

han efectuado los experimentos necesarios para decidir sobre tan delicadas cuestiones de física del globo; por consiguiente los cálculos hechos acerca de este asunto, aunque indudablemente interesantes, son puramente hipotéticos. Admitiendo Cordier que la temperatura crece por término medio 1° por cada 25 metros, deducía forzosamente que á un centenar de kilómetros aquélla excedía de muchos millares de grados, que todas las substancias minerales conocidas estarían allí en estado de fusión, y que las lavas de las erupciones volcánicas deben ser una expansión de la masa fluida interna. Así lo sostienen los partidarios de la hipótesis según la cual nuestro planeta, fluido en su origen en toda su masa, se ha consolidado parcialmente de resultas de su radiación al espacio y del consiguiente enfriamiento. La parte exterior solidificada constituye la corteza ó la costra que apenas debe tener unos cincuenta kilómetros de espesor, y será por consiguiente comparable á una cáscara de huevo. Otros, sin dejar de admitir la fluidez primitiva del planeta, creen que la solidificación ha empezado por las partes centrales, y que la parte fluida todavía en razón de su excesiva temperatura, sólo forma una escasa fracción del volumen total. Ciertos geólogos van todavía más lejos; dicen que el globo está enteramente solidificado, y explican el fenómeno de las expansiones de lava atribuyéndolo á la existencia local de lagos subterráneos de materia fluida.

Aquí nos limitaremos á consignar sucintamente tan distintas hipótesis, porque las razones alegadas en pro ó en contra no son de la incumbencia de esta obra, sino propias de la astronomía y de la geología, y no sacan de la observación y de la experiencia más que los datos que hemos resumido en este artículo en su parte más esencial.

Sea cualquiera la causa del calor interno del globo, lo cierto es que en la actualidad influye de un modo enteramente insensible en la elevación de la temperatura en su superficie. El aumento de un trigésimo de grado por metro, que resulta de las observaciones más concordantes, no daría según Fourier más que un cuarto de grado centígrado para esta elevación si el globo fuese una masa de hierro. Como la conductibilidad de las capas terrestres es mucho menor que la de dicho metal, el resultado es todavía más insignificante, pudiendo considerársele como imperceptible. El análisis matemático ha conducido además á Fourier á hacer otra deducción, y es que el aumento actual de la temperatura interna, mucho mayor en otro tiempo, no varía ahora sino con extraordinaria lentitud, debiendo transcurrir más de treinta mil años antes que quede reducido á la mitad de lo que es hoy.

III

TEMPERATURA DE LAS AGUAS: LAS AGUAS CORRIENTES, LOS LAGOS, LOS MANANTIALES

Es innegable la influencia de la naturaleza del suelo, de su conductibilidad y de sus poderes absorbente y reflector en la temperatura de la capa comprendida entre la superficie y la capa de temperatura variable, y en la mayor ó menor profundidad de esta última. Lo es asimismo la influencia que las mismas condiciones variables deben ejercer en la temperatura de las capas de aire más inmediatas al suelo. Son estos otros tantos elementos importantes del clima de una región, sobre los cuales no se han reunido aún, al menos que sepamos, suficientes datos numéricos para poder explicar la parte que corresponde á las múltiples causas de variación que acabamos de enumerar. Sus efectos no son menos ciertos, como lo atestiguan los contrastes que se observan entre países que se hallan en condiciones meteorológicas y geográficas casi semejantes, pero cuyo

suelo está compuesto de materiales totalmente distintos y en el que el calor radiado por el Sol produce muy diferentes efectos. Pero donde más marcados son estos contrastes es allí donde la superficie sólida cede el puesto á grandes extensiones de agua, en los océanos y en los mares. En virtud de su gran capacidad para el calor, de su escasa conductibilidad y de sus demás propiedades físicas, el agua desempeña una misión capital en la meteorología terrestre, y sobre todo la de moderadora de los climas en las regiones sometidas á su influencia. De aquí la utilidad, la necesidad de saber cómo se distribuye en su masa el calor que el Sol le envía.

Ante todo diremos algunas palabras acerca de la temperatura de las aguas que circulan por la superficie de los continentes ó se acumulan en ella: aguas corrientes, ríos, arroyos y lagos, y luego de las que penetran en el interior del suelo ó brotan de él en estado de manantiales. En seguida hablaremos de la temperatura de los océanos y de los mares.

