

Las variaciones *diurnas* dependen de la rotación del globo sobre su eje, y son apreciables á muchos decímetros de profundidad; luego se presenta una capa en que cesan de manifestarse por completo, mien-

tras que las variaciones *anuales* dependientes del movimiento de traslación de la Tierra por su órbita son aun muy sensibles.

Estas últimas pueden apreciarse en nuestros climas á mas de veinte metros de pro-

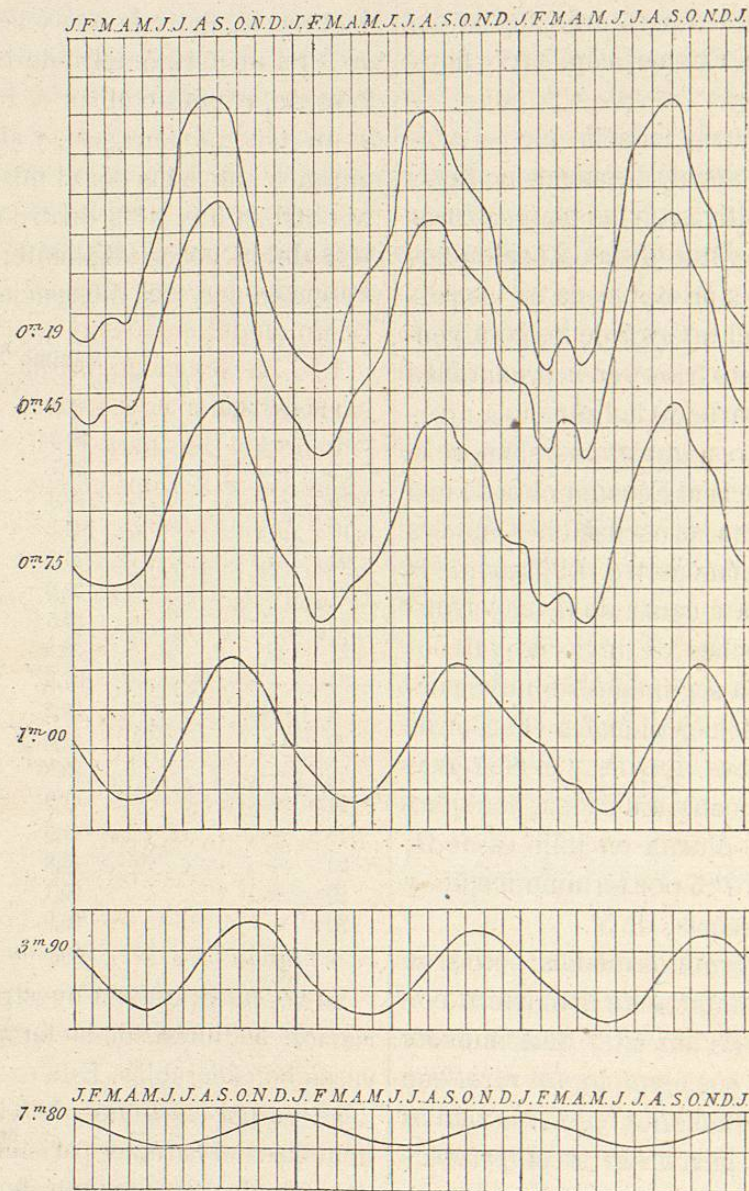


Fig. 115.—VARIACIONES ANUALES DE LA TEMPERATURA MARCADA POR TERMÓMETROS COLOCADOS A 19, 45, 75 CENTÍMETROS, 1 METRO, 3^m, 90 Y 7^m, 80 DE PROFUNDIDAD. CURVAS DE TRES AÑOS CONSECUTIVOS

fundidad; pasado este límite, se presenta una segunda capa llamada *capa invariable* de las temperaturas, porque en ella conserva el termómetro una altura casi constante durante el transcurso del año. Así, pues, deben suponerse debajo del suelo dos capas

límites, una para las variaciones diurnas y otra para las anuales del termómetro.

Se han hecho muy pocas observaciones continuadas sobre la temperatura de la tierra á diferentes profundidades, y la mayor parte de las que tenemos no ofrecen quizás

todas las garantías apetecibles. Los físicos que se han dedicado á esta clase de investigaciones han adoptado generalmente el mismo método de observación, que consiste en seguir la marcha de un termómetro cuyas bolas se introducen en el suelo á profundidades mas ó menos grandes, siendo sus tubos bastante largos para que la escala de los grados sobresalga de la superficie del suelo.

