

## El glaciario cuaternario: hipótesis

### sobre sus causas productoras

#### I

#### Los periodos glaciales

Sabido es que la época cuaternaria se caracterizó en sus comienzos por un fenómeno térmico importantísimo, que influyó poderosamente en las condiciones de la vida en la superficie de la tierra, en la que dejó huellas indelebles de su paso. Durante toda la época primaria y una gran parte de la secundaria, la temperatura de la superficie terrestre fué completamente uniforme y bastante elevada; desde el ecuador a los polos, reinaba una temperatura tropical, que unida a la gran riqueza de la atmósfera en vapor de agua y anhídrido carbónico, producía en todas las masas continentales emergidas, al desarrollo de una vegetación extraordinariamente frondosa y exuberante; un gran número de especies vegetales y animales que hoy han desaparecido por completo, o que están circunscritas a la zona ecuatorial, vivían y se desarrollaban con inusitado vigor hasta las inmediaciones de los polos terrestres, como lo comprueban los numerosos restos fósiles encontrados en las latitudes más avanzadas y los restos de arrecifes de políperos coralianos señalados en los mares del norte y que, para vivir y desarrollarse, necesitaron habitar en aguas cuya temperatura no bajase de veinte grados. Aún no se manifestaban en nuestro planeta las zonas térmicas, ni habían aparecido las estaciones del año.

A partir de la mediación de la época secundaria, en el periodo jurásico, las cosas fueron cambiando lentamente; se iniciaron las estaciones del año y empezaron a bosquejarse las zonas térmicas, débiles y muy poco marcadas al principio, para irse acentuando cada vez más durante el cretáceo y toda la época terciaria, a cuya mediación debió iniciarse la formación de los casquetes de hielo en las regiones polares; de poco espesor y muy limitadas al principio, y más amplias y potentes al final; dando lugar, ya en esta época, todo este conjunto de fenómenos térmicos, a una desigual dispersión de las especies vivientes, tanto vegetales como animales, quedando cada una circunscrita a la zona térmica más acomodada a su organización especial y a sus necesidades vitales.

Pero al final del terciario, en el plioceno, y sobre todo en los comienzos de la época cuaternaria, las condiciones climatológicas cambiaron de una

manera profunda y radical; no sólo las temperaturas invernales descendían cada vez más, sino que la media anual llegó a ser muy baja, permaneciendo constantemente inferior a cero; en tales términos, que los hielos polares avanzaron sobre las latitudes inferiores, y una gran parte de los continentes, en los que hasta entonces había reinado una temperatura suave y benigna, quedaron cubiertos por espesas capas de hielo. Estos avances de los hielos polares sobre las latitudes inferiores, como consecuencia del fuerte descenso de la temperatura media anual, son conocidos en Geología con el nombre de periodos glaciales.

El fenómeno, sin embargo, no tuvo carácter de continuidad, sino que después de una primera glaciación, se produjo un periodo interglacial, en el que la temperatura se hizo benigna, originando un abundante deshielo, seguido de una nueva glaciación, más o menos abundante y duradera; y ésta, a su vez, de otro periodo interglacial: hasta cuatro periodos glaciales bien marcados, admiten generalmente los geólogos; periodos de diferentes duraciones e intensidades, pero todas perfectamente definidos y caracterizados, por la forma y amplitud de las morrenas, y por el espesor y la superposición de las terrazas fluvio-glaciales correspondientes.

Durante mucho tiempo se ha estado en la creencia de que el fenómeno sólo había tenido lugar en el hemisferio norte, pero no tardaron en reconocerse las huellas del glaciacionismo en el hemisferio sur; de modo que hoy se tiene la seguridad de que la glaciación fué general y simultánea en los dos hemisferios de la tierra.

#### Valor energético del glaciacionismo

Cualquiera que haya sido su causa productora, los fenómenos del glaciacionismo cuaternario, representan una anormal y extraordinaria disminución de la energía térmica del globo, o por lo menos de su corteza superficial y de la envoltente gaseosa que lo recubre, debida a un desequilibrio más o menos duradero, entre la cantidad de calor que recibía y la que perdía por radiación a los espacios interplanetarios.

Para poder calcular el valor de la disminución de energía térmica que fué precisa para que llegara a producirse cada glaciación, o por lo menos la primera, que fué la más intensa y persistente, sería necesario conocer con la aproximación posible las cantidades de hielo que cubrieron la corteza terrestre; pero este conocimiento sólo podemos tenerlo de una manera aproximada, como un límite inferior; no sólo porque son muchas las comarcas que, aunque dada su situación, seguramente debieron ser invadidas por los hielos, pero que a causa sin duda de no haber sido suficientemente exploradas, no ha llegado a señalarse en ellas los rastros del glaciacionismo, por lo que no son tenidas en cuenta por los geólogos, para sus cálculos; sino porque aún en las que el fenómeno está perfectamente

BRAC, 2 (1922) 5-29

reconocido y demostrado, son muy inseguras las bases de que se parte, y sirven de fundamento para calcular el espesor de las capas heladas que las recubrieron.

No obstante, ateniéndonos a la autoridad de los geólogos más competentes y especializados en la materia; que por el número, la distribución y la profundidad de las estrías y los desgastes producidos por el empuje y el deslizamiento de las capas heladas, a su paso sobre las rocas subyacentes, y por la situación y magnitud de los cantos erráticos arrastrados en su movimiento de avance; han llegado a determinar con aproximación suficiente, siquiera sea como un límite mínimo, la extensión y el espesor de las masas de hielo que se acumularon durante el glaciario, podemos tomar como base de cálculo los siguientes datos numéricos, que son los que mejor parecen aproximarse a la verdad.

En toda la parte invadida de Europa se hacen ascender a más de setenta y dos millones de kilómetros cúbicos las masas de hielo acumuladas sobre el terreno; y en América de Norte se cree que seguramente alcanzarían a más de cuarenta y cinco millones. Aunque la mayor parte de los geólogos admiten que en América del Sur fué la glaciación algo inferior a la de Europa, ateniéndose para ello a los datos reconocidos hasta el día; creemos, no obstante, que por estar situada en el hemisferio de la tierra en el que las estaciones del año tienen mayor crudeza, y por su mayor masa continental, debió ser, por el contrario, de mayor intensidad; y los hechos por lo menos parecen darnos la razón, pues se han reconocido señales de glaciario hasta latitudes más próximas al ecuador que en Europa; así es que no dudamos en asignarle una glaciación de igual valor aproximado, o sea de setenta millones de kilómetros cúbicos.

No se tienen datos precisos, que nosotros sepamos, referentes al norte Asia y al sur de Africa, donde seguramente alcanzó el glaciario, sobre todo en la primera, en la que debió tener una intensidad igual y aún superior a la de Europa, dada su gran masa continental, y su mayor proximidad al polo; así es que, teniendo en cuenta su extensión superficial, no dudamos en atribuirle una glaciación de cien millones de kilómetros cúbicos. En cuanto a Africa, su glaciación debió ser bastante inferior a la de Europa, por su situación en la zona de latitudes medias y bajas; pero como seguramente no debió quedar exenta, por la gran extensión de su masa continental y por haberse reconocido en ella señales inequívocas de que el fenómeno llegó a alcanzarla, le atribuimos una glaciación de veinte millones de kilómetros cúbicos.

De modo que, en definitiva, prescindiendo del que hubiera podido acumularse en otras regiones, en las que hasta el día no se han reconocido huellas del fenómeno, podemos admitir como muy próximas a la verdad,

que las cantidades de hielo acumuladas, fueron las siguientes, en números redondos:

|                        |             |                       |
|------------------------|-------------|-----------------------|
| Europa. . . . .        | 72.000.000  | de kilómetros cúbicos |
| Asia . . . . .         | 100.000.000 | » » »                 |
| América del N. . . . . | 45.000.000  | » » »                 |
| América del S. . . . . | 70.000.000  | » » »                 |
| En total. . . . .      | 287.000.000 | : » »                 |

Tales serían las masas de hielo acumuladas sobre los grandes continentes durante el periodo de máxima glaciación, a las que habría que añadir las formadas en las mares de todas las zonas comprendidas dentro del área a que alcanzó el fenómeno; y dada la mayor extensión superficial ocupada por ellos, con respecto a la que cubren los continentes, muy bien pudiera atribuírseles una glaciación superior a trescientos millones de kilómetros cúbicos, con lo que tendríamos en definitiva un total de unos seiscientos millones de kilómetros cúbicos; es decir, de seiscientos trillones de kilogramos de agua congelada.

