «terra rossa».

Esas significaciones climáticas quedan demostradas, además, por el estudio de los granos de polen correspondientes a las plantas contemporáneas de cada uno de estos depósitos y por las exigencias ecológicas de la fauna que vivió en cada período, así como por la cronología demostrada por el utillaje humano, cuando éste existe.

Así, pues, el estudio de los depósitos de las cuevas es de inapreciable valor, particularmente en lo referente a los suelos, a la granulometría de toda clase de derrubios, y al polen y la fauna considerados en su sentido ecológico y estadístico. La fauna mediterránea, en efecto, a causa del alejamiento de los focos glaciares es, por su contenido específico, muchas veces banal en cuanto a significación climática. Las fluctuaciones del medio se reconocen únicamente por el predominio estadístico de una u otra especie,

tal como se ha demostrado, por ejemplo, para las cuevas del Monte Carmelo, en Palestina, con la presencia simultánea de especies tales como el género *Dama*, indicador de bosque, y *Gazela*, indicador de estepa, y cuya proporción, expresada en tantos por ciento, revela las oscilaciones climáticas.

Desgraciadamente los depósitos de las cuevas españolas raramente se han estudiado con el auxilio de estos recursos técnicos. Únicamente las variaciones específicas, no estadísticas, de la fauna permiten reconocer las fluctuaciones cuaternarias en sus capas. Dos yacimientos destacan por su importancia en este aspecto: la cueva del Castillo, en la provincia de Santander, cerca de Villacarriedo, y las de Gibraltar, mejor investigadas. Aunque casi sin industria, las investigaciones realizadas últimamente en la cueva del Toll, de Moyá, pueden alcanzar también importantes resultados.

Casi todas estas cuevas, a excepción de la del Castillo, que empezó a ser habitada durante el penúltimo período glaciario, se poblaron a consecuencia del enfriamiento ocurrido durante la última glaciación cuaternaria. La llegada de la fauna fría se reconoce por la presencia del reno, mamut, marmota, perdiz y cabra de los Alpes, *Alca impennis*, etcétera, que junto con los restos del hombre de Neandertal e industria musteriense se hallan en algunas de estas cuevas, ya sea sobre los restos de playas tirrenienses con fauna cálida, ya sea sobre sedimentos con fauna cálida o templada e industria premusteriense.

Los depósitos de las cuevas de la Costa Azul y de la Riviera italiana (Grimaldi, Príncipe, Observatorio, etc.) las de Apulia, en el Sur de Italia, y las del Monte Carmelo, en Palestina, han permitido a Zeuner esbozar un cuadro climático del último período glaciario, que parecen confirmar los estudios espeleológicos más recientes.

Tanto los depósitos como la fauna de estas cuevas revelan una serie de oscilaciones climáticas ocurridas en el

último período glaciario. En efecto, en estos depósitos se repite un ritmo alternante constituido primero por la deposición de una capa tobácea que señala casi siempre la existencia de un máximo pluvial. La fauna encontrada inmediatamente después, denuncia los animales del bosque templado, como el ciervo, el rinoceronte (*Dicerorhinus mercki*), y más tarde, al acercarse un máximo glaciario, aparece la fauna de la estepa como el caballo y el reno; pasado este momento álgido, se repite la misma sucesión en sentido inverso. En total, en el ritmo sedimentario que se registra en las cuevas mediterráneas se acusa la existencia de tres oscilaciones climáticas totalmente similares a las que en los Alpes señalan los depósitos morrénicos correspondientes a la última glaciación.

Sin embargo, estas tres fluctuaciones würmienses no tuvieron la misma significación en todo el Mediterráneo, según Zeuner. En el Norte existió un corto período frío y seco, de tipo glaciario, precedido y seguido de otro frío y lluvioso; mientras que en el Sur del Mediterráneo (Gibraltar, Palestina, etc.) las tres oscilaciones climáticas fueron francamente de tipo pluvial. En el abrigo Romaní, de Capellades, las tres fases de sedimentación tobácea correspondientes a estos tres episodios pluviales würmienses están perfectamente caracterizadas.

Es la misma conclusión a que nos ha conducido el estudio de las alternancias marinas y continentales correspondientes a la transgresión flandriense.

#### DESARROLLO DE LA VIDA EN EL CUATERNARIO

Los depósitos cuaternarios contienen restos de los seres vegetales y animales que vivieron en esta época y cuyo estudio puede tener dos finalidades. Una, estratigráfica, al objeto de utilizar estos fósiles como medio para establecer una cronología relativa de los depósitos pleistocénicos, de

la misma manera que el utillaje humano permite fijar una sucesión estratigráfica. Y otra, biológica, que aspira a conocer las condiciones de vida de dichos seres y la evolución de los mismos a través del tiempo.

Pero los depósitos continentales cuaternarios son generalmente pobres en fósiles, reduciéndose de ordinario a moluscos, aves y mamíferos. En cambio, los sedimentos marinos son mucho más ricos paleontológicamente, pero su extensión, aparte de los fondos oceánicos, se reduce en el mejor de los casos, a pequeñas franjas costeras.