Hasta estos últimos tiempos no se ha empezado á tener en cuenta la diferencia de las temperaturas que forzosamente ha de tener el termómetro en sus dos extremos, lo cual exige una corrección tanto mayor cuanto mas pequeña es la capacidad de la bola con relación á la del tubo.

El observador mas antiguo que se ha ocupado de una manera seguida de averiguar las temperaturas de la tierra, es el comerciante Ott de Zurich, que desde 1762 hizo indagaciones por espacio de cuatro años y medio con siete termómetros colocados á diversas profundidades. Durante los años 1816 y 1817 se hizo en Leith, cerca de Edimburgo, otra serie de observaciones no menos importante que la de Zurich, y posteriormente algunos concienzudos observadores han estudiado con detención este asunto.

Uno de los primeros resultados obtenidos ha consistido en averiguar que el calor solar atraviesa el suelo, y que se acumula parcialmente en él hasta cierta profundidad en que se disipa. En los meses calurosos la temperatura del suelo *decrece* desde la superficie hasta la capa invariable. En los frios, *aumenta* con la profundidad. Estas primeras averiguaciones nos permiten deducir detalles mas precisos.

De las diversas series de observaciones hechas para averiguar la marcha anual de la temperatura debajo de la superficie del suelo, la mejor, en mi concepto, es la verificada de 1834 á 1842 en el Observatorio de Bruselas, y organizada por M. Quetelet. Escojo en esta serie tres años que ponen

en evidencia dicho efecto termométrico segun las profundidades. En la figura 112, la primera línea representa la marcha del termómetro colocado á 19 centímetros de profundidad; la segunda la del colocado á 45 centímetros, y la tercera, la del que estaba á 75. Se vé que á partir de este límite dejan de percibirse las pequeñas oscilaciones. La cuarta línea es la curva de la temperatura á un metro: la quinta es la de 3^m.90, y la sexta, la que ha dado el termómetro puesto á 7^m.80 de profundidad. Los meses de los tres años sucesivos reproducidos aquí están indicados por sus iniciales. Estos datos se resumen del modo siguiente:

1.^o La velocidad media para la trasmisión del calor á la superficie del suelo ha sido de 144 dias para 7^m.80, lo que da 3 decímetros recorridos en seis dias;

2.^o Comparando las observaciones de Paris, Estrasburgo, Zurich y Bruselas, se vé que las variaciones anuales son nulas á 25 metros de profundidad;

3.^o La velocidad con que las variaciones *diurnas* de las temperaturas se transmiten al interior de la tierra es de 3 horas próximamente para una capa de tierra de un decímetro de espesor;

4.^o Las variaciones diurnas se pueden considerar como nulas ó poco menos á la profundidad de 1^m.3, es decir, á una profundidad diez y nueve veces menor que aquella en donde terminan las variaciones anuales.

La ley de disminución de las variaciones anuales de la temperatura debajo de la superficie de la tierra puede expresarse diciendo que cuando se desciende conforme á una progresión aritmética, las amplitudes de las variaciones del termómetro bajan durante el curso del año siguiendo una progresión geométrica.

El cuadro siguiente, cuya claridad nos dispensa de toda explicación, representa la ley de las variaciones de temperatura que experimenta una misma capa de tierra en el espacio de un año:

MESES	Termómetro colocado en la superficie del suelo	Termómetro colocado á 0m ¹⁹ de profundidad	Termómetro colocado á 1m ⁰⁰ de profundidad	Termómetro colocado á 3m ⁹⁰ de profundidad	Termómetro colocado á 7m ⁸⁰ de profundidad
Enero.	2° 40	3° 24	6° 01	11° 73	12° 41
Febrero.	3 06	3 25	5 77	10 70	12 13
Marzo.	4 81	4 55	6 39	9 97	11 79
Abril.	6 94	6 11	7 13	9 68	11 44
Mayo.	12 00	10 25	9 99	9 91	11 17
Junio.	15 87	13 84	13 18	10 75	11 02
Julio.	16 94	14 95	14 90	11 85	11 12
Agosto.	16 71	15 12	15 73	13 00	11 41
Setiembre.	14 15	13 22	15 08	13 81	11 78
Octubre.	9 96	10 21	13 27	14 06	12 11
Noviembre.	5 69	6 48	10 06	13 68	12 40
Diciembre.	3 37	4 66	8 40	12 76	12 47
Año entero.	9° 33	8° 82	10° 49	11° 82	11° 77

Se puede deducir la temperatura media del año de las del suelo, empleando al efecto cualquiera de los tres métodos siguientes:

Por una sola observacion, tomando la temperatura de la tierra á unos veinte metros, y corrigiéndola de la elevacion de temperatura correspondiente á esta profundidad, que puede calcularse en un grado por cada 35 metros;

Por dos observaciones hechas con seis meses de intervalo, tomando la temperatura á algunos metros de profundidad solamente;

O por las observaciones de cuatro meses con intervalos iguales, consultando termómetros colocados al aire libre ó en la superficie del suelo.