Para darnos cuenta exacta de la colosal disminución de energía térmica que representa la congelación de esta enorme masa de agua, hay que tener presente que la que formó el hielo acumulado sobre los continentes, procedía en su totalidad de la atmósfera, en la que se encontraba al estado de vapor, y que al pasar, primero por condensación al estado líquido, y después al sólido, cedió 540 calorías por kilogramo por el primer concepto y 79 por el segundo: y que del enfriamiento general determinante de la glaciación participaron, además, no sólo el agua marítima que llegó a congelarse, sino la del resto de los mares en general, cuya temperatura descendió desde la media en la época terciaria (unos 30°), a la media general de los periodos glaciales (unos 5°); la de la corteza terrestre hasta la profundidad de la capa de temperatura constante; y la del aire atmosférico, hasta una cierta altura, cuyo valor razonaremos en su lugar.

Veamos ahora el valor en calorías que representan todas estas variaciones de temperatura y de estado físico.

El vapor de agua atmosférico, que por su precipitación y congelación formó los doscientos ochenta y siete millones de kilómetros cúbicos, o sea los doscientos ochenta y siete trillones de kilogramos de hielo acumulados sobre los continentes, perdieron 540 calorías por kilogramo, por el solo hecho de su condensación, 30 al enfriarse desde la temperatura media del aire anterior al fenómeno y 79 al congelarse; en total 649 calorías por kilogramo, lo que da en definitiva, para los 287 trillones de kilogramos de agua precipitada, 186.273 trillones de calorías.

Por su parte, la congelación de 313 millones de kilómetros cúbicos de hielo de los mares, o sea de los 313 trillones de kilogramos de agua marítima que se solidificó, aún suponiendo a 0° su temperatura de congelación,

representó una pérdida de 30 calorías al enfriarse de 30° hasta 0°, (pues hay que suponer que en una atmósfera como aquélla, fuertemente cargada de vapor, la temperatura del agua había de ser igual a la del aire ambiente) y 79 al solidificarse, en suma 109 calorías por kilogramo, o sea un total de 34.117 trillones de calorías.

Una vez producida por completo la glaciación total, seguramente no debió permanecer estacionaria la temperatura, sino continuar descendiendo, hasta alcanzar un límite interior, que probablemente sería el valor medio que hoy alcanza en las inmediaciones de los polos terrestres; es decir, unos 15° bajo cero, y siendo 0,504 el calor específico del hielo, este descenso en la temperatura de todas las masas heladas, o sea de los 600 trillones de kilogramos de hielo, equivale a una nueva pérdida de calor representada por  $6 \times 10^{20} \times 0,504 \times 15$ , igual a 4.536 trillones de calorías.

Por otro lado, las masas continentales cubiertas de hielo, se enfriaron a su vez, por contacto con las masas heladas que las cubrían, perdiendo calor por conductibilidad, hasta un espesor que muy bien podemos suponer igual al de la profundidad media a que se encuentra la zona o capa de temperatura invariables; es decir, a unos diez metros, quedando en definitiva, al llegar el límite máximo de la glaciación, a una temperatura intermedia entre la anterior al fenómeno (30°) y la del hielo depositado sobre ellas (—15°) o sea a una temperatura media 7,5° bajo cero, lo que representa un descenso de 37,5°; y siendo el calor específico medio de las masas rocosas que constituyen esta parte de la corteza terrestre, según mis propias determinaciones 0,183 calorías, y el volumen aproximado de las masas continentales enfriadas hasta el espesor ya indicado de de 1.275,206 kilómetros cúbicos; y 2,5 su densidad media, lo que da un peso de  $3.188,015 \times 10^{12}$  kilogramos, la pérdida de calor que representa su enfriamiento equivale a  $3.188,015 \times 10^{12} \times 0,183 \times 37,5 = 21.877.752.937.500.000,000$  de calorías, o sea en números redondo a 21 trillones de calorías.

También la atmósfera debió participar del enfriamiento general, por lo menos en sus capas inferiores troposféricas, en que de ordinario se hacen sentir las influencias térmicas del suelo y que para fijar ideas supondremos de unos 500 m. de espesor, y que la temperatura del aire bajara desde unos 20° término medio, anteriores al glaciario, hasta 25 bajo cero por lo menos, pues la mayor diatermancia del aire casi limpio de vapor acuoso por su precipitación en forma de nieve, debió llevarlo a una temperatura por lo menos 10° inferior a la del suelo: y como la masa aérea a que nos referimos es de  $110 \times 10^{17}$  kilogramos, suponiendo que el enfriamiento aéreo hubiera alcanzado al aire que cubría la tercera parte de la superficie terrestre y hasta la altura ya dicha de 500 metros; y siendo por otro parte 0,237 el calor específico del aire, el descenso de los

45° de la temperatura de la capa aérea representó una pérdida de calor de  $110 \times 10^{17} \times 0,2347 \times 45 = 1.161.765 \times 10^{14}$  calorías; o en números redondos 120 trillones de calorías.

De modo que, en definitiva, las pérdidas de energía térmica que representa la máxima glaciación, fueron las siguientes:

|        |   |  |   |         |                       |
|--------|---|--|---|---------|-----------------------|
| 10     | { | Paso al estado líquido del vapor de agua que formó el hielo de los continentes y consecutiva solidificación del mismo. | } | 186.273 | trillones de calorías |
| 2      | { | Congelación del agua marítima para formar el hielo de los mares.   | } | 34.117  | » »                   |
| 3      | { | Enfriamiento hasta -15 de todo el hielo formado.   | } | 4.536   | » »                   |
| 4      | { | Enfriamiento de las masas continentales cubiertas de hielo.  | } | 21      | » »                   |
| 5      | { | Enfriamiento de la masa atmosférica.   | } | 120     | » »                   |
|        |   |  | } | 225.067 | trillones de calorías |
| TOTAL. |   |  |   |         |                       |

Tal es la enorme pérdida de energía calorífica que representó cada glaciación para llegar a su fase máxima.

## II

### Teorías sobre el glaciario

Para explicar la causa productora del conjunto de fenómenos térmicos que dieron lugar al glaciario cuaternario, se han formulado diversas hipótesis, más o menos fundadas y verosímiles, y algunas de las cuales no resisten a la más ligera crítica.

Estas hipótesis pueden clasificarse en dos grupos: hipótesis astronómicas, caracterizadas porque la causa productora o determinante del fenómeno es de origen extraño a la tierra; e hipótesis que pudiéramos llamar terrestres, porque buscan esta causa determinante, en la constitución misma del planeta que habitamos, o en los cambios morfológicos ocurridos en él a través de las edades.

A reserva de discutir las individualmente, para examinar su mayor o menor grado de verosimilitud, vamos, en primer lugar, a exponer, siquiera sea ligeramente, las principales:

### Teorías astronómicas

En estas teorías se trata de explicar el glaciario por alguna de las siguientes causas:

- 1.º Precesión de los equinoccios.
- 2.º Por variaciones de la excentricidad de la órbita terrestre.
- 3.º Por variaciones de la inclinación del eje de la tierra sobre el plano de la eclíptica.
- 4.º Por el paso del sistema solar a través de regiones excesivamente frías del espacio.
- 5.º Por interposición entre la tierra y el sol de grandes corrientes nebulares o meteoríticas.

#### Teorías o hipótesis terrestres

Aquí la causa productora del glaciario se busca en la tierra misma en que el fenómeno ha tenido lugar; y las más generalmente admitidas hasta hoy son las siguientes:

- 1.º Por la desviación de la corriente del Golfo.
- 2.º Por aumento de la diatermancia del aire atmosférico.
- 3.º Por la producción en el magma interior del globo de reacciones químicas de carácter endotérmico.

Tales son, en resumen, las principales hipótesis que sucesivamente se han formulado para explicar el fenómeno que nos ocupa, siendo digno de notar que con frecuencia se han emitido nuevas teorías, quizás buscando la originalidad, sin preocuparse de rebatir las conocidas, probando la inexactitud de los argumentos en que las basaban sus autores.