Sin embargo, a pesar de tales limitaciones, su estudio es de primera importancia, pues tanto la flora como la fauna cuaternarias llevan impresas en su evolución un doble carácter. Por una parte reflejan las fluctuaciones climáticas propias de esta Era, ya que el área de dispersión de cada especie y, en general, las condiciones de vida de los seres pleistocénicos estuvieron influenciadas por aquellos cambios. Por otra parte, la vida durante el Cuaternario continúa su ritmo evolutivo propio, con desaparición de formas antiguas y creación de otras nuevas a lo largo de las líneas de descendencia preexistentes. Por consiguiente, los efectos provocados por las oscilaciones climáticas interfieren con los producidos por esa evolución filogenética.

Cada período glacial hizo variar las condiciones de vida en toda la Tierra, con desplazamiento latitudinal y altitudinal de las zonas climáticas y con reducción de algunas de ellas. Así, por ejemplo, durante el último glacial la tundra, limitada hoy por encima de los 55 a 60° de latitud, es empujada hacia el Ecuador, alcanza el borde del Pirineo y aun se prolonga por el centro de la Meseta, a unos 2.500 Km. más al Sur de su límite actual. Paralelamente, el bosque centroeuropeo se desplaza en la misma dirección y busca el refugio acogedor de las costas mediterráneas, mientras la vegetación actual del Mare Nostrum invade los bordes del Sahara, y, más al Sur, el propio desierto saha-

riano llega casi a desaparecer al ser invadido por la vegetación esteparia. A su vez se desplaza la fauna que acompaña a cada una de estas formaciones vegetales y que constituye con ellas un biotopo característico. Así, por ejemplo, el reno, el mamut, el buey almizclero y el rinoceronte lanudo acompañan la tundra. El oso pardo, el ciervo y el buey van unidos al bosque subártico. El propio oso pardo, el hipopótamo, el rinoceronte, el ciervo, el buey, el bisonte y el elefante pertenecen al bosque templado de hoja caduca. Otros animales, como la marmota, el caballo, el onagro o asno salvaje y el Lakomys son característicos de la estepa.

Los biotopos europeos no sólo se desplazaron en latitud, sino que, al propio tiempo, sufrieron una variación en su composición específica, a consecuencia de la invasión de nuevas formas de origen oriental y de la extinción de otras variadas, más difíciles de adaptar a las nuevas condiciones climáticas. Así, con los primeros fríos desaparecen la mayoría de cérvidos pliocénicos y villafranchienses, los *Machairodus*, *Hipparion*, *Mastodon*, *Leptobos*, etc., y, en conjunto, la fauna se empobrece notablemente. En compensación, los nuevos emigrantes orientales, como el reno, *Ovibos*, rinoceronte lanudo, *Trogontherium*, etc., empiezan a luchar para establecerse en el nuevo ambiente propicio para ellos, pero esta lucha entablada con el mundo viviente, ya afincado, es dura y sólo después de los repetidos períodos glaciares llega a ser importante. Así, el reno, que aparece en la segunda glaciación, no llega a su pleno desarrollo hasta el último período glacial, en una lucha por el espacio vital desarrollada en el transcurso de unos trescientos mil años.

A consecuencia de todas estas innovaciones y traslaciones de floras y faunas, sobre una zona cualquiera de la Tierra, si las condiciones de fosilización hubiesen sido óptimas, deberían encontrarse superpuestas las huellas del paso de estos diferentes biotopos, de la misma manera que se ha-

llan superpuestos los depósitos relativos a los períodos fríos y cálidos. Sin embargo, se ha demostrado que esa concepción es demasiado simplista y que la clasificación antigua en formas cálidas y formas frías debe hacerse con mucha circunspección. En primer lugar, hay formas adaptadas a varios biotopos próximos, y otras cuyas condiciones de vida pueden haber variado con el tiempo. Así, por ejemplo, el reno, que se suele dar como característico de la tundra, presenta formas adaptadas al bosque subártico; el león, que se suele considerar como perteneciente a la fauna cálida, era menos sensible al frío en el Pleistoceno.

Pero aparte de estas reservas, el hecho fundamental que interfiere en las condiciones ecológicas es el de la evolución filogenética, de ritmo muchísimo más lento. En realidad, sólo puede hablarse de faunas cálidas y frías durante el último período glacial, puesto que la fauna cuaternaria anterior apenas acusa los intensos cambios climáticos del Pleistoceno inferior y medio. Así, pues, la fauna va adaptándose progresivamente al frío en el transcurso del Cuaternario. Del desconocimiento de este hecho nació entre los paleontólogos la errónea concepción monoglaciaria, basándose en que, realmente, apenas hay más que una fauna netamente fría, la del último período glacial, que se superpone a la fauna cálida anterior.

Teniendo en cuenta estos hechos generales, veamos ahora la interpretación adecuada a la fauna de la Península Ibérica.