De estas observaciones resulta que el máximo de temperatura se presenta hácia la superficie del suelo un poco antes de la una de la tarde; á 2 decímetros de profundidad hay un retraso de $5\frac{1}{4}$; á 4 decímetros, este es de $12\frac{1}{2}$, y á 6, de $17\frac{1}{2}$ próximamente.

Lo cual da por término medio $2\frac{1}{2}$, $4\frac{1}{2}$ para la duracion de la trasmision del máximo de temperatura á través de una capa de un decímetro de espesor. La capa en que los máximos de aquella tendrían lugar en los mismos momentos que en la superficie del suelo estaria á 8 decímetros y medio de profundidad.

Las observaciones hechas por Bravais y

Martins en 1841, en la cima del Faulhorn, han dado un resultado análogo á 2,683 metros sobre el nivel del mar. «Nuestras observaciones sobre la temperatura del suelo, dice Bravais, me han demostrado que los máximos y mínimos de calor diurno invierten unas 2 horas 54 minutos en atravesar una capa de terreno de un decímetro de espesor. Es notable la correspondencia entre este resultado y los obtenidos por M. Quetelet en el Observatorio de Bruselas.»

Agreguemos á estas investigaciones las que M. Becquerel viene practicando muchos años há en el Jardin de Plantas acerca de la distribucion del calor y de sus variaciones en el suelo parisiense.

Arago admitia que la temperatura de las cuevas del Observatorio, situadas á 28 metros debajo de la superficie del suelo, y que es de $11^{\circ}7$, representa la de la capa invariable, puesto que no habia sufrido ningun cambio en tres cuartos de siglo; y en esta deducción basó las determinaciones de temperatura que hizo en los pozos artesianos.

El termómetro eléctrico permite estudiar con precision la distribucion del calor en el interior de la tierra, las anomalías que experimenta y la posibilidad de reconocer con exactitud la posicion de la capa invariable.

Con este objeto se abrió en 1863, en el Jardin de Plantas, un pozo artesiano, al

cual se bajó un cable termométrico compuesto de otros muchos y medido en un tronco de madera hueco interiormente y embreado. Gracias á los cables parciales, se pudo observar sin interrupcion desde el suelo hasta una profundidad de 36 metros. Llenóse el pozo en parte de hormigon para evitar el contacto del tronco, y por consiguiente del cable, con las aguas procedentes de las filtraciones, y así se obtuvo la temperatura con tal exactitud que solo pudo haber un error de un décimo de grado, cuando mas.

La temperatura media observada fué de

10° 61	á	1 metro	12° 05	á	21 metros
11 76	á	6 —	12 27	á	26 —
11 76	á	11 —	12 30	á	31 —
11 78	á	16 —	12 42	á	36 —

Tal es la marcha de la temperatura en el interior de la tierra (1). Los insectos, los

(1) Entre estas ocho estaciones espaciadas de cinco en cinco metros, hay tres, que son las de 21, 31 y 36, cuyas temperaturas no sufren variaciones durante el trascurso del año, pues con respecto á este punto ofrecen el mismo carácter que la capa invariable, situada en nuestros climas á unos 25 metros de profundidad. Hállanse dichas estaciones, la primera en la caliza, y las otras dos en una arcilla arenosa.

En cuanto á las situadas á 1 metro, 6 y 26, las temperaturas están sometidas á las variaciones siguientes:

1.° A un metro de profundidad, la temperatura media va aumentando del invierno al verano, como en el aire. La diferencia entre el máximo y el mínimo es de $6^{\circ}92$, al paso que en el aire llega á $18^{\circ}17$.

2.° A los 6 metros, las variaciones siguen una marcha inversa, por cuanto el máximo tiene lugar en invierno; la diferencia viene á ser de 1 grado.

3.° A los 11 metros, la variacion, consistente en $0^{\circ}3$, sigue indicando que el máximo está en invierno y el mínimo entre la primavera y el verano.

4.° A los 16 metros, la marcha de la temperatura es análoga á la del aire, y la amplitud de la variacion de $0^{\circ}25$.