Vamos a ir las examinando con algún detenimiento, para ver si verdaderamente están de acuerdo con la realidad.

#### Por la precesión de los equinoccios

Sabido es que el fenómeno astronómico, llamado precesión de los equinoccios, consiste, en definitiva, en que, a consecuencia de la atracción del sol sobre el ensanchamiento ecuatorial de la tierra, el eje ideal de rotación de ésta y que debería permanecer paralelo a sí mismo en su movimiento de traslación alrededor del sol, gira, por el contrario, en sentido retrógrado, describiendo en el espacio un cono circular de  $23^{\circ} 27'$  de radio, y cuyo vértice está en el centro ideal de la tierra, en un periodo de 25.784 años; de tal modo, que el punto en que la prolongación de este eje ideal encuentra a la esfera celeste, describe anualmente un arco de círculo de  $54'' 2564$ , llamado constante de precesión, alrededor del punto en que la toca la perpendicular al plano de la eclíptica trazada por el centro de la tierra. Hay que tener presente, que en este movimiento, y prescindiendo de la nutación, debida a la atracción de la luna sobre el ensanchamiento ecuatorial terrestre, el eje de nuestro planeta conserva una inclinación constante sobre el plano de la eclíptica.

En la precesión de los equinoccios, han pretendido algunos geólogos

buscar la explicación del glaciario, creyendo, equivocadamente, que a causa de ella variaba la inclinación de los rayos solares al incidir sobre la superficie del suelo terrestre, y que con arreglo a la conocida ley del coseno, estas variaciones de inclinación determinarían cambios en las cantidades de calor recibidas de nuestro foco central, en tales términos de que, al llegar a un valor mínimo, dieron lugar al enfriamiento determinante de cada periodo glacial, correspondiendo los interglaciales a los periodos en que la menor oblicuidad de los rayos solares dió lugar a una elevación en las temperaturas medias, que trajo como consecuencia la fusión de los hielos, y los consecutivos fenómenos característicos de los periodos interglaciales: añadiendo que, por ser la precesión de caracter periódico, las glaciaciones deben reproducirse cada 25.787 años, buscando así la alternativa de los periodos glaciales con los interglaciales.

Con recordar que, como ya hemos dicho anteriormente, y como nos enseñan hasta los más elementales tratados de cosmografía, el movimiento cónico del eje de la tierra, que constituye la precesión, se efectúa sin que cambie en lo más mínimo su inclinación sobre el plano de la eclíptica, sino que, por el contrario, y prescindiendo de la nutación, el ángulo que forman permanece constantemente igual a sí mismo, queda rebatido el argumento, pues cada punto de la superficie terrestre, en las sucesivas posiciones que la tierra va tomando en su doble movimiento de rotación y de traslación alrededor del sol, recibe siempre los rayos del astro del día con la inclinación que le corresponde al punto de la órbita que ocupa y durante igual tiempo en cada una, sea cualquiera el periodo de la precesión en que se encuentre nuestro planeta, pues esta mayor o menor oblicuidad de los rayos solares en cada estación del año y para cada punto de la tierra, sólo depende de la inclinación de su eje sobre el plano de la eclíptica, y esta inclinación ya hemos visto que es constante.

Es cierto que la nutación, o sea efecto de la atracción de la luna sobre el ensanchamiento ecuatorial de la tierra, y que obliga al eje terrestre a describir en el espacio un pequeño cono de sección elíptica en 18 años y  $\frac{3}{4}$ , hace variar ligeramente la inclinación de dicho eje, pero estas variaciones, que sólo alcanzan a 19",3; son tan pequeñas, que su efecto es completamente nulo e inapreciable con respecto al calor solar recibido por la tierra. Es más, si este efecto pudiera tener algún valor, con respecto al glaciario, todos deberíamos haber conocido, no uno, sino varios periodos glaciales, pues deberían reproducirse cada 18 años y  $\frac{3}{4}$ .

Por las variaciones de la excentricidad en la órbita terrestre.

Algo más verosímil y fundada que la anterior, es la teoría que pretende explicar el glaciario, por las variaciones de la excentricidad de la órbi-

ta, que anualmente describe la tierra en su movimiento de traslación alrededor del sol.

En efecto, las minuciosas y precisas observaciones de la astronomía de posición, demuestran que la excentricidad de la órbita terrestre, que en la actualidad es 0,01675, cambia lentamente, disminuyendo 0.000043 por siglo; esta variación, por lo demás, no es ni ilimitada ni constante, sino periódica, haciendo oscilar el valor de la excentricidad entre los límites 0,003 y 0,02 en un periodo de tiempo que, aproximadamente, es de unos ochenta mil años.

Mientras que en uno de los límites, cuando la excentricidad tiene el valor 0,003, la órbita terrestre es casi circular, y poco menos que uniforme su movimiento de traslación con arreglo a la segunda ley de Kepler y casi de igual duración, por lo tanto, las cuatro estaciones del año, recibiendo en todas las posiciones sobre su órbita igual cantidad de luz y de calor del astro del día, puesto que en todo su recorrido permanece sensiblemente a la misma distancia de él; en el segundo, cuando la excentricidad tiene el valor límite máximo de 0,02, un cálculo sencillo nos dice que las distancias perihélica y afélica varían como los números 1 y 1,04 y las cantidades de calor recibidas en una y otra posición (en razón inversa del cuadrado de las distancias), serán entre sí como los números 1 y 0,9245. Y los partidarios de la teoría, suponen que el enfriamiento, debido a la menor cantidad de calor solar recibido por la tierra en los afélios, acumulado durante muchos años, fué el que llegó a determinar el glaciario cuaternario, que, según ellos, debería reproducirse y haberse reproducido cada vez que la órbita terrestre alcanza el valor límite máximo en su excentricidad es decir, cada ochenta mil años.

A primera vista no deja de seducir esta teoría, que aparentemente, parece estar conforme con la realidad, sobre todo si al efecto anterior se agrega el retroceso del punto vernal, que como consecuencia de la precesión de los equinoccios, recorre con movimiento retrógrado todos los puntos de la órbita terrestre en 25.787 años; y el movimiento de avance, en sentido directo de la línea de los ápsides, que gira en 108.000 años; movimientos ambos que, combinados, hacen cambiar la duración relativa de las estaciones del año, dando lugar a un enfriamiento máximo de la tierra, determinante del glaciario, en el caso de coincidir la mayor excentricidad de la órbita con la mayor duración de los inviernos.

Pero si dejándonos de vaguedades, del cómodo puede ser y del socorrido tal vez sucederá, vamos a lo concreto, precisando el valor de los efectos en relación con el de las causas productoras, y aplicamos el cálculo matemático, aun el más elemental y que está al alcance de cualquier inteligencia medianamente cultivada; las cosas cambian, las apariencias varían y la razón y el sano criterio nos hacen ver que tan pequeñas causas

no pudieron determinar tan colosales efectos, ni aún haciendo intervenir el factor tiempo.

En efecto, las cantidades de calor que la tierra recibe del astro del día en las posiciones afélicas, en el caso de una órbita con la excentricidad actual (0,01.675) y de una órbita con la excentricidad máxima 0,02, están entre sí en la relación de 1 es a 0,988, y esta variación en las cantidades de calor recibidas, equivale, según la conocida ley del coseno, a la que produciría un aumento de 9 grados en la inclinación de los rayos solares incidentes sobre la superficie terrestre, supuesta a la misma distancia del astro central; y a su vez esta variación de la oblicuidad de los rayos solares, es equivalente a la que corresponde a un avance de 9 grados en la latitud de cada lugar de la tierra; es decir, como si el clima de Madrid se hubiera transformado en el de las regiones del norte de Francia y del sur de Bélgica; y a nadie que piense cuerdamente se le puede ocurrir que esta débil variación climatológica pueda dar lugar a los efectos del glaciarrismo.