En general las variaciones de la fauna continental ibérica son mucho menos acusadas que en el resto de Europa, a causa de su avanzada posición meridional, de su fuerte carácter peninsular y de la dificultad de traspasar la barrera del istmo pirenaico. Así, el reno y el mamut que caracterizan el ambiente frío europeo, sólo se extienden por la región cantábrica y pirenaica (Santander, Cataluña). El influjo más avanzado de las oleadas frías se acusa, no obstante, hasta Gibraltar, pero tan sólo con la presencia de

especies como la cabra montés y que todavía vive en las alturas de Sierra Nevada, del pingüino gigante (*Alca impennis*) y de la perdiz de los Alpes, que conviven con formas de zona templada o cálida. En general, pues, la fauna peninsular, aun durante el último período glaciario, es de tipo cálido o inexpressivo en el aspecto térmico. La influencia de las variaciones climáticas más bien deben buscarse en el predominio oscilante de formas adaptadas a las variaciones de la vegetación, que a especies características de los fríos glaciares. De esta forma, para la mayor parte de la Península el elenco faunístico que va desfilando en el transcurso del Cuaternario obedece casi exclusivamente a las imposiciones de la evolución filogenética.

Las faunas más arcaicas acusan la supervivencia de formas terciarias como *Hipparion*, *Mastodon*, *Machairodus*, etcétera, asociadas a formas netamente cuaternarias. Es el tipo de la fauna villafranquiense de Villarroya y, más evolucionada todavía, de una cueva aún inédita de la región asturiana.

La desaparición de estas formas arcaicas y la aparición de los elefantes antiguos (*E. meridionalis*, *antiquus*, *trogotherium*) junto con el rinoceronte de Merck, bisón, *Megaceros*, etc., señalan otra etapa evolutiva que caracteriza el Paleolítico inferior (Manzanares, Torralba).

Finalmente, una tercera etapa acusa, con el último glaciario, la aparición de algunas formas frías, parte de las cuales, lo mismo que el Hombre, se refugia en las cuevas: mamut, reno, hiena y león de las cavernas, oso pardo, que perduran durante el Paleolítico medio y superior. Las que mejor acusan la impronta glaciario sólo se presentan en el Norte de la Península, mientras en el resto continúa evolucionando la fauna cálida o banal, que apenas nota la llegada de algún emigrante frío, como los citados de la zona costera de Gibraltar.

El ritmo evolutivo acaba también con muchas de estas formas, las cuales, al empezar el Neolítico han ya desapa-

recido o se han refugiado en las altas montañas, con lo que la fauna es ya la actual.

Dentro de este cuadro, las Baleares constituyen, por su insularidad, un mundo aparte, íntimamente relacionado con Cerdeña y demás restos de la desaparecida Tirrenida. Sus representantes más típicos son un antílope (*Myotragus balearicus*), de clima seco, propio de la vegetación esclerófila, y ciertos endemismos como los lirones (*Hypnomys morpheus*, *H. mahonensis*) y la musaraña (*Nesiotites hidalgo*) que poblaban ya las islas antes del último glaciario.

La valoración absoluta de la cronología cuaternaria permite determinar la velocidad del ritmo evolutivo experimentado por la fauna pleistocénica, pues hay troncos filogenéticos en los que se conoce el momento de aparición de nuevas formas, tal como en el grupo de los elefantes. Este ritmo es lentísimo, pues mientras el desplazamiento de un biotopo, tal como los ocurridos durante las fases frías o pluviales, es capaz de completarse perfectamente en unos 20.000 años, y mientras la instalación de unos emigrantes orientales exigió períodos de unos pocos centenares de miles de años, en cambio la aparición de una de tales especies requiere períodos del orden de los 500.000 años. Basándose en otros grupos biológicos, algunos autores calculan el tiempo de vida probable de una especie como comprendido entre 3 y 8 millones de años. Naturalmente que no todos los troncos evolucionan al mismo ritmo, ni la longevidad de todas las especies es la misma, pero las cifras apuntadas señalan la enorme importancia del factor tiempo y la escasa probabilidad de observar en el transcurso del Cuaternario la aparición de nuevas especies. Es un factor que debe dejar su huella en la concepción biológica sobre la descendencia y que debe tenerse en cuenta al tratar de la evolución humana, pues el Hombre no es más que un recién llegado a este mundo, en el que apenas hace cuatrocientos mil años que se halla instalado.