Según las observaciones hechas por Grad en las aguas de un río torrencial de los Vosgos, el Fecht, que después de 48 kilómetros de curso desemboca en el Ill, y según las de Bertin en este último río y en el Rhin junto á Strasburgo, hay lugar á deducir que el agua de estos ríos sufre menores variaciones que las del aire en el curso del año (1). Se calienta y se enfría con menos rapidez, de suerte que las épocas de las máxima y mínima de temperatura se presentan después de las máxima y mínima de la del aire en los mismos puntos. La amplitud de las oscilaciones es también menor; con respecto al agua, son mayores en verano que en invierno, y también cuando el cielo está despejado que si está nublado, y disminuye á medida que el caudal de agua aumenta. Finalmente, las lluvias que, según Grad, bajan la temperatura de las aguas corrientes en verano, la elevan en invierno. En cuanto al promedio anual, es algo mayor en el Ill y en el Rhin que la del aire (1° en el primer caso y $0^\circ,4$ en el segundo). Estos resultados de la observación concuerdan con lo que se podía prever basándose en las propiedades físicas del agua comparadas con las del aire. Sin embargo, sería prematuro generalizarlos, aun limitándose á considerar las aguas corrientes de la zona templada.

En uno de los capítulos anteriores hemos visto las circunstancias que preceden á la formación del hielo en las aguas corrientes, y cómo los témpanos acarreados por ellas en la época de los grandes fríos tienen su principal origen en el lecho, en donde la velocidad de la corriente es menor, y cómo su contacto con el suelo congelado produce un descenso de temperatura bastante grande para que el agua se solidifique.

Por lo que á los lagos atañe, sabemos que si son de suficiente profundidad, el agua conserva en el fondo la temperatura constante de su maximum de densidad, ó sea unos 4° centígrados. En invierno, cuando la temperatura exterior es suficientemente baja, las capas superficiales se congelan y la temperatura va creciendo desde una capa inmediata á la superficie, en la que es de 0° , hasta el fondo. Durante la estación calu-

(1) He aquí algunas cifras tomadas de las observaciones de las aguas del Fecht por M. Grad, durante el año meteorológico de 1866-67:

	Máximum	Mínimum	Promedio	Temperatura del aire
Invierno	$9^\circ,6$	$-0^\circ,2$	$4^\circ,7$	$2^\circ,1$
Primavera	$21^\circ,5$	$4^\circ,7$	$10^\circ,1$	$11^\circ,3$
Verano	$23^\circ,5$	$9^\circ,8$	$16^\circ,3$	$21^\circ,3$
Otoño	$18^\circ,6$	$3^\circ,2$	$10^\circ,9$	$10^\circ,5$
Año	$23^\circ,5$	$-0^\circ,2$	$10^\circ,5$	$11^\circ,3$

rosa la presión es inversa, siempre en virtud de la misma ley que exige que las capas de agua se estratifiquen de arriba á abajo, siguiendo el orden de sus densidades decrecientes. En los lagos de menor profundidad, las capas en contacto con el lecho se encuentran á 2° ó 3° sobre cero.

Todas las aguas que circulan en la superficie del globo, arroyos y torrentes, riachuelos y ríos, todas cuantas penetran en la costra sólida á mayores ó menores profundidades, y que después de un curso de longitud variable, las más de las veces desconocida, brotan en forma de manantiales, tienen un mismo origen, la atmósfera, las nubes, es decir, las lluvias ó las nieves.

Cuando ocurre una caída de aguas meteóricas, una pequeña parte de ellas penetra ó mejor dicho empapa el suelo; otra parte se evapora, y la mayor cantidad corre por la superficie, y por millares de ramificaciones forma los torrentes y los ríos, ó bien penetra por las grietas y hendeduras del suelo (1), por el interior mismo de las capas más ó menos porosas que bajan á encontrar terrenos impermeables en los que el agua forma lechos de cierta extensión. Hay también verdaderas corrientes de aguas subterráneas que, después de un curso, muy largo á veces, se reúnen, ya con las aguas corrientes de la cuenca á que pertenecen, ó ya con el mismo mar.