Por otra parte, si el glaciarrismo se hubiera debido a las variaciones de la excentricidad de la órbita terrestre, ahora en la época actual deberíamos estar empezando a sentir los efectos de una nueva era glacial, pues la actual excentricidad de la órbita, 0,01675, está mucho más próxima a la excentricidad máxima que a la mínima del periodo de variación; puesto que siendo, según ya hemos dicho 0,000.043 el coeficiente de variación por siglo, sólo nos restan unos 75 siglos para alcanzar la excentricidad máxima, mientras que hace cerca de 320 que pasamos por la mínima; y no sólo las actuales condiciones térmicas del globo no nos hacen temer, ni con mucho, una nueva invasión de los hielos, sino que desde los tiempos históricos más remotos, cuyos recuerdos alcanzan a más de ochenta siglos, no se notan variaciones en las temperaturas medias que acusen una influencia real y efectiva de las variaciones de la excentricidad de la órbita en el estado térmico general del globo, no obstante que en este lapso de tiempo ha cambiado en 0,00344; es decir, en más del veinte por ciento de la variación total.

Queda que considerar el efecto de la desigual duración de las estaciones del año, determinada por los movimientos combinados del punto vernal y de la línea de los ápsides, que dan lugar a que alternativamente sean de mayor duración las estaciones frías y las calientes, en un periodo de 20.836 años. Pero estas variaciones, que en la etapa actual de la vida de la tierra, en la que alcanzan su mayor valor, no son más que de cuatro días, son muy pequeña causa para dar lugar a tan colosales efectos como los del glaciarrismo; aparte de que, estando trocadas las estaciones en cada uno de los dos hemisferios terrestres, el efecto en un sentido producido en uno de ellos, se compensa con el efecto en sentido contrario de-

terminado en el otro, y la resultante es nula, siendo, por consiguiente, una constante la cantidad de calor que la tierra, considerada en su totalidad, recibe anualmente del sol, cualquiera que sea el ángulo que forme entre sí la línea de los ábsides y de los solsticios; es decir, cualquiera que sea la duración relativa de las estaciones del año.

#### Por variaciones del eje terrestre

También se ha pretendido fundar la causa del glaciario cuaternario en un cambio de la inclinación del eje de rotación terrestre, o en cambios de la posición de dicho eje con respecto a los puntos de la corteza de nuestro globo; aduciendo como razón para justificar dichos cambios, la existencia en las regiones polares de numerosos restos fósiles, pertenecientes a especies propias de las zonas templadas, y que parecen indicar que los polos de frío no han tenido siempre la situación que hoy ocupan.

Aparte de que, como veremos más adelante, la existencia de esos fósiles en dichas latitudes altas, tiene más sencilla y más lógica explicación dentro de hipótesis helio-telúrica, que expondremos al final, y que para nosotros es la más fundada de cuantas se han propuesto para explicar el glaciario, ni esas pretendidas variaciones de la inclinación o de la posición del eje terrestre pueden haberse producido, ni aunque hubieran tenido lugar habrían logrado acarrear las consecuencias que se pretende explicar por ellas: vamos a examinarlas por separado.

Entre los catorce movimientos a que obedece la tierra en su marcha por el espacio infinito, movimientos, por lo demás, perfecta y minuciosamente estudiados y conocidos, sólo hay dos que modifiquen la posición de su eje rotatorio, la precesión y la nutación: y de ellos sólo uno, el segundo, afecta, según anteriormente hemos visto, a la inclinación en su eje sobre el plano de la eclíptica, que sin él, se trasladaría en el movimiento anual de revolución alrededor del sol, permaneciendo constantemente paralelo en sí mismo; y las variaciones debidas a la nutación, aparte de su corto periodo de 18 años y  $\frac{3}{4}$ , son tan mínimas, (sólo de 19",3) que su influencia es prácticamente nula y el eje terrestre, aparte de esas dos acciones, debidas, respectivamente, a las atracciones del sol y de la luna sobre el ensanchamiento ecuatorial, no tiene ni puede tener cambios ni variaciones de inclinación, sino que necesariamente debe permanecer constantemente paralelo a sí mismo, pues se lo impide el potente efecto giroscópico debido a la rotación diurna del globo, que a más de lo enorme de su masa, alcanza en el ecuador a velocidades tangenciales de 465 metros por segundo. Aparte de eso, aun dando por bueno lo que es totalmente inadmisibles, que la inclinación del eje hubiera podido cambiar, este cambio hubiera consistido en aumentar o en disminuir la inclinación; si lo primero, hubiera tendido a ponerse normal al plano de la órbita, y si lo

segundo, a coincidir con ella, y en un caso y en otro hubiera traído como consecuencia la disminución de la zona ocupada por los casquetes de hielo polares; es decir, precisamente lo contrario del fenómeno que se trata de explicar.

¿Pero y la segunda causa? El cambio de posición del eje con respecto a los puntos de la tierra, esto es, el cambio de situación de los polos, ¿puede admitirse? Las más elementales nociones de mecánica nos dicen que ese cambio es inadmisiblemente (1) pues a ello se opone la inercia de la enorme masa terrestre; pero además, la coincidencia del máximo de aplastamiento terrestre con los polos de rotación, nos dice que, tanto actualmente como cuando la tierra estaba aún pastosa por su elevada temperatura, antes de terminar su vida estelar y empezar la planetaria, tenía el eje la misma posición que ahora, y que tendrá siempre.

#### Por el paso del sistema solar por regiones excesivamente frías del espacio

Tampoco esta manera de explicar el glaciario tiene fundamento científico serio, y casi no merece ser tomada en consideración; en efecto, esas regiones excesivamente frías del espacio, que aducen los partidarios de la teoría, no existen ni pueden existir, porque nada puede haber más frío que la carencia absoluta de calor; y sabido es que en los espacios intersidiales, por los que la tierra es arrastrada por el sol, en su movimiento de avance hacia un apex hasta hoy no bien determinado, con la velocidad de 20 kilómetros por segundo, reina la temperatura del cero absoluto; esto es, de 273 bajo el cero ordinario de la escala centígrada, a la cual todo movimiento vibratorio del eter ha cesado; y los rayos de nuestro sol son los únicos que pueden modificar el estado calorífico de las regiones por las que camina la tierra, pues los que proceden de las estrellas, dada la fantástica distancia que nos separa de estos luminare, ningún efecto pueden producir para que su acción en nuestro sistema solar sea apreciable.

#### Por interposición entre la tierra y el sol de corrientes nebulares o meteóricas

Esta es la última de las explicaciones del glaciario, que fundadas en causas astronómicas, se han propuesto hasta ahora.

---

(1) La observación y la medida precisa de las coordenadas geográficas de los lugares de la tierra, ha hecho conocer unas pequeñas variaciones de la longitud y de la latitud, debidas a desplazamientos de los polos, a causa de la diversa posición de las grandes masas movibles sobre la superficie del suelo; avances de hielos polares, masas acuosas, etc; pero estas variaciones son tan débiles, que sólo alcanzan a unos metros al año, y están circunscritas a una zona muy limitada.

Dicen los partidarios de esta teoría: Una gran masa de materia nebular, que accidentalmente se interpusiera entre la tierra y el sol, podría dar lugar, por su poder absorbente para la radiaciones caloríficas emitidas por el astro central, a una notable disminución de la cantidad de calor recibida por nuestro planeta, y que determinaría un fuerte enfriamiento anormal en toda su superficie; y este hecho, que muy bien puede haber ocurrido, y aún haberse repetido varias veces, hubiera sido la causa productora del glaciario. Iguales efectos hubiera producido el paso del sistema solar a través de un gran enjambre de meteoritos.

En efecto, los ejemplos de grandes masas de materia nebular difusa, de colosales dimensiones, no faltan en los espacios siderales; las nebulosas constituidas por gases enrarecidos, ya luminosas como las de Orión y la del polo de la eclíptica, por ejemplo, ya oscuras como las del Triángulo y del Centauro entre otras, tardarían más de cien mil años en ser atravesadas por nuestro sistema solar, no obstante que el sol, su rey y jefe supremo, lo arrastra a través de los espacios a la velocidad de veinte kilómetros por segundo.