La vegetación es mucho más sensible a las oscilaciones

climáticas que los animales superiores y por eso constituye un reactivo de extremada delicadeza que permite registrar los menores cambios ambientales ocurridos en épocas pasadas. Gracias al examen polínico, hoy conocemos el mapa de las formaciones vegetales de gran parte de Europa y determinadas asociaciones características de los períodos glaciares e interglaciares de Francia, Holanda, Alemania, Suecia y Rusia, por ejemplo. Hasta ahora apenas podemos decir nada concreto sobre la Península Ibérica en este aspecto, pero esperamos que pronto los estudios emprendidos por el profesor Florschütz y la señorita Menéndez Amor nos darán una primera visión auténtica del paisaje vegetal peninsular pleistocénico. Entre tanto, únicamente por extrapolación y por el paralelismo entre la distribución geográfica de los vegetales y otros fenómenos climáticos mejor conocidos, se supone que durante los períodos glaciares la tundra se extendería por el interior de la zona septentrional de la Meseta y las altas montañas, mientras el bosque caducifolio de robles, hayas, abedules, etc., ocupaba la zona atlántica y el Sur y costas de la Península, mezclado con especies cálidas, de hoja perenne, en las costas mediterráneas. Así el bosque de haya, muy exigente en humedad, ocupaba durante el último pluvial las zonas más áridas de la Meseta, mientras en la actualidad el límite meridional no rebasa el Pirineo, con algunos islotes de avanzadilla, despegados del grueso de la formación, en las alturas húmedas de Somosierra.

### III. CRONOLOGÍA DEL CUATERNARIO

La serie de depósitos dejados por los glaciares, la superposición de varias capas de loes, la seriación de limos y costras, el escalonamiento de terrazas marinas y fluviales, la sucesión de floras y faunas, conduce a una misma conclusión: la alternancia rítmica de las condiciones climáticas durante el Cuaternario. Pero si los hechos generales están bien establecidos, en cambio la cronología detallada de estos fenómenos es todavía uno de los más arduos problemas geológicos, en el que es necesaria la colaboración de prehistoriadores y geólogos, ya que la serie de industrias contenidas en las formaciones cuaternarias tienen el mismo valor indicatriz de un fósil.

El primer problema de la cronología prehistórica es la sucesión ordenada de los hechos, independientemente de su duración absoluta, es decir, la cronología relativa establecida por los métodos propios de la Estratigrafía y con el concurso del utillaje humano. El segundo problema es el de la cronología absoluta, para poder cifrar en años la serie de hechos debidamente seriados.

Veamos el estado actual de estas dos cuestiones.

*Sucesión estratigráfica: la base del Cuaternario.* — Hasta el año 1951, que fué el del Congreso Geológico Internacional celebrado en Londres, se solía empezar el Cuater-

nario en el primero de los cuatro períodos glaciares bien conocidos y estudiados en los Alpes, entre otras muchas zonas de la Tierra. Desde aquella fecha el Cuaternario ha envejecido, pues se ha unido con el llamado Villafraniense, que antes se incluía en el Terciario superior, y con ello su duración por lo menos se ha doblado y quizá triplicado.

El Villafraniense constituye un período bien definido cronológicamente, tanto por su fauna como por su flora. Esta última, sobre todo, anuncia ya un enfriamiento continental, preludio de las grandes glaciaciones posteriores. La fauna presenta todavía un gran número de formas arcaicas, heredadas de los tiempos terciarios, tales como los carnívoros del tipo *Machairodus*, los últimos *Hipparion* y mastodontes, que pronto van a desaparecer. En cuanto a los depósitos, se caracterizan generalmente por la brusca aparición de grandes masas de derrubios que se esparcen al pie de las montañas (formación de Lannemezán en el Pirineo, *deckenschöter* de los Alpes bávaros, Chambaran al pie de los Alpes, Sundgau alsaciano, etc.) y de loes en otros puntos (Saint-Vallier). Estos tipos de depósitos demuestran que la entrada del Cuaternario se caracteriza por una fuerte crisis climática.

En España el Villafraniense presenta especial interés, pues poseemos uno de los pocos yacimientos bien estudiados de esta época: el de Villarroya (provincia de Logroño), en el borde sur de la depresión del Ebro, investigado por Fernández Villalta. La fauna de esta época, aparte de su carácter arcaico, evoca un biotopo de tipo estepario cálido, con gran número de animales hervíboros y algunos carnívoros. Seguramente el estudio de los granos de polen contenidos en las turbas de Villarroya proporcionará datos más ilustrativos. De momento, la conclusión es importante y parece coincidir con otros hechos de igual significación registrados por la Geomorfología. En casi toda España, pero sobre todo en el Sur y Oeste de la Meseta,

existen potentes derrubios que unas veces han sido identificados vagamente como cuaternarios y otras atribuidos al Terciario. Hernández-Pacheco ha internacionalizado para ellos la denominación local de «rañas», con que se les conoce en Extremadura. Se trata de grandes masas de cascajo, de elementos cuarcíticos y mal rodados, mezclados con una arcilla de color rojo vivo. En Portugal estos materiales reposan sobre el Plioceno superior marino, por cuya razón, y por su independencia respecto a las terrazas fluviales cuaternarias, se han asignado al Villafranquiense. Tales depósitos no son más que fanglomerados típicos, o sea derrubios arrastrados por aguas torrenciales en períodos de inundación, los *sheet flood* de las zonas áridas de los Estados Unidos. Tales depósitos han sido arrancados de las montañas circundantes a la Meseta, y como corresponde a esta clase de sedimentos y de clima, el relieve es del tipo llamado pediment, extensas superficies de erosión rígidamente horizontales que han corroído por su base las cordilleras adyacentes; ligados con los pediments aparecen los montes isla, o *inselberge* de los alemanes, que salpican las llanuras castellanas y extremeñas. Los depósitos de Villarroya enlazan precisamente con uno de estos pediments, formado a expensas de los relieves calizos de la Cordillera Ibérica, según ha demostrado Oriol Riba.

