

Aplicación a los fenómenos geológicos
de la hipótesis de los puntos críticos
en la ley del enfriamiento de la barisfera terrestre

(Extracto de las conferencias dadas en 25 de Octubre y 2 de Noviembre de 1922 a la Real Academia de Ciencias, Bellas Letras y Nobles Artes de Córdoba.)

En la más verosímil de las hipótesis que actualmente se disputan la explicación de los grandes hechos geológicos que señala la historia del Planeta en relación con su morfología y el estado físico de su gran porción interna, el concepto del estado sólido actual de un gran núcleo ferrometálico resuelve, sin duda, el mayor número de dificultades que a tan compleja cuestión afecta.

Como factor el más general de estos hechos, se invoca, a partir de las fecundas ideas contemporáneas de Laplace y de Hutton, el fenómeno físico de la contracción de volumen por enfriamiento de una masa gaseosa primitiva que más tarde hubo de afectar el estado líquido y quedar recubierta, por último, merced a la radiación térmica hacia el espacio frío, de una costra superficial sólida continua.

Un error fundamental ha abrigado entre algunos geólogos el equívoco, que aún subsiste con frecuencia, de una contracción habida en esta corteza durante el proceso del enfriamiento planetario, análoga a la que ofrece un cuerpo metálico tal como el plomo, un fragmento de roca como el granito, o un trozo de vidrio.

La corteza terrestre, sin embargo, integrada por materiales muy diversos, de composición química y propiedades mecánicas muy variables; sometida a intensos procesos ya de demolición, ya de aglomeración de estos múltiples materiales, a fenómenos químicos incesantes de hidratación y de oxidación, a desplazamientos extensos de su propia masa provocados por las emisiones centrífugas del magma fluido interno y por los hundimientos de los fondos marinos que la sedimentación continua motiva sin cesar, y a modificaciones locales en su estado físico que estos desplazamientos ocasionan, lejos de quedar sometida a la pretendida contracción, tiende constantemente, dentro de este proceso de enfriamiento, a un aumento en su masa que trasciende a su extensión superficial.

No es, pues, dado, atribuir a la corteza terrestre un carácter de contractibilidad por enfriamiento «cualitativamente inaplicable y cuantitativamen-

te insuficiente» — como ha expresado Dutton — al menos para la explicación de los fenómenos orogénicos.

La idea de un arrollamiento provocado en esta corteza grávida por la reducción de un núcleo contractil a cuya superficie tiende a adaptarse constantemente en un proceso general de enfriamiento, suministra desde luego una imágen real de los acontecimientos orogénicos que en aquella corteza deformable se han sucedido.

Pero hasta ahora los geólogos han considerado esta contracción nuclear como expresión de una ley continua que dista mucho de explicar el carácter general discontinuo dominante en los grandes hechos de la historia del Globo, y ante el cual se han venido a invocar causas astronómicas que aparecen como nuevas incógnitas en un problema ya de suyo obscuro y complejo.

La adopción del estado sólido de una barísfera ferrometálica permite, no obstante, una explicación del caso paradógico que presenta a la surrección de las montañas como consecuencia de un proceso continuo de contracción nuclear, siendo así que, como observa E. Belot, éste mismo fenómeno se muestra evidentemente discontinuo en la sucesión de las edades geológicas.

Una observación experimental del dominio de la Metalografía viene a dar la explicación de tan significado desacuerdo. El análisis térmico demuestra que a temperaturas bien establecidas conocidas con el nombre de *puntos críticos*, muchos metales y aleaciones sufren, durante su enfriamiento, modificaciones importantes en su estado térmico a las que acompañan cambios en el volúmen y en otras de sus propiedades físicas determinadas. A veces son tan sensibles estos cambios en el estado térmico, que se aprecian a simple vista por los técnicos.