Pero si este hecho llegara a ocurrir ¿pasarían las cosas como suponen los partidarios de la teoría? ¿Se produciría en realidad un descenso en la temperatura de la tierra, por ser absorbido en su camino el calor que el astro rey irradia a los espacios para mantener la vida de los astros que forman su cortejo? Si el fenómeno fuera estático, es decir, si el sistema, una vez inmerso en la masa nebular o meteórica, permaneciera todo él quieto y en reposo, indudablemente sí; pero como el fenómeno tendría que ser dinámico, esto es, que el sol, la tierra y los demás planetas habrían de moverse dentro de la masa nebular, y con enormes velocidades; desde luego no. Por muy escasa, por muy ténue que fuera la densidad de los gases constitutivos de la masa nebular atravesada, la disminución de fuerza viva originada por el frotamiento, engendraría enormes cantidades de calor, que llevaría a la incandescencia a nuestra pobre tierra y a todos los astros sus compañeros; como la liviana estrella fugaz, o el petreo meteorito se inflaman por el rozamiento con los casi impalpables gases rarificados que forman los límites superiores de nuestra capa atmosférica: es decir, precisamente lo contrario de lo que se pretendía demostrar con la teoría. Y con frecuencia tenemos en el cielo ejemplos elocuentes de nuestra afirmación.

¿Qué son las llamadas *novas* o estrellas temporarias, sino un sol lejano, a cientos de miles de años luz, que al avanzar por el espacio con la vertiginosa rapidez con que caminan los mundos, encontró en su ruta una nebulosa gaseosa? ¿Y qué pasó? ¿Se produjo un gran enfriamiento, como suponen los partidarios de la teoría? Las dos últimas *novas*, no hace mucho tiempo descubiertas, la *nova* Perséi y la *nova* Aquilœ, se encargan de res-

ponder a nuestra pregunta, mostrándonos que la realidad debe ser la base de toda teoría, si ha de tener algún valor positivo. La enorme fuerza viva, de masas de gigantesco valor, animadas de vertiginosas velocidades, al ser, en parte, anulada por el rozamiento con la masa nebular se transforma en calor, produciendo inimaginadas temperaturas, que funden, volatilizan y desocian la materia hasta sus últimos límites constitutivos, en el intervalo de muy pocas horas: en lugar del supuesto frío que hielas las aguas y congela los vapores, la lluvia de fuego apocalíptica, que reduce a cenizas los mundos y los soles.

### Por desviación de las corrientes marinas

Vamos a pasar a las teorías que buscan las causas del glaciario, en la tierra misma en que el fenómeno tuvo lugar.

Una de las más fundadas, es la que lo atribuye a desviaciones ocurridas en las corrientes marinas, y principalmente en la llamada *corriente del golfo*, que de ordinario contribuye a informar la temperatura de la superficie terrestre, transportando calor desde la zona tórrida a las latitudes avanzadas.

¿Pero aunque estas desviaciones hubieran ocurrido, habrían llegado a producir el glaciario, tal como el glaciario tuvo lugar? Es cierto que al desviarse, harían bajar la temperatura media de las regiones que abandonarían, pero en cambio la harían subir en las nuevas comarcas que recorrerían. En tanto que existieran mares libres y desequilibrio térmico, con un recorrido o con otro, tuvieron que existir las corrientes marinas, caminando siempre desde donde la tierra recibía más calor del sol hacia donde recibía menos, y subsistiendo dichas corrientes no hubiera habido glaciario posible, más que en las inmediaciones de los polos, como ahora ocurre. Pero esa es la cuestión. ¿En aquellas épocas, existían esas corrientes? ¿Podían existir entonces? Para producirse, para transportar calor, necesariamente tenían que empezar por recibirlo: pues bien, ahora lo reciben, es cierto; pero, ¿lo han recibido siempre? ¿Lo recibían entonces? Creemos que no, y al exponer la última teoría sobre el glaciario cuaternario, veremos las razones en que se funda esta creencia.

Pero es más; aunque esas corrientes hubieran existido, aunque estas desviaciones hubieran tenido lugar, no explicarían suficientemente el glaciario; basta para convencerse de ello tomar en consideración el valor energético del fenómeno.

Fijémonos en la *corriente del golfo*, que es la más intensa e importante de todas, y la mejor conocida: ha sido estudiada en todos sus detalles por el Príncipe de Mónaco, y de él tomamos los datos numéricos que sirven de base a nuestros cálculos. La cantidad de agua que acarrea es enorme; 90 mil millones de toneladas en cada hora, y su temperatura media varia

ble, claro está, con la profundidad, es de 30° en la superficie y 27 a 10 metros de profundidad, al salir del Golfo de Méjico; vamos a suponer su temperatura uniforme en toda su profundidad, y de los 30° que tiene en la superficie resultará que al día transporta 64.800 billones de calorías, o sea 23 trillones al año. Pero nosotros hemos visto que para que la glaciación máxima llegara a producirse, tuvieron que desaparecer, radiadas al espacio 225.067 trillones de calorías, lo que quiere decir, que para que por defecto de aportación de calor por las corrientes marinas, hubiera llegado a determinarse cada glaciación máxima, hubiera necesitado transcurrir desde su comienzo, un lapso de tiempo de 9.781, años y para los tres periodos glaciales, con sus correspondientes periodos cálidos intermedios, cerca de 49 mil años, lo que resulta totalmente inadmisibile.

En cuanto a las demás corrientes marinas, la Kuro-Sivo o corriente del Japón, mucho menos rápida y potente que el Gul-Stream, y de aguas menos cálidas; y las tres principales del hemisferio sur, la corriente Atlántica, la del Occéano índico y la del Pacífico, menos impetuosas y de aguas menos cálidas aún, poca influencia pudieron haber ejercido, aún en al hipótesis muy problemática de que hubieran tenido existencia en aquellas edades, si como ya veremos, faltaba la causa originaria de su producción.

#### Por la producción de reacciones químicas endotérmicas en el magma interior del globo

También se ha recurrido para explicar el gran enfriamiento terrestre que fué necesario para dar lugar al glaciario, a suponer que al llegar el magma interior a determinados puntos críticos, tuvieron lugar reacciones químicas fuertemente endotérmicas, que absorbiendo grandes cantidades de calor, hicieron bajar, de un modo excesivo y anormal, la temperatura superficial de la tierra, gracias a la conductibilidad térmica de los materiales constitutivos de su corteza sólida, cuyo espesor aún no había alcanzado, ni con mucho, el valor que tiene en la actualidad, y que por consiguiente permitía que llegaran a la superficie externa, las fluctuaciones térmicas del interior.

Pero aún admitiendo, y ya es admitir, la posibilidad de reacciones endotérmicas en un medio, como el núcleo terrestre, a elevadísima temperatura; el primero y principal efecto que hubieran acarreado, hubiera sido necesariamente, la solidificación de las regiones menos cálidas del magma fundido, de las más próximas a la corteza exterior, dando lugar al aumento de su espesor y tendiendo, por lo tanto, y cada vez más, a impedir que los cambios térmicos interiores trascendieran al exterior; por consiguiente, aunque esas pretendidas reacciones hubieran tenido lugar, su efecto habría sido nulo.

Por otra parte, jamás se han observado, ni en los materiales que forman la corteza terrestre, ni en los que arrojan las erupciones volcánicas, la presencia de ninguna clase de compuestos endotérmicos; sino que por el contrario, todos son fuertemente exotérmicos; y además los compuestos endotérmicos, que todos son extraordinariamente inestables, no hubieran podido originarse en el seno de un medio a elevadísima temperatura, y sujeto, además, a fuertes y continuas conmociones.

#### Por aumento de la diater- mancia del aire atmosférico

Finalmente, vamos a analizar los grados de verosimilitud de otra teoría, para explicar las causas del glaciario, y que está fundada en los cambios de composición y de propiedades en la atmósfera terrestre.

La atmósfera gaseosa que rodea a la tierra, además de ser el depósito de oxígeno libre que sustenta y regula la vida tanto animal como vegetal, desempeña también otra función importantísima en el mecanismo biológico de nuestro suelo; es la capa, el manto protector que regula las ganancias y las pérdidas de calor de su corteza exterior, impidiendo durante el día, por su opacidad para ciertas radiaciones solares, la elevación excesiva de la temperatura del suelo y evitando durante la noche, gracias a su atermancia para los rayos caloríficos oscuros, que el calor sea radiado al espacio, e impidiendo por consiguiente el enfriamiento rápido y excesivo; en este sentido, el papel de la capa atmosférica es el de termo-regulador.