La extensión de las rañas y las características del yacimiento de Villarroya permiten formar una idea de las condiciones climáticas peninsulares al principio del Cuaternario, con esos poderosos *sheet flood* o mantos de arroyada, que arrastraban masas enormes de derrubios que esparcieron al pie de nuestras cordilleras, en un ambiente árido, de vegetación esteparia. Seguramente entonces se produciría la desorganización de la red hidrográfica de la Meseta, con su cortejo de zonas endorreicas.

La aridez sería todavía más extremada hacia el Sur y sobre todo Sudeste de la Península, pues suponemos que es el momento en que, en esta zona, empiezan a formarse las

rampas de erosión, según hemos demostrado para la zona de Baza. Seguramente este clima villafranquiense se instaló después del período cálido y húmedo del Terciario superior, durante el cual se formaron los lehm rojos que, arrasados luego por la arroyada, se mezclaron con los depósitos gruesos de las rañas.

Por consiguiente, las primeras manifestaciones glaciares que se supone pueden haber existido no tuvieron ninguna repercusión sobre el suelo español. El gran cambio se produce con la aparición de las glaciaciones del Pleistoceno medio.

*Pleistoceno medio y superior.* — Después de la crisis climática villafranquiense, y a medida que avanzan los tiempos cuaternarios, el enfriamiento prosigue y se producen los grandes períodos glaciares que caracterizan esta era, y con ellos la secuela de fenómenos continentales y marinos revelada por el estudio de los sedimentos.

Es indudable que han existido fluctuaciones climáticas glaciares, pero es difícil precisar su número exacto e importancia relativa. El tema se ha prestado y se presta a largas y difíciles controversias en todo el mundo. Hay partidarios de la hipótesis poliglacial, como hay defensores de la existencia tan sólo de una o dos glaciaciones.

La hipótesis monoglacial es defendida, aun actualmente, por ciertos investigadores como Denizot, Jayet y algunos paleontólogos, basándose en que no existe la supuesta alternancia de faunas frías y cálidas y que los glaciares alpinos, por ejemplo, no han dejado más que las morrenas internas y las externas, atribuibles a dos glaciaciones según unos, a una sola según los más radicales. Sin embargo, la posición de los mono y biglacialistas cada vez va siendo más difícil de defender, y hoy la perfecta sucesión de depósitos glaciares y periglaciares con suelos diferentes, la serie de terrazas marinas y de depósitos continentales submarinos, la sucesión de terrazas climáticas en zonas gla-

ciare y pluviales, la secuencia de la vegetación, etc., etc., obligan a admitir como seguras por lo menos cuatro glaciaciones, que no fueron de la misma intensidad. Incluso, cada vez se afirman más los indicios de la existencia de una o más fases glaciares anteriores a las cuatro generalmente admitidas.

Respecto a la Península Ibérica, el problema de la estratigrafía cuaternaria es, como en todas partes, el más difícil de dilucidar. Los hechos sobre los que puede apoyarse una división cronológica del Cuaternario español son los siguientes:

1.º En cuanto a las glaciaciones, hay pruebas indudables de la existencia generalizada de dos períodos glaciares, muy bien desarrollados en el Pirineo. En Puigcerdá existe el mejor complejo morrénico del Pirineo español, con una perfecta diferenciación entre las morrenas correspondientes a la última y penúltima glaciación, tanto por su posición encajada la una en la otra, como por la profunda alteración y los suelos rubificados desarrollados sobre la morrena antigua, así como por su enlace con terrazas fluvio-glaciares de edad diferente. Circunstancias parecidas se observan en Castiello de Jaca, en el valle del Aragón. En cambio, en el resto del Pirineo español los glaciares quedaron confinados a zonas estrechas de los valles prepirenaicos, y las terrazas que pudieron haber existido han desaparecido total o parcialmente por erosión, por lo que su enlace con los arcos morrénicos frontales es imposible. Sin embargo, es frecuente poder observar morrenas frontales internas y externas que acreditan la existencia por lo menos de dos glaciaciones y de diversos episodios epiglaciares de retroceso pertenecientes a la última glaciación. En este aspecto puede servir de orientación las observaciones realizadas sobre la vertiente francesa del Pirineo. En este sector, aunque hay opiniones opuestas, los autores que mejor se han ocupado del problema parecen coincidir en aceptar la existencia de cuatro glaciaciones, demostradas tanto por la

morfología como por el grado de alteración de los materiales atribuidos a las diferentes fases glaciares. En este sentido coinciden tanto las pruebas morfológicas aducidas por Goron, quien encuentra una réplica fiel de la historia de los Alpes, como las observaciones sedimentológicas de Henriette Alimen, basadas en el estudio de los suelos y de los depósitos cuaternarios. En las restantes cordilleras españolas, en donde la glaciación fué de tipo pirenaico, hay que renunciar totalmente a establecer su enlace con las terrazas fluviales. Sin embargo, en algunas cordilleras parece también poderse reconocer la existencia de morrenas internas y externas que podrían ser equivalentes a las del Pirineo, pero falta estudiar sistemáticamente, con métodos modernos, la composición de sus materiales y el grado de alteración de los mismos.