Así, cuando el acero se calienta por cima de una temperatura de fusión (1.300—1.400° según Ponillet) y se deja enfriar luego pasado el punto de solidificación, llega un momento en que aumenta bruscamente la incandescencia de la masa, que nuevamente disminuye a medida del enfriamiento para aumentar otra vez y desaparecer finalmente en relación a la temperatura alcanzada. Así es el fenómeno que en la técnica siderúrgica se designa con el nombre de «recalescencia» (1) y que no traduce, en suma, otra cosa que la aparición a temperaturas definidas, de los puntos críticos, que se acusan por emisiones térmicas suficientemente intensas para modificar notablemente el estado de incandescencia. A las temperaturas de los puntos críticos tienen lugar modificaciones profundas en las propiedades mecánicas de los aceros. Si el acero se deja enfriar lentamente hasta el recalentamiento resulta blando y tenaz; si el enfriamiento es rá-

(1) En castellano sería preferible adoptar la palabra «recalentamiento».

pido, se obtiene una masa dura y frágil que calentada de nuevo a la temperatura crítica se vuelve blanda. La elevación de los puntos críticos que en el acero se consigue por la adición de cromo, níquel, vanadio, etc., va seguida del aumento de la dureza. Las resistencias eléctricas ofrecen también modificaciones relacionadas con los puntos críticos. Los métodos del análisis metalográfico se aplican ya a la determinación de los puntos críticos térmicos, ya a la de los puntos críticos eléctricos ya también a la de los magnéticos.

L' Osmond, en investigaciones clásicas, reconoció durante el enfriamiento del hierro electrolítico, dos puntos críticos, el primero a 855° y el segundo a 720°. Al alcanzar el enfriamiento estas temperaturas, el termómetro se estaciona durante cierto tiempo merced a la liberación térmica, propia de los puntos críticos. Esta discontinuidad en el enfriamiento del hierro se hace sensible a la vista mediante la representación gráfica del fenómeno, que realizó Osmond. La curva obtenida llevando las temperaturas en grados centígrados sobre el eje de ordenadas y los tiempos en segundos sobre el eje de abscisas ofrece, como con frecuencia lo hacen las curvas térmicas de los metales y de las aleaciones, *mesetas* o porciones más o menos paralelas al eje de ordenadas, interrumpidas por inflexiones bruscas que en su retroceso determinan los puntos angulosos que caracterizan la existencia de las temperaturas críticas. Pero es en general mucho más sensible la configuración de éstas curvas si para su construcción se llevan también las temperaturas en grados sobre el eje de ordenadas, mientras que sobre el eje de abscisas se cuentan los tiempos necesarios para conseguir un enfriamiento determinado, de un grado, por ejemplo. Se obtiene así la *curva de las velocidades inversas*, expresión gráfica mucho más sensible del fenómeno discontinuo del enfriamiento del hierro.

En general, la configuración de las curvas térmicas no se modifica de un modo notable a consecuencia de la asociación en proporciones que a veces pueden ser considerables, de otros elementos al hierro. El níquel, el cromo, el tungsteno, el vanadio, elevan los puntos críticos. El carbono los hace descender algo. Pero en su conjunto el carácter del fenómeno no se modifica: a partir del hierro líquido la curva, casi paralela al eje de ordenadas, acusa un enfriamiento y una contracción de volúmen continuos; una elevación de temperatura y un considerable aumento de volúmen surgen a la temperatura de solidificación, y después se restablece la continuidad alternativamente con otras dos fases sucesivas de elevación térmica y aumento de volúmen para terminar por último en una fase de enfriamiento y contracción continuos.

núcleo terrestre en la hipótesis de su composición ferrometálica casi exclusiva y de su actual estado sólido, hemos de admitir que la ley de su enfriamiento ha debido ser por fuerza, análoga a la deducida del análisis térmico del hierro. Y si la formación de los sistemas montañosos constituye un proceso ligado a la discontinuidad térmica y dinámica de este núcleo en la sucesión de los periodos geológicos y la sucesión geológica se halla afectada por los grandes movimientos orogénicos, forzosamente, tanto el proceso orogénico como la sucesión geológica serán, evidentemente, discontinuos.