Pero la acción termo-reguladora del aire atmosférico está íntimamente ligada con su composición; mientras que el oxígeno y el nitrógeno son completamente diatermanos, el vapor de agua, y sobre todo el anhídrido carbónico, son fuertemente atermános. Sabido es, que aún en las regiones más cálidas de la tierra, como el desierto de Sahara, pero donde el aire está muy seco, el enfriamiento producido por la radiación nocturna, hace descender tan fuertemente la temperatura, que el agua expuesta a la interperie en capas de poco espesor, llega a congelarse.

Pues bien, en estos hechos de observación, está fundada la teoría. El aire, dicen sus partidarios, durante todas las épocas geológicas anteriores al comienzo de la cuaternaria, estaba fuertemente cargado de vapor de agua y de anhídrido carbónico; por su gran atermancia, absorbía durante el día la mayor parte de las radiaciones caloríficas de los rayos luminosos del sol; calor que por corrientes de convección, en forma de vientos alisios, transportaba desde la zona ecuatorial a las latitudes avanzadas, contribuyendo a uniformar la temperatura en toda la superficie del globo, e impidiendo durante la noche que el calor obscuro del suelo fuera radiado al espacio, manteniendo de éste modo en toda la tierra una temperatura

de invernadero, que unida a la abundancia de vapor de agua y de anhídrido carbónico, dió lugar a un desarrollo extraordinario y exuberante de la vegetación. Esta grandiosa vegetación, en virtud de su función clorofiliana, fué limpiando la atmósfera del exceso de gas carbónico, y con ello, perdió una gran parte de su atermancia u opacidad para el calor obscuro; vinieron los grandes enfriamientos nocturnos y las consiguientes precipitaciones del vapor de agua atmosférico, en forma de liuvias y de rocío: parte del agua precipitada volvía a evaporarse por la acción calorífica de los rayos solares, al nuevo día, pero otra parte era absorbida por la corteza terrestre, y poco a poco, llegó a quedar una atmósfera sin anhídrido carbónico y muy pobre en vapor de agua, y muy diatermana por lo tanto.

Desde entonces los rayos solares apenas calentaban a su paso las capas de aire que atravesaban, los débiles alisios, ya no transportaban sino un escaso calor a las latitudes altas, y las fuertes radiaciones nocturnas, producían enormes descensos de temperatura, que precipitaban sobre el suelo, en forma de grandes nevadas, el vapor acuoso que habían arrastrado; y la nieve caída, que los oblícuos rayos del sol sólo podían fundir en las latitudes muy bajas, fué acumulándose en capas cada vez más espesas, que no tardaron en helarse y endurecerse, y el período glacial se produjo.

¿Pero y los periodos interglaciales? Esto es lo que no explica bien la teoría; quizás el frío intenso y la escasez de gas carbónico en el aire, aminoraron la vegetación, que de formas exuberantes y gigantescas, se hizo pobre y raquílica, e incapaz de consumir el anhídrido carbónico aportado a la atmósfera por el volcanismo, y que llegó a restituirle su antigua atermancia; los alisios cálidos volvieron a producirse, y el deshielo vino lentamente, cesando el primer periodo glacial.

Adolece esta teoría, del defecto de atribuirle a los fenómenos, y de darle a las propiedades de los cuerpos, un alcance y una extensión mucho mayor del que verdaderamente tienen, deduciendo consecuencias, y admitiendo efectos cuyo enorme valor, no está en relación con la pequeñez y aún a veces, con la insignificancia de las causas productoras, aunque para justificarlo se haga intervenir al factor tiempo.

Vamos a someterla a un análisis crítico imparcial, siquiera sea muy ligeramente, para no alargar demasiado este trabajo.

En primer lugar, hemos de sentar la afirmación, muy importante para nosotros, por las consecuencias que de ella se derivan, de que la atmósfera de los comienzos del cuaternario, si bien muy semejante a la nuestra por su composición, era de mucha mayor altura, y por lo tanto de mucha mayor densidad que la actual, así como la de los tiempos venideros, será menos densa y de menor altura que la del presente. En efecto, Svante Arrhenius ha demostrado, como consecuencia de la teoría cinética de los gases, que las velocidades de proyección de las moléculas gaseosas en

los límites superiores de las atmósferas de los astros, son mayores que las aceleraciones de su gravedad respectiva, de donde resulta forzosamente, que no pudiendo ser retenidas por sus atracciones centrales, están constantemente diseminándose hacia el espacio, y que por lo tanto, tienden a ir perdiendo poco a poco sus atmósferas: esta es la causa de que los planetas pequeños como Mercurio y los satélites de poco tamaño como nuestra luna, carezcan de atmósfera, que hace mucho tiempo perdieron; que en otros como Marte, se haya reducido en grado sumo; y lo que hará que la tierra acabe por perder lo que ahora le resta, ya empobrecida con respecto a lo que fué en sus comienzos.

Por otra parte, es cierto que los gases compuestos son atermianos, es decir, poco transparentes para los rayos caloríficos, sobre todo para los oscuros, y que por lo tanto, la diatermancia del aire normal (siempre grande para el calor luminoso) se hace mayor cuando disminuye su riqueza en vapor de agua y anhídrido carbónico; pero la diferencia entre el poder diatermano de la mezcla de nitrógeno y oxígeno, y el del vapor acuoso y el anhídrido carbónico es demasiado pequeña, para que la pérdida de unas cuantas milésimas, o aunque hubieran sido unas centésimas, de estos últimos, hubiera determinado en la atmósfera del cuaternario, un aumento tan grande en la diatermancia, que permitiera radiaciones nocturnas al espacio, del calor obscuro de la tierra, que no sólo fueran capaces de compensar el calentamiento diurno por los rayos solares (calor luminoso y por lo tanto, muy trasmisible a través del aire) sino de determinar, la enorme pérdida de calor terrestre que fué necesaria para llegar al glaciario.

Como acabamos de ver, ninguna de las teorías propuestas hasta ahora, para explicar las causas del glaciario cuaternario, y que provisionalmente han sido admitidas, a falta de otras mejores, explica satisfactoriamente los hechos, ni resiste a un análisis lógico, en el estado actual de los conocimientos humanos. No obstante creemos que los progresos realizados en los últimos años por las ciencias naturales, y sobre todo por la astrofísica, proporcionan hechos y datos suficientes para poder formular una teoría, que a nuestro juicio, al menos, no adolece de los defectos de las anteriores.

### Teoría helio-telúrica

Así como en todas las teorías anteriores, al tratar de explicar las causas del glaciario cuaternario, se ha prescindido por completo del estado físico del sol y de la influencia que ese estado físico pudiera tener sobre la cantidad de calor que el astro del día radia a los espacios, y del que sólo una mínima parte es interceptado por la tierra; es por el contrario, en esa circunstancia donde hay que buscar la clave de la misteriosa causa,

que llegó a determinar en nuestro planeta, la enorme disminución de energía calorífica, que fué precisa para dar lugar al glaciario.

Sobradamente sabido es, y nada nuevo decimos con ello, que el astro central de nuestro sistema, no solo retiene los mundos a su alrededor y dirige y regula sus múltiples y complicados movimientos, mediante el vínculo misterioso de la gravitación; sino que es en la actualidad, y viene siendo durante cientos de miles de años, el único origen, el único manantial de calor y de luz que mantiene el movimiento y la vida en la tierra que nos sustenta, y quizás también en muchos de los mundos que circulan a su alrededor. Desde la brisa suave que blandamente mece la flor, hasta el furioso huracán que con fuerza irresistible arrasa y destruye cuanto encuentra a su paso; el agua que corre por rios y torrentes, el flujo y reflujo de los Oceanos, las olas del mar, la hulla que arde en nuestros hogares y mueve nuestras máquinas; desde la modesta yerba que crece a raíz del suelo, al árbol gigantesco y secular que escala las nubes del cielo; desde microbio al hombre; todo depende y todo está supeditado al sol que nos alumbra: si sus rayos se extinguieran, todo cuanto hoy es movimiento y vida, sería quietud y muerte, y la tierra un inmenso cementerio cubierto de un sudario de hielo, corriendo sin cesar por el espacio sin límites: el menor cambio, la más pequeña alteración en su atmósfera; un grupo de manchas que se forman o que desaparecen, una protuberancia que estalla, una fácula que surge, repercuten a las pocas horas y de una manera fatal en la tierra; los volcanes acrecen su actividad, los sismos aumentan su frecuencia y su brutal poder, que nada es capaz de resistir ni de contrarrestar; corrientes eléctricas inusitadas recorren las líneas telegráficas del mundo entero, impidiendo o entorpeciendo las comunicaciones; la aguja imantada deja de señalar el norte, y fuertes auroras polares iluminan las altas regiones de la atmósfera; hasta los grandes periodos de sequías y de abundantes lluvias, parecen estar relacionados con el periodo undecenal de las manchas solares: un capricho, un gesto del astro rey del sistema, y todo se perturba en la tierra.