2.º En cuanto a las terrazas fluviales, el estado del problema es todavía más precario. Son hasta ahora pocas las terrazas que han suministrado fósiles o utillaje a propósito para una cronología adecuada, aparte de las del Manzanares, que constituyen uno de los más hermosos complejos europeos, dignos de ser parangonados con las del Somme, que han servido en gran parte para el establecimiento de la cronología cuaternaria del Occidente de Europa. Además, según han demostrado las observaciones modernas, el estudio de las terrazas es de una gran complejidad, pues es necesario, en primer lugar, trazar el perfil longitudinal de los sistemas de terrazas, cosa que apenas se ha hecho para la inmensa mayoría de los ríos españoles, estudiados exclusivamente a base de perfiles transversales. También es preciso el estudio de sus sedimentos con métodos modernos, lo cual es tarea que también hay que realizar. En este estado de las investigaciones, todo intento de cronología parece sumamente aventurado y expuesto a continuas rectificaciones. Para muchos ríos españoles, sobre todo los más meridionales, si el enlace con las morrenas es imposible, en cambio puede llegarse a conclusiones importantes el día en

que se haya hecho su enlace con las terrazas marinas, tan bien desarrolladas desde Alicante hacia el Sur y en todo el Oeste y Norte de la Península.

3.º También podrán rendir grandes servicios en la estratigrafía del Cuaternario el estudio sistemático de los limos y costras, cuya sucesión, por su constancia y amplitud, pueden ser de gran valor para el Levante español. Sin embargo, hasta ahora la falta de utillaje o de fósiles, debidamente situados respecto los diversos niveles de dichas formaciones, impide cualquier intento de determinación estratigráfica.

4.º Quedan, por último, los importantes datos aportados por los sedimentos de las cuevas, en donde se reconoce la existencia de dos períodos glaciares separados por una fase interglaciar en la región cantábrica, y tres fluctuaciones climáticas pluviales dentro del último glaciar para el Sur de la Península.

Así, pues, en resumen, en cuanto a la estratigrafía del Cuaternario español, aparte los datos de las glaciaciones pirenaicas, de algunos poco coherentes de las terrazas, de la sucesión de edad desconocida de limos y costras, de las terrazas marinas y de los sedimentos de las cuevas, hay muy pocos datos más en que apoyarse. Más que una estratigrafía del Cuaternario hay una enumeración de problemas a estudiar y resolver.

*Cronología absoluta del Cuaternario.* — Todo fenómeno histórico, para su mejor comprensión, exige una valoración en unidades de tiempo. Y si esto es cierto para cualquier período geológico, resulta todavía mucho más importante para el Cuaternario, puesto que significa la evaluación de los primeros pasos de la historia de la Humanidad.

Ha habido numerosos intentos de determinación de la cronología absoluta del Cuaternario, basados en diversos métodos, tales como el recuento de los anillos anuales de

crecimiento de los árboles (dendrocronología) y la velocidad de alteración química de los sedimentos; algunos de ellos de probabilidades muy limitadas y otros de resultados dudosos. El primer ensayo importante de valoración absoluta del Cuaternario se debe a la labor realizada por Gerard De Geer y su escuela. Con una paciencia difícilmente superable, este investigador sueco fué contando las capitas o «varvas» de los lagos glaciares de Escandinavia, suponiendo que cada una de ellas, como los anillos de los árboles, corresponde a un período anual, determinado por la alterancia en el ritmo sedimentario producido por las aguas de fusión del hielo; en verano, a causa del mayor caudal, los ríos arrastran arenas y materiales gruesos, mientras que en invierno sólo se depositan lúgamos muy finos. Basándose en este hecho, De Geer ha logrado situar los acontecimientos ocurridos hasta 18.000 años a. J. C., lo cual no es ciertamente mucho para el Cuaternario, puesto que no llega más que hasta el Paleolítico superior, o sea que afecta al final de la última glaciación. Sin embargo, la prosecución por la viuda de De Geer de los trabajos iniciados por su esposo ha servido para llegar a la conclusión de la simultaneidad de las glaciaciones en América y en Europa, plenamente demostrada luego por otros medios.