Desde el punto de vista que aquí nos ocupa, que es el de su temperatura, pueden dividirse los *manantiales* en dos especies distintas: los *fríos*, cuya temperatura es generalmente inferior á la del aire en el punto en que brotan, y que son aquellos cuyas aguas han penetrado en el suelo á una profundidad bastante escasa; ó que, procedentes de la fusión de las nieves en los países montañosos, han conservado debajo de tierra la baja temperatura de su punto de origen; y los manantiales *termales* ó calientes, que, por el contrario, son aquellos cuyas aguas han penetrado en las aguas profundas, debajo de la capa de temperatura invariable. Tales son los manantiales *artesianos*, si por tal nombre entendemos aquellos cuyas aguas, después de bajar á lo largo de las capas inclinadas, remontan á la superficie por efecto de la igualdad de presión; sin embargo, ciertas fuentes termales deben su elevada temperatura á la proximidad en que están de regiones volcánicas, más bien que á la profundidad de las capas alcanzadas por sus aguas.

Los manantiales de escaso caudal y que proceden de poca profundidad tienen una temperatura más variable en el transcurso del año que aquellos cuyo caudal, casi constante, es considerable, y cuyas aguas, antes de salir á la superficie, han recorrido un largo trayecto subterráneo. La temperatura de estos últimos es casi invariable, habiéndose creído largo tiempo que era la misma que la media anual del lugar en que brotan; pero, según las observaciones de gran número de meteorólogos, no existe semejante identidad: las aguas de ciertos manantiales son más frías que el aire, y en cambio las de otros son más calientes, diferencias que dependen de las condiciones climatoló-

(1) Las aguas llovedizas quedan absorbidas con más rapidez en las montañas que han sufrido dislocaciones en varios sentidos. Así sucede en la cordillera del Jura, como lo demostraba Chacornac en su estudio *Sobre las temperaturas de las fuentes que brotan en talud escarpado*. "Lo primero que se nota al recorrer estas montañas es la extraordinaria avidez con que su suelo absorbe el agua. Así es que después de algunas horas de lluvias prolongadas y aun de aguaceros diluviales, no queda vestigio de agua en las mesetas, ni por lo general en los caminos; en cambio, por todas partes brotan manantiales en los declives del terreno, en las fallas de mayor pendiente y en las grandes depresiones de los innumerables repliegues del terreno, en donde la oolita media especialmente ha quedado sobre el nivel de los valles. Por otra parte, esa red de cadenas de montañas, empotradas unas en otras, dan á cierto número de valles jurásicos la forma de cuencas enteramente cerradas en las que se reúnen las aguas."

gicas de cada región y del modo cómo los manantiales se forman. He aquí la explicación que de esto ha dado Buch:

"Si no lloviera nunca, el suelo tendría la temperatura media del aire á cierta profundidad; si cayese todos los meses la misma cantidad de lluvia, y suponiendo que ésta estuviese á la temperatura del aire, el promedio de la de los manantiales sería igual al del aire. Así sucede en Inglaterra, en donde llueve en verano tanto como en invierno. Pero en los países en que las lluvias de verano son más abundantes que las de invierno, la temperatura media del agua que cae es superior á la del aire, hallándose los manantiales en el mismo caso. Por esto son los manantiales, en Alemania y en Suecia, muchos grados más calientes que el promedio anual. Lo contrario sucede en los países en que llueve mucho en invierno, como en Noruega y en Italia. En las regiones tropicales, la temperatura baja rápidamente al principio de la estación de las lluvias; pero en las localidades en que llueve á intervalos durante todo el año, hay identidad entre el calor de los manantiales y el del aire."

En los países montañosos donde nieva mucho en invierno, los manantiales están fríos en verano, lo cual consiste en la baja temperatura que tiene el agua de fusión al penetrar en las grietas internas del suelo, cuyas paredes enfriadas y poco conductoras no pueden recobrar durante el verano el calor que han perdido en la primavera. Según M. Fournet, hay otra causa que contribuye á mantener esta temperatura de las aguas de manantial á un nivel más bajo que el aire exterior, y es que los canales por los que circulan tienen sus paredes constantemente enfriadas por el aire que se introduce en ellos juntamente con el agua y cuya corriente produce una evaporación rápida y constante.