Pero, el sol no es más que una estrella, una de tantas de las miles de millones que pueblan los espacios sin límites, y como ellas sujeto a la ley común de todo cuanto ha sido criado; el sol, como todos los seres, empezó a existir, tuvo su juventud, ha llegado a su pleno desarrollo, tendrá su vejez, y le ha de llegar la muerte. En la bóveda grandiosa del firmamento, podemos contemplar durante la noche multitud de estrellas en cada una de estas etapas: las nebulosas y las estrellas nebulosas, son los gérmenes y los primeros embriones de un sol que nace; las estrellas de Woll-Rayet, de debil espectro continuo con rayas brillantes, indicio de una constitución exclusivamente gaseosa, marcan la infancia estelar: *Sirio* o *alfa* del *Perrro mayor* y *Vega* o *alfa* de la *Lira*, con sus destellos azules, forman la

adolescencia; *la Cabra o alfa del Cochero, alfa de la Osa mayor y alfa de la Ballena*, de luz amarilla, son la plena juventud, la robustez y la fuerza; a éste grupo pertenece nuestro sol; y *Aldébaran o alfa del Toro y Antares o alfa del Escorpión*, con su luz de tonos rojizos, señalan la decrepitud y la vejez cercana a la muerte.

Hasta hace poco era una loca ilusión, una quimera, la sola idea de inquirir la constitución de las estrellas; ya el gran satírico español, condensó el común pensar de las gentes, cuando dijo:

El mentir de las estrellas  
es un seguro mentir  
puesto que nadie ha de ir  
a preguntárselo a ellas.

Y es cierto, por ahora, mientras la envoltura carnal de nuestro cuerpo nos tenga encadenados a la tierra, y sólo permita a la inteligencia de nuestra alma, conocer el mundo exterior a través de nuestros limitados sentidos, que cual anarmónicos espejos nos deforman la realidad, no podemos ir a averiguar sus misterios; y quién sabe si cuando la muerte dé libertad a nuestro espíritu, nos será dado conocerlas en su esencia, para admirar mejor la inmensa sabiduría del que solo con su voluntad, lo sacó todo de la nada; pero entre tanto, si nosotros no podemos ir, ellas nos mandan un emisario fiel y verídico, que con la velocidad de 300.000 kilómetros por segundo, corre a decirnos con un lenguaje claro y preciso, para el que sabe interpretarlo, lo que ellas son y lo que han sido, su mecanismo interno, sus cambios, la esencia misma de su vida.

El espectroscopio, el bolómetro y el interferómetro, han permitido a la Astrofísica, no sólo averiguar la composición química de las estrellas, con la misma o con mayor seguridad con que el químico analiza un mineral en su laboratorio; no sólo se ha medido su distancia su volúmen y su peso; sino que se ha llegado hasta a reconocer, su estado físico y su temperatura. Y estos estudios han dado a conocer que la temperatura de estos luminares del espacio, va creciendo desde las nebulosas informes y caóticas a las planetarias, de éstas a las estrellas nebulosas, a las estrellas de Wolf-Rayet y las estrellas azules, para decrecer después en las amarillas, y más aún en las rojas; parece que el máximo de temperatura corresponde a la plena juventud estelar, a las estrellas azules, y las mínimas; a la vida que empieza y a la vida que declina, a las nebulosas caóticas y a las estrellas rojas.

Pero no es eso todo, se ha medido más, se ha llegado hasta medir el valor de las radiaciones que llegan a la tierra, procedentes de esos lejanos soles, cuya distancia a nosotros se cuenta por billones de kilómetros; y Nordman, Wien, Scheiner, Nichols y Coblens, primero, y Pickering, Ritchey y Adams, por no citar otros, después, mediante dispositivos capa-

ces de apreciar hasta la diez millonésima parte de grado centígrado, han reconocido, teniendo en cuenta las diferencias de distancia y las áreas de superficie radiante, que las estrellas amarillas y las rojas, no obstante su menor temperatura que las blancas y que las azules, radian más calor, dos, tres y hasta cuatro veces más. De modo que la cantidad de calor que radia una estrella, no depende de su temperatura, sino de su estado físico; las estrellas azules y las blancas, muy cálidas, pero completamente gaseosas, radian menos calor que las amarillas y las rojas, de menos temperatura, pero ya algo condensadas, con partículas líquidas o sólidas en sus capas fotosféricas como actualmente nuestro sol.

Estos resultados obtenidos por la astrofísica, mediante la observación directa de las estrellas, y la medida cuantitativa del valor de sus radiaciones, estaba ya previsto, y no ha hecho más que confirmar las conclusiones deducidas por la física terrestre, de los resultados experimentales de laboratorio. En efecto, desde los trabajos clásicos en la Física, de Melloni y de Tindal, sobre el poder emisor de los cuerpos para el calor, se sabía que los gases incandescentes tienen un poder emisor, casi nulo, al paso que lo tienen mucho mayor los sólidos y los líquidos al rojo; que la llama del hidrógeno, por ejemplo, cuya temperatura es altísima, pero en la que tanto el cuerpo que arde, como los productos de su combustión, son gaseosos, tiene un poder emisor casi nulo, que apenas se produce efecto sensible sobre una pila termoeléctrica colocada a medio centímetro de distancia; pero que basta con hacer caer sobre la llama un poco de polvo de cal o de magnesia, para que en el acto adquiera un enorme poder de radiación; la llama antes azulada casi invisible, se hace blanca brillante, y la pila acusa una rápida y fuerte elevación de temperatura.

Esta observación, muy conocida y que cualquiera puede repetir fácilmente, había ya hecho pensar a los astrónomos, que los soles, en las primeras etapas de su vida, formados por materiales exclusivamente gaseosos, han de ser de poco brillo y de escaso poder radiante; que a medida que avanzaron en su evolución, al descender la temperatura en sus capas exteriores, por pérdida de calor en el espacio, habrían de producirse precipitaciones de partículas líquidas y aun sólidas incandescentes, generándose las fotosferas, ya dotadas de poder de radiación, que iría creciendo conforme fuera aumentando su espesor, y generándose vibraciones de menor longitud de onda, hasta un cierto límite crítico, en el que la menor temperatura compensara el mayor poder radiante, y el calor emitido empezase a decrecer; caso de las estrellas rojas.

Nuestro sol, como todos, ha recorrido y seguirá recorriendo las sucesivas etapas de la vida estelar. Una enorme nebulosa de gases rarificados y fríos, protohidrógeno y protonebulio, que por el incipiente y rudimentario gravismo del conjunto concentrado en su centro geométrico, se con-

trae por condensación, y va elevando cada vez más su temperatura, por la transformación en calor, de la fuerza viva de las masas moleculares o atómicas, que caen hacia su centro; y que por la acción combinada de las atracciones externas, adquiere un movimiento de traslación y otro de rotación que ordena sus materiales, y de caótica pasa a planetaria. La progresiva contracción, debida a la atracción interna creciente, acelera cada vez más la velocidad de rotación del conjunto, para obedecer al principio de la conservación de la fuerza viva; la fuerza centrífuga vence en la región periférica ecuatorial de la masa lenticular formada; y porciones del conjunto se desprenden de la nebulosa madre, que lanzadas al espacio van a formar los futuros planetas, que han de gravitar en torno del germen de un sol incipiente que ha quedado en el centro; y nuestro sistema solar ha sido creado.