El esfuerzo más ambicioso para deducir una cronología absoluta de todo el Cuaternario se debe, sin embargo, al polaco Milankovitch, el cual, teniendo en cuenta los diversos fenómenos astronómicos que intervienen en los movimientos de traslación de la Tierra, a saber, la precesión de los equinoccios y las variaciones de la oblicuidad y excentricidad de la órbita terrestre, llega a calcular las variaciones del calor solar recibido por nuestro planeta en el transcurso del tiempo. Dichas fluctuaciones permiten construir una curva calorífica para el Cuaternario y aun para los tiempos anteriores y posteriores a esta era. El resultado fué altamente sorprendente, pues demostró la existencia de unos mínimos que deben corresponder a los períodos

glaciares, separados por otros máximos térmicos que pueden interpretarse como representativos de los interglaciares. De esta forma no sólo se tiene un medio para determinar la edad de cada período glaciario, sino que incluso podemos precisar el tiempo que nos separa de la próxima oleada de frío o determinar el momento correspondiente al máximo interglaciario en que vivimos. El hecho tiene más trascendencia que la de una mera especulación, ya que se calcula que si fundieran todos los hielos de los *inlandsis* actuales, tal como ocurrió en interglaciares anteriores, el nivel medio del mar ascendería unos 40 a 60 metros, lo que representa que la mayoría de los puertos y poblaciones costeras, Barcelona entre ellas, quedarían anegados. Y ya hemos visto que no sería la primera vez que el hombre presencia este espectáculo. Actualmente el proceso de deshielo acusado en lo que va de siglo señala un ascenso del nivel marino de 0,6 metros.

La confianza inspirada por las curvas de Milankovitch ha sido tan extraordinaria que algunos cuaternaristas tan reputados como Zeuner basan toda la cronología del Cuaternario en aquellas deducciones. Sin embargo, las objeciones que se han ido acumulando son tan importantes que es necesario todavía una gran prudencia en su uso.

La definitiva comprobación de la cronología absoluta del Cuaternario la han proporcionado, según ya se ha indicado, los métodos radiactivos. Mediante el empleo del Carbono 14, para el último período glaciario, o la proporción Radio-Uranio, para las rocas más antiguas, se ha logrado valorar en años algunos depósitos cuaternarios. Hoy se admite que el conjunto del Cuaternario tiene por lo menos un millón de años, y se atribuye al período inicial del Villafranquiense una duración por lo menos de unos 600.000 años, quedando otros 400.000 años para los períodos glaciares clásicos. Desde el último período glaciario hasta nuestros días habrán transcurrido de 22.000 a 26.000 años. Según estos datos, hay que pensar que el Hombre hace unos

400.000 años que habita sobre la tierra y que de ellos la Humanidad invirtió alrededor de 380.000 en rebasar el estado primitivo representado por el Paleolítico, en el que todavía no conocía ni los cultivos, ni la vivienda, ni el uso del metal. El desarrollo de los progresos técnicos realizados por la Humanidad se llevan a cabo según un ritmo acelerado que sigue una progresión geométrica. Las etapas que antes duraron 300.000 años se desarrollan en la actualidad en un tiempo inferior a la vida del Hombre.

A la luz de estas conclusiones resulta satisfactorio comprobar la legitimidad y exactitud de las apreciaciones geológicas basadas en métodos sutiles, como los aludidos anteriormente, y sujetos a eterna discusión. Así y todo la duración que hoy se atribuye al Cuaternario, después de las investigaciones radiactivas, es aproximadamente la misma que fijaron los primeros geólogos como Penck y Brückner al estudiar los depósitos glaciares alpinos.

## SÍNTESIS

Con la valoración absoluta del período pleistocénico llegamos al término final del camino que nos propusimos recorrer, al intentar dar una visión remozada de los modernos descubrimientos acerca de la historia natural del Cuaternario, con su aplicación especial a la Península Ibérica.

Todos los elementos analizados someramente sirven de base a la imaginación siempre insaciable del geólogo para reconstruir el escenario entrevisto por el hombre en el momento de su aparición sobre la Tierra. Los depósitos y las formas creados por los glaciares sobre las montañas, las profundas incisiones practicadas por los ríos según demuestran sus terrazas, las oscilaciones del nivel del mar señaladas por las antiguas playas levantadas y por los depósitos continentales submarinos, las fluctuaciones climáticas demostradas por los limos y costras, los escasos restos de fauna y los aun menores de la flora cuaternaria peninsular, con la ayuda de los mejor conocidos de otros sitios, nos permiten reconstruir los grandes rasgos de este escenario natural sobre el que empezará a moverse muy pronto el hombre del Manzanares o el que poblaba las costas atlánticas portuguesas.

Pero este escenario es cambiante y fugaz.

Los primeros momentos de la historia cuaternaria se acusan por una crisis climática que afecta a la mayor parte

de la Península y que se caracteriza por un progresivo enfriamiento y desecación que transforma el paisaje español en una zona semiárida, con lluvias episódicas y torrenciales, en forma de mantos de agua, como en algunas de las zonas actuales del Colorado y Méjico. Es la época de formación de las rañas del centro de la Península, de las primeras rampas de erosión y de las gruesas costras del Sudeste de España. La vegetación sería muy pobre, probablemente parecida a la de las sabanas africanas y formada todavía por restos de la flora terciaria que alimentaba rebaños de mastodontes y otros mamíferos antecesores de los actuales.