Demuestran numerosos fenómenos geológicos la existencia de una zona o región terrestre subcortical cuya temperatura, sin incurrir en la exageración evidente a que conduce el cálculo fundado sobre el grado geotérmico, debe aproximarse a la observada en las lavas volcánicas. Una fuente de energía química renovada sin cesar, cuyo origen se explica por la acción de los materiales hidrosféricos sobre materiales litosféricos profundos, establece un foco térmico continuo en aquellas regiones subcorticales y elabora un magma fluido que es desplazado constantemente hacia la superficie en virtud de un proceso común eruptivo y volcánico. En la hipótesis del núcleo sólido, esta zona magmática, de temperatura más elevada que el núcleo, tomaría asiento a una determinada profundidad intermedia de la litósfera que no puede hallarse en desacuerdo con las observaciones sismológicas y las deducciones que aporta la teoría de la isostasia. Sometido él magma a una presión considerable entre las dos regiones litosféricas que le alojan, tiende constantemente a su expansión centrifuga en virtud de la acción gravitativa continua de la corteza. Una pérdida continua del calor radiante del magma transportado hacia la región superficial fría, viene a compensar tal vez, merced a esta emisión continua el incremento constante de la temperatura provocado por el quimismo subcortical.

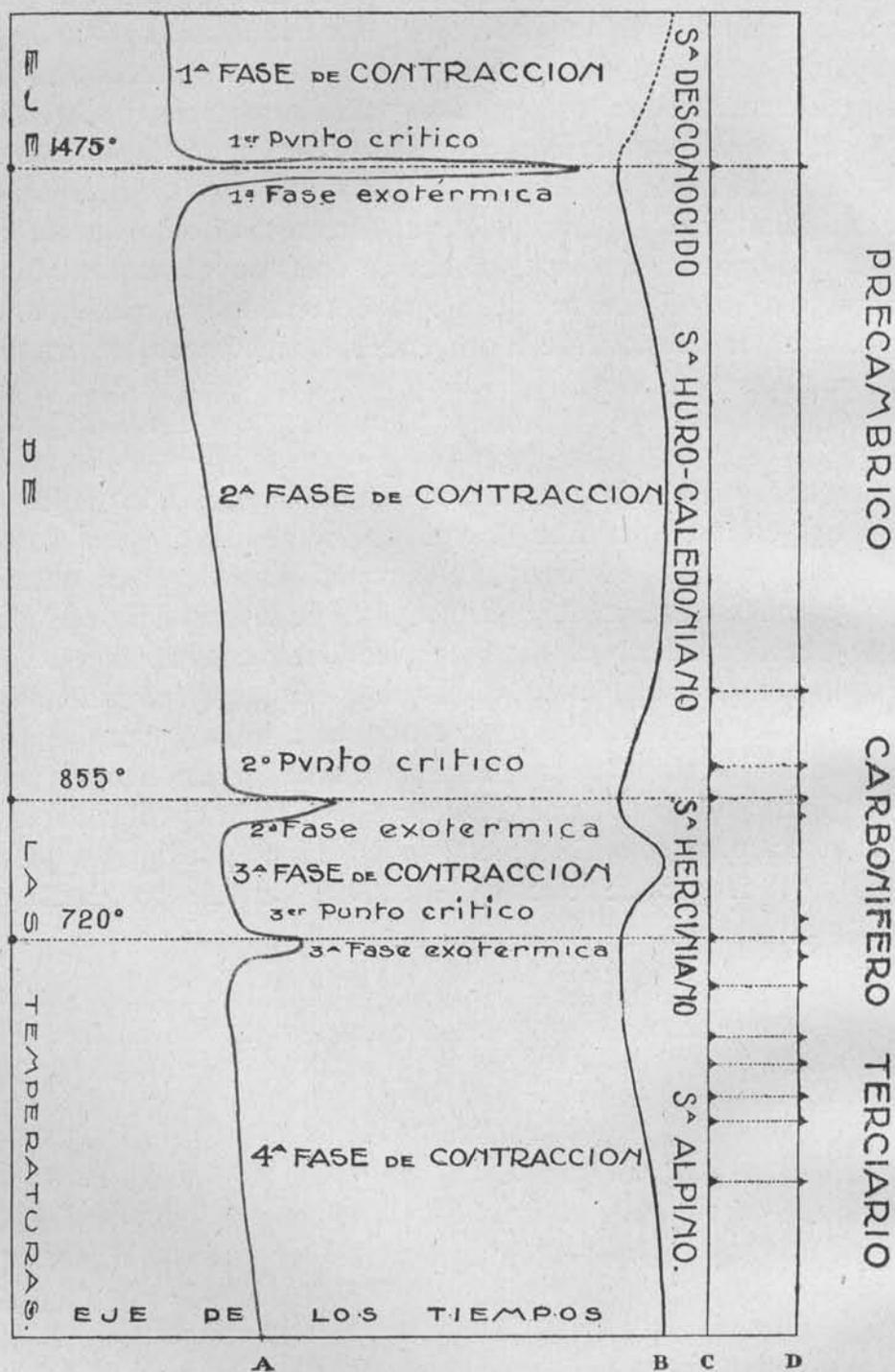
Dada esta morfología del Planeta, el mecanismo del arrollamiento cortical inexplicable en la hipótesis de la contracción, no llega a ser incomprendible ante la consideración de los puntos críticos en la ley del enfriamiento barisférico. Las fases *diastólicas* correspondientes a los puntos críticos de la barisfera provocan una emisión magmática a través o por infiltración sobre la corteza litosférica y el arrollamiento de esta será nulo. Las fases *sistólicas* (1) propias de la contracción nuclear continua tendrán por el contrario, como resultado el arrollamiento cortical. Mas como es

(1) Adoptamos aquí los vocablos *sístole* y *diástole*, de etimología griega, para aplicarlos adjetivamente a las modificaciones periódicas del volumen barisférico durante el desarrollo de los fenómenos que, relacionados con los puntos críticos, se observan en el enfriamiento del hierro.

te arrollamiento supone aumento de masa, y por tanto de presión gravitativa, en determinadas regiones corticales, esta circunstancia en unión de la que análogamente determina en los geosinclinales la sobrecarga debida a la formación creciente de los depósitos, puede ser también causa de incremento de la emisión magmática en ciertas regiones de la corteza. De modo, que el arrollamiento se produce exclusivamente en las fases sistólicas, mientras que la emisión magmática puede coexistir, no solamente con estas fases sino también con las diastóticas propias de los puntos críticos. Nos daríamos así cuenta del por qué en periodos de calma, relativa al menos, señalados por la historia de la orogénesis, los fenómenos de erupción han podido ser intensos.

En el esquema adjunto se intenta representar la correlación de los paroxismos orogénicos, volcánicos y eruptivos a través de los periodos geológicos entre sí y frente a la curva de las velocidades inversas obtenida mediante el análisis térmico del hierro, a partir del estado fluido de dicho metal. A la derecha de esta curva se representa, solo cualitativamente, mediante una línea ondulada, la oscilación que en su intensidad presenta sucesivamente la evolución orogénica y a continuación se señalan también sobre dos rectas paralelas los paroxismos volcánicos y eruptivos de intensidad manifiesta en la historia del Planeta; estos se han distribuido en la figura en atención tan solo a la sucesión y al periodo geológico a que corresponden, (1) después de relacionar este con el periodo orogénico que representan.

(1) La selección de los paroxismos eruptivos y volcánicos representados en el esquema se ha hecho ante la magistral obra de E. Haug, *Traité de geologie* (Paris Armand Colin ed.)



A, Curva térmica del enfriamiento del hierro. — **B**, Curva de la oscilación orogénica. — **C**, Volcanismo. — **D**, Eruptividad, en donde de arriba abajo se indican sucesivamente, como épocas de sensible intensidad, el Algonkiano, Cámbrico, Ordoviciano, Gothlandiano, Devónico, Dinantiano, Westfaliano, Stefaniano, Pérmico, Triásico, Jurásico, Cretáceo, Luteciano, Bartoniano, Sannoisiano, Stampiano y Neogeno.

La primera observación que se desprende del examen de esta figura, muestra una consecuencia lógica de los hechos experimentales que concurren en el análisis térmico de hierro: grandes periodos orogénicos suceden a cada punto crítico. Un periodo orogénico primitivo que sin duda precedió al punto crítico correspondiente a la solidificación del hierro hacia 1.475° , ha podido pasar desapercibido a la observación geológica dada la excepcional intensidad de la emisión térmica que acompaña a este punto crítico y el enorme empuje centrífugo que representa el considerable aumento del volumen nuclear con que coincide. Este periodo prehistórico de la orogénesis terrestre no ha dejado quizá sobre la faz actual de la Tierra otra huella de su existencia que aquellos escudos, zonas o moles más rígidas de su ensambladura cortical que resistieron mejor a un desgaje general e intensísimo provocado por esta primera gran fase diastólica de la barisfera. ¿Deberá ser comprendido en este primer punto crítico el periodo Algonkiano en el que ya había hecho su aparición, sin duda alguna, la vida orgánica? Las grandes manifestaciones eruptivas señaladas en esta subdivisión del precámbrico parecen atestiguar que al menos el periodo Algonkiano pudo ser influido de la proximidad de este primer punto crítico que determinó una primera fase exotérmica de la evolución nuclear. Una segunda fase de continuidad en el enfriamiento del hierro que sigue a este punto crítico ha podido determinar sobre la corteza el arrollamiento representado en la sucesión orogénica por el sistema Hurocaledoniano. Los grandes espasmos orogénicos del periodo parecen acordarse con una brusca actividad que debió provocar el violento retroceso de la inflexión que llegada al correspondiente punto crítico ofrece la curva de las velocidades inversas. La fase sistólica hurocaledoniana ha podido terminar hacia 855° con la aparición de un nuevo punto crítico de la curva expresiva del enfriamiento del hierro. Un nuevo periodo de atenuación orogénica correspondiente a este segundo punto crítico, viene a coincidir con nueva emisión térmica del núcleo que eslabona sucesivamente el Cámbrico con el Siluriano en virtud de las emisiones eruptivas señaladas en el Ordoviciano y el Gothlandiano, y, se continúa en el Devónico que parece quedaría situado hacia los límites de esta fase exotérmica. En el Carbonífero, representante geológico de una nueva gran fase orogénica que determinó el arrollamiento Herciniano, el paralelismo aproximado de la curva térmica con el eje de ordenadas define otra nueva fase sistólica de la barisfera. Bajo estas dependencias quedan bien caracterizadas en este periodo geológico las subdivisiones dinantiana, westfaliana y estefaniana. Sucesivamente, el Permico y el Triásico parecen ser el tránsito a una nueva fase de calma orogénica que coincide con un nuevo punto crítico del enfriamiento del hierro hacia 720° (1) y cuyo carácter exotérmico pa-

(1) La aparición de las propiedades magnéticas del hierro hacia esta temperatura puede tener una significación geofísica y geológica importante cuyo estudio no es ob-

rece tener su representación característica en los periodos Jurásico y Cretáceo, no exentos de eruptividad intensa, que llegó a ser «incomparable» en el primero. Después una última fase sistólica de la barisfera que acusa el desarrollo continuo de la curva térmica ha podido determinar la fase orogénica representada por el Sistema Alpino. En ella quedan caracterizadas las subdivisiones luteciana, bartoniana sannoisiana y estampiana que eslabonan aquella última fase exotérmica del núcleo con un periodo de contracción continua que llega a nuestros días si hemos de pensar con algún geólogo eminente «que vivimos en pleno Periodo Terciario,» y que en la curva de las velocidades inversas viene a representar el último de los periodos o fases orogénicas del Planeta, porque después esta curva no ofrece nuevas inflexiones de carácter exotérmico, y, por tanto, de pausa orogénica.

El presente bosquejo no tiene otra pretensión que tratar de relacionar un hecho experimental observado en el laboratorio con el caracter discontinuo que atribuye a la sucesión cronológica del Planeta la más compleja y difícil de las ciencias de la naturaleza, cual es la Geología. Si ante este intento un estudio más detenido y amplio de estas relaciones, que no pueden atribuirse a sencillas coincidencias, no hace surgir obstáculos capaces de desautorizar la proposición aquí desarrollada de un modo sintético, tendremos en su legitimidad, con una explicación fundamentada en la experiencia, de la discontinuidad geológica, una nueva comprobación del estado sólido actual del gran núcleo ferrometálico terrestre

FEDERICO DE CHAVES Y P. DEL PULGAR.