El tiempo avanza inmutable, la contracción se amortigua, y cesa en las masas planetarias que se desprendieron del conjunto; y el desarrollo creciente de calor, sólo continúa en la gran masa nebulosa interior, que ha de ser el futuro sol que reparta luz y calor a sus planetas; los fríos del espacio hacen descender la temperatura de los menos voluminosos, su capa exterior se concreta en una corteza sólida, muy débil e inestable al principio, pero que lentamente va aumentando de espesor, y adquiriendo estabilidad; la fase estelar ha cesado y ha empezado la planetaria, entrando de lleno en los dominios de la Geología, que es la que ha de estudiar sus transformaciones posteriores, hasta que la vida aparezca y reine con todo su esplendor en su superficie. Tal es la génesis de un mundo; la de la tierra, por ejemplo.

¿Y el sol central, la gran masa madre, de la que la fuerza centrífuga destacó al principio las masas nebulares embriones de los futuros mundos? De volumen enorme todavía, comparado con el que tendrá después, resiste más la acción de los fríos del espacio; sigue contrayéndose poco a poco, obedeciendo a la atracción de su propia masa, y como consecuencia aumentando su provisión de calor; sus materiales completamente gaseosos y a inconcebible temperatura, lanzan al espacio débiles destellos azules, radiaciones extremadamente actínicas aunque muy pobres aún en rayos caloríficos; pero todo tiene su límite, y llega un momento en que cesa la contracción, o se hace casi insensible, y con ello la producción de calor; los fríos del espacio cumplen su obra, y el sol pasa de estrella azul, a estrella blanca primero, y amarilla después; del sol de las épocas geológicas anteriores al cuaternario, al sol actual; y este cambio de naturaleza del astro rey, cambio que no es continuo, sino con alternativas, haciéndolo pasar por una larga fase de estrella variable de largos periodos, determina en la tierra los fenómenos del glacialismo cuaternario. Veamos como:

Si comparamos la evolución solar con la evolución terrestre; el estado

actual del astro del día, estrella blanca en tránsito a estrella amarilla, caracterizado por un espectro completo de rayas negras, en el que aún tiende a subsistir un predominio de las radiaciones de corta longitud de onda; y el tiempo probable que la Geología calcula como un mínimo, para los diversos periodos geológicos anteriores al cuaternario; podemos admitir con grandes visos de certeza, que cuando una vez consolidada la corteza terrestre y limpia la atmósfera de los vapores de sales alcalinas, gracias al diluvio ígneo, y del exceso de vapor de agua, por el diluvio erético, descendió su temperatura al grado óptimo, y la vida apareció en su superficie; el sol no era aún más que una *estrella de hidrógeno*, como actualmente *Sirio*, por ejemplo; completamente gaseoso, de destellos azules, y de escaso o nulo poder de radiación calorífica: así debió mantenerse durante un gran lapso de tiempo; hasta que su lenta evolución, hacia los comienzos del cuaternario, a la mediación del Pleistoceno, le hizo llegar a la clase de *estrella de calcio*, en las que la existencia de metales muy refractarios, inicia un comienzo de precipitación fotosférica, dotándolo ya de un poder creciente de radiación calorífica, del que antes carecía.

Por otra parte, hasta el final del terciario y los comienzos del cuaternario, el débil espesor alcanzado por la corteza sólida, permitía, no obstante su escasa conductibilidad térmica, que el calor central del globo, llegara a su superficie, supliendo las deficiencias de un sol, que aún no podía repartir sobre la tierra sus rayos bienhechores.

De modo que hasta los comienzos de la época cuaternaria, la vida terrestre no estuvo sostenida por el calor del astro central del sistema, que aunque a elevadísima temperatura, era incapaz de radiarlo a los espacios, por su especial constitución física; sino por el calor central terrestre que por la relativa delgadez de la corteza sólida, podía llegar a la superficie. Por eso no hubo al principio ni climas ni zonas térmicas, originadas por la mayor o menor inclinación de los rayos solares que caen sobre la tierra; ni estaciones del año, dependientes de la altura del sol sobre el ecuador terrestre; y desde el ecuador a los polos, en continentes y mares vivía una misma flora y una misma fauna, resultando de una temperatura uniforme en todos los puntos, e igual durante todo el año: temperatura alta y uniforme, atmósfera húmeda y aire rico en anhídrido carbónico, la fauna y la flora ecuatorial, se desarrolló en toda la superficie de la tierra.

Pero los frios del espacio con la ayuda del tiempo hacen su obra, el espesor de la corteza sólida de la tierra aumenta cada vez más, y llega un momento en que el calor central ya no puede pasar al exterior, a caldear la superficie terrestre, supliendo las deficiencias de un sol, que aún no calienta lo bastante para compensar las pérdidas del calor radiado por la tierra a los espacios; el equilibrio térmico, sólo puede cumplirse en las regiones ecuatoriales, en las que cayendo casi a plomo los débiles rayos so-

lares, permite al suelo absorber el poco calor que contienen; mientras que en todas las demás regiones, en las latitudes medias y altas, el enfriamiento es cada vez mayor: y el glaciario se produce, debido por lo tanto, a que la tierra *ya no* calienta lo suficiente y el sol *todavía no calienta* lo necesario.

¿Y los periodos interglaciales? ¿Y el hecho perfectamente comprobado de la existencia de varios periodos glaciales, separados por periodos interglaciales, en los que la temperatura media se hizo benigna, sobreviniendo como consecuencia, un deshielo general más o menos amplio? Facilmente se explican dentro de esta teoría. En efecto; una vez producido el primer glaciario, por las causas ya apuntadas, llegó un momento en que los fríos del espacio rebajaron la temperatura solar, y en sus capas exteriores periféricas, se inició la condensación de partículas, que engendraron un comienzo de fotosfera fuertemente luminosa, y dotada de poder de radiación calorífica; la tierra empezó a recibir calor del astro rey, su temperatura media fué elevándose lentamente, y empezó el deshielo general, iniciándose desde entonces el primer periodo interglacial.

Pero una vez iniciada la fotosfera solar, el cambio de naturaleza del astro, no fué al principio, ni definitivo ni constante, sino que adquirió un cierto caracter de periodicidad: los cambios en la naturaleza no suelen ser ni bruscos ni continuos, sino que generalmente ofrecen la forma de funciones periódicas, con avances, estacionamientos y regraciones; y el sol entró en una fase de estrella variable de largos periodos, como otras tantas, de las muchas que nuestras observaciones actuales, comparadas con las de los astrónomos caldeos y egipcios de las primeras dinastías, nos hacen pensar en largos periodos de variabilidad, de muchos miles de años de duración, en los que las estrellas no sólo cambian de magnitud luminosa, sino que si fueran posibles las comparaciones, veríamos que también de tipo espectral.

Violentas conmociones de la naciente fotosfera del sol de aquellas edades, conmociones con las que comparadas las que originan las protuberancias solares de nuestros días, no son más que una debil muestra, gasificaban nuevamente las partículas recién precipitadas, el poder emisor del astro desaparecía por completo, y un nuevo periodo glacial se desarrollaba en la tierra.

Pero con el tiempo todo se calma, hasta los furores de la masa solar llegaron a amortiguarse, la fotosfera adquirió carácter de permanencia, y con ella su poder de radiación calorífica, y entramos en el periodo actual. El calor central del globo, para nada influye en la termicidad de su superficie, solo los rayos solares, calentando más o menos la corteza terrestre, según la oblicuidad con que caen sobre ella, dan lugar a las zonas térmicas y a los climas; la inclinación del eje terrestre, combinada con su pa-

ralelismo durante el movimiento de traslación, engendra las estaciones del año, algo, muy poco, influidas por la precesión de los equinoccios y por las variaciones de la línea de los ápsides; y así seguiremos, hasta que enfriándose también el sol, llegue primero a estrella roja, como Antares o Aldébaran, avisando las postrimerías de la vida terrestre; hasta que después, más frío aún, entre él a su vez en la fase planetaria: y la tierra, sin recibir ya las caricias de su calor vivificante, cubierta de hielo en toda su extensión, pero esta vez para siempre, no sea más que un inmenso cementerio cubierto de la noche eterna, rodando por los espacios sin límites, en torno de un sol apagado.

RAFAEL YÁZQUEZ AROCA.