5.° Por último, á los 25 metros, la marcha es tambien la misma, y la variacion de $0^{\circ}53$.

Ahora bien, creciendo la temperatura $0^{\circ}12$, desde los 21 á los 36 metros, y habiendo sido constante en cada una de estas estaciones durante los años 1864, 1865 y 1866, es permitido decir que el aumento de temperatura consiste en 1 grado por cada 40 metros próximamente. Si empieza á calcularse dicho aumento á partir de los 21 metros donde se encuentra la primera capa constante, se obtiene el mismo resultado.

gusanos, las raices de los árboles la conocen, y tiene además una parte especial en la accion general de las estaciones en la superficie del globo.

Al tratar de la temperatura del suelo y de la media de un lugar, es frecuente ocuparse del termómetro tipo de las cuevas del Observatorio de París, que desde hace mucho tiempo es una de las bases fijas de la graduacion de los termómetros. Digamos su historia en pocas palabras.

La temperatura de los subterráneos situados en la capa invariable de que acabamos de hablar, da la temperatura media de la atmósfera exterior tomada en la superficie, corregida del ligero aumento debido á la profundidad. Debajo del cuerpo de edificio del Observatorio de París hay subterráneos de esta clase, los cuales se hallan á

Desde los 6 hasta los 11 metros, las temperaturas no sufren las mismas variaciones que en el aire, sino que los máximos y mínimos se presentan en sentido inverso, al paso que á 16 y 26 metros siguen los mismos periodos que en aquel fluido.

Semejante estado de cosas prueba que en ciertas localidades hay debajo del suelo capas que están en relacion con el aire de cuyas vicisitudes participan, aun cuando en grado mucho menor. Esta relacion depende de las filtraciones de las aguas pluviales sometidas á una marcha regular, las cuales ocasionan una perturbacion en la distribucion del calor.

Y en efecto, las aguas meteóricas que caen sobre el suelo penetran en el interior de la tierra, por la cual se filtran obedeciendo á la accion de la gravedad, pasando á acumularse en las capas impermeables donde forman otras capas de agua subterráneas. Por lo que respecta al pozo perforado en el Jardin de Plantas, la carta hidrológica demuestra que á los 16 metros de profundidad se llega ya á la capa de agua que alimenta los pozos ordinarios de dicho Jardin. Esta capa corre sin cesar hácia el Sena y recibe directamente las aguas atmosféricas, de suerte que debe participar de sus variaciones de temperatura. A la profundidad de 26 metros se encuentra una segunda capa que nace en la arcilla plástica. Se concibe, pues, que las variaciones en cuestion puedan llegar á $0^{\circ}53$ á la citada profundidad de 26 metros. Las capas subterráneas alimentadas directamente por las aguas procedentes de la superficie deben reproducir, aunque atenuándolas, las variaciones de temperatura de estas últimas. Dichas variaciones serán tanto mas sensibles cuanto menor sea la profundidad á que se encuentren las capas de agua y mas fácil y rápida su corriente.

28 metros (86 piés) de profundidad, resguardados además de las influencias exteriores por el macizo edificio que los domina. Hace justamente dos siglos que se observa en ellos el estado del barómetro, cuyo estado permanece constantemente á $11^{\circ}, 7$.

El 24 de setiembre de 1671 se colocó por vez primera en los subterráneos del Observatorio un termómetro que quedó en observacion por algun tiempo: al dia siguiente, 25, se anotó cuidadosamente la altura que indicaba. Durante los meses de octubre y noviembre, se bajó muchas veces á los subterráneos y se encontró siempre la temperatura á la misma elevacion: aquel termómetro habia sido construido por el abate Mariotte.

Tales son las mas antiguas observaciones hechas con respecto á la temperatura de las cuevas del Observatorio.

La constancia de la misma se admitió desde luego como un hecho irrefutable. Desde fines del siglo xvii, adoptó La Hire esta temperatura como uno de los puntos fijos de su termómetro, marcándola á los 48° en su escala calorífica.

Reaumur dió por primera vez, en una Memoria publicada en 1730, una apreciacion de esta temperatura que puede referirse á los grados termométricos comparables.

En 1783, Lavoisier construyó por sí mismo un nuevo termómetro que fué instalado en el Observatorio, bajo la direccion de Cassini IV. Para impedir que las corrientes de aire pudieran influir en la temperatura del recinto donde debian verificarse en lo sucesivo las observaciones termométricas, Cassini adoptó el partido de tapiar á cal y canto todos los pasadizos que iban á parar á la antigua mesa de