Una particularidad notable se nota en la temperatura de ciertos manantiales fríos y es, aparte de su marcada inferioridad sobre la del aire exterior, la poca variación que sufre cuando el caudal pasa del máximo al mínimo. En el trabajo que hemos mencionado anteriormente, cita Chacornac como ejemplo el manantial de la Serrière en las cercanías de Neufchatel (Jura suizo). Este manantial ha tenido desde el 11 de junio de 1864 al 9 de agosto del mismo año dos crecidas importantes, para disminuir notablemente de caudal sin que su temperatura variara más de un grado y medio (7°7, á 9°2). Durante este tiempo, la temperatura del aire al pie del manantial oscilaba entre 12°5 y 23°8, variando así 11°3, esto es, en una proporción siete veces mayor que el agua del manantial.

La temperatura de las fuentes termales artesianas es casi la de las capas profundas del terreno en que brotan, de suerte que se puede calcular aproximadamente la distancia vertical desde su punto de origen hasta el suelo, multiplicando esta temperatura por un número comprendido entre 25 y 35 metros. Al tipo medio de 30 metros de profundidad por 1°, las aguas termales de Bath deben proceder de una capa subterránea de unos 1.500 metros de profundidad, puesto que su temperatura es de 48°9; las de Bagnères de Luchón, que están á 50°, indican poco más ó menos la misma profundidad; las de Plombières (65°), las de Aguas-Calientes (81°) y las de Trincheras en Venezuela, que tienen á corta diferencia la temperatura del agua hirviendo (97°), deben brotar respectivamente de puntos subterráneos situados á distancias verticales de 1.650, 2.400 y 2.900 metros. Repetimos, sin embargo, que estos cálculos, que suponen una proporción constante en el tipo de aumento de temperatura de las capas subterráneas, son enteramente hipotéticos, por cuanto ya hemos visto que el aumento en cuestión varía con las localidades.

En las regiones volcánicas son frecuentes los manantiales de temperatura muy elevada. Citemos algunos ejemplos.

El valle del Firehole, situado en medio de esa maravillosa comarca en donde los americanos han reservado un dilatado espacio al que han dado el nombre de *Parque nacional de los Estados Unidos*, abunda en manantiales termales y en géiseres que indican una actividad volcánica en sus postrimerías. Por todas partes brotan chorros de vapor y agua hirviendo del seno de una multitud de cráteres cuyos diámetros varían entre 2 y 12 pies (60 centímetros á 3^m,60). En el artículo que dedicaremos á los géiseres nos ocuparemos de la intermitencia de estos chorros; aquí solamente consideramos la temperatura elevada de dichos manantiales. Por dicho valle corre un río

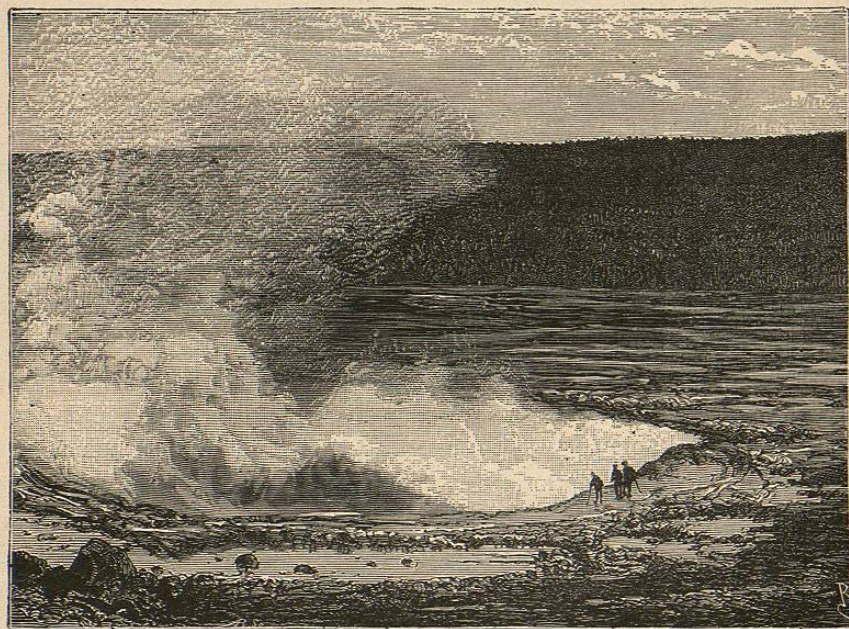


Fig. 124.—Manantial de agua termal del valle de Firehole

que ha recibido, como el valle, el nombre de Firehole (*abismo de fuego*), y junto á sus bordes pantanosos descuellan cráteres en parte sumergidos. El agua que contienen brota de ellos á borbotones, denotando todo, en los fenómenos extraordinarios que presenta esta comarca, una actividad volcánica especial.