Después, la crisis climática se acentúa cada vez más para entrar ya francamente en el dominio de los períodos glaciares, cuya acción ha dejado una profunda impronta sobre el suelo peninsular, de la misma manera que ejerció una influencia decisiva sobre la vida del hombre prehistórico. Durante por lo menos dos veces, y posiblemente cuatro, los hielos cubren la mayor parte del Pirineo y las lenguas de los glaciares rellenan los valles pirenaicos hasta casi el pie de la Cordillera, mientras glaciares más modestos se instalan en casi todas las restantes cordilleras españolas. Fuera de estas zonas el suelo estaba helado en la mitad septentrional de la Meseta y todos sus relieves importantes cubiertos de nieve durante buena parte del año. La vegetación sería la tundra, propia de las actuales zonas circumpolares para los sectores fríos, mientras el bosque caducifolio de hayas, robles, etc., busca el ambiente más templado de la zona costera, que presentaría unas condiciones parecidas a las de las costas cantábricas actuales. Al propio tiempo, el mar, privado de aportes fluviales importantes, descendiende de 100 a 200 metros, ensanchándose las costas con franjas arenosas recién abandonadas por las aguas y reduciéndose al mínimo la anchura del Estrecho de Gibraltar, que el hombre de África pudo franquear con facilidad.

Alternando con estos períodos fríos, durante los interglaciares el paisaje peninsular cambiaría totalmente. Las

masas de hielo y la nieve de las altas montañas se fundirían rápidamente, aumentando el caudal y el poder erosivo de los ríos, en tanto que las aguas de los mares ascenderían al principio casi a 100 metros sobre el nivel actual y a altitudes decrecientes en los sucesivos períodos interglaciares, anegando gran parte de las regiones costeras y convirtiendo muchas desembocaduras fluviales en profundas rías, como probablemente la del Llobregat. Como el aumento de temperatura fué acompañado de una disminución de las precipitaciones, el paisaje vegetal, fiel reflejo de las condiciones climáticas, se transformaría completamente. Las costas mediterráneas y la mitad meridional de la Península, pobladas anteriormente de bosques, perderían pronto su lozana vegetación y se transformarían en estepas; e incluso algunos sectores en semidesiertos. El paisaje de buena parte de España sería el de las actuales zonas áridas de Almería. El bosque se refugiaría en las partes más húmedas de las altas montañas y en la zona cantábrica, arrastrando tras de sí la fauna de elefantes, rinocerontes y ciervos. Es la época de formación de las rampas y de las costras.

Así, gracias a la posición peninsular, a caballo entre la región afectada por los hielos y la zona de tipo fluvial, se da la circunstancia que la mitad meridional y septentrional alternan en sus condiciones de habitabilidad. Mientras en los períodos fríos las regiones montañosas y nórdicas de la Península se hacen inhóspitas, como la mayor parte de la Europa central ocupada por los hielos o cubierta por la tundra con su cortejo de renos y mamuts, en cambio, lo mismo que todo el Mediterráneo, las costas peninsulares y el Sur de la Meseta constituyen un magnífico abrigo climático para la vegetación forestal, para la fauna y el Hombre. Lo contrario ocurre durante los períodos interglaciares, en los cuales las grandes sequías que afectan la mitad de la Península la transforman en estepas y desiertos, mientras la montaña y el Cantábrico son parajes templados y acogedores.

Circunstancia feliz que en ningún otro país europeo se da con esa precisión y amplitud. Pues en los países del centro y Norte de Europa cada oleada glaciaria barre casi completamente la vida vegetal y animal de su suelo, y en los restantes países mediterráneos el escaso desarrollo de sus penínsulas constriñe extraordinariamente las zonas de condiciones climáticas opuestas. Así una vez más España es, ya desde el Cuaternario, el país de los brutales contrastes paisajísticos, de la oscilación repetida entre influencias nórdicas e influencias meridionales. Constante geográfica que imprime su sello especial al medio y al hombre.

\* \* \*

A pesar de que los estudios sobre el Cuaternario español apenas cuentan con cincuenta años de vida, el cuadro que acabo de esbozar es muy diferente al que se imaginaba hasta hace poco. Pero estamos todavía muy lejos de alcanzar la sólida madurez que permita una cierta estabilidad de los resultados obtenidos. Los principales aspectos naturales del Pleistoceno español están todavía por estudiar o son muy imperfectamente conocidos, mientras las investigaciones estrictamente prehistóricas han avanzado a pasos gigantes. La compenetración entre ambos aspectos, naturales y culturales, del Cuaternario es absolutamente indispensable si se pretende obtener resultados concluyentes. Pero aun así, no puede olvidarse que la verdad científica es siempre un continuo tejer y destejer. Sobre todo cuando, por más admirables que parezcan los resultados, la fragilidad y sutilidad de los puntos que sirven de apoyo a la investigación imponen al cuaternarista, como a ningún otro investigador de la Naturaleza, la humildad de hacer suya y de tener siempre presente la frase de Hamlet: «Hay más cosas escritas en el cielo y en la tierra que en toda tu filosofía».