Las fuentes termales del valle de Marcapata deberán probablemente su elevada temperatura á su proximidad á los Andes, cuyo carácter volcánico se manifiesta, como es sabido, por tan marcados fenómenos. He aquí la descripción que de ellos hace P. Marcoy, el infatigable explorador de los valles de las Quinas:

“Figúrese el lector una superficie horizontal á manera de plataforma, de unos veinte metros cuadrados, apoyada por una parte en la montaña, á la que sirve de escalón, y cortada á pico en las demás. Esta plataforma presentaba veintitrés aberturas, por las cuales lanzábanse chorros de agua hirviendo, cuya altura variaba de tres á ocho pies; en cada orificio veíase una especie de abultado reborde, formado por la aglomeración de materias sulfurosas que les habían comunicado la forma de un cono; y como su elevación era de unas diez y ocho pulgadas, parecían exactamente géiseres en miniatura. El color de la piedra en los sitios en que estaba en contacto con el agua era

un bonito amarillo, con vetas y dibujos azulados, semejantes á las arborizaciones de ciertas ágatas; y las partes de la roca más distantes del manantial, de un precioso tinte rojo, estaban cubiertas, en algunos sitios, de musgo de un verde esmeralda. Una espesura de salvas, de espinas y de fucsias se extendía por toda la plataforma, á pesar de los chorros de agua hirviendo que la bañaban por todas partes, y algunos tallos pendían alrededor de la roca formando como una cabellera.”

Vese, en resumen, que las aguas que circulan por la superficie del globo ó que penetran en el interior de su corteza, indican por su temperatura dos distintos focos de calor. Las unas no han experimentado en su curso más que la influencia del calor exterior, de las condiciones atmosféricas ó meteorológicas; las otras revelan por su temperatura elevada en demasía otra influencia, la del calor propio del globo mismo, y que procede de sus capas profundas, de su núcleo. En proporción de su abundancia en los puntos del globo regados por ellas, unas y otras ejercen cierta reacción en el clima de estos puntos. Mas como en definitiva no forman sino una reducidísima parte de las masas líquidas en la superficie de la tierra, la susodicha reacción no pasa de límites bastante restringidos. No sucede otro tanto con las aguas de los océanos y de los mares, que por su inmensa extensión y enorme profundidad están llamados á desempeñar tan importante cometido en la sucesión de los fenómenos meteorológicos. Veamos, pues, lo que se sabe acerca de su temperatura.

IV

TEMPERATURA DE LAS AGUAS DEL MAR. — INSTRUMENTOS DE OBSERVACIÓN

Cuando se trata de averiguar la temperatura del agua del mar en su superficie ó á escasas profundidades, bastan los instrumentos ordinarios. Bájese desde la cubierta de un buque una cubeta que se agita algún tiempo en el agua á fin de que adquiera su temperatura; se la llena de líquido á unos 30 centímetros de la superficie, se la sube en seguida y se mide la temperatura del agua contenida en ella introduciendo un termómetro.

Cuando la capa líquida cuya temperatura se desea conocer está á poca profundidad debajo de la superficie, se recurre para sacarla á un medio tan sencillo como rápido. El aparato de que entonces se hace uso es un cilindro metálico, que en cada uno de sus dos fondos lleva una válvula que se abre de abajo á arriba. Dejando que el cilindro baje verticalmente y se hunda en el mar por su propio peso, la presión del líquido abre las dos válvulas y el agua pasa libremente al través de ellas hasta el momento en que se conoce por la longitud de la cuerda desenrollada que el cilindro ha penetrado hasta la profundidad requerida; entonces se cierran las válvulas, y así continúan mientras se sube el aparato, el cual lleva en su interior el agua sacada del punto más bajo. Metiendo entonces un termómetro en el cilindro, se conoce la temperatura buscada. Fácilmente se comprenderá que si la profundidad fuese bastante considerable para que el cilindro encontrara en su movimiento de ascensión capas de muy diferente temperatura, la del agua que contiene tendría tiempo de variar al ponerse en contacto con ellas, y no se lograría el objeto apetecido.

Para obviar este inconveniente ha habido que adoptar aparatos termométricos que al cobrar la temperatura de las aguas profundas conservan la huella de aquellas á que han estado sometidos, es decir, termómetros de máxima y de mínima; pero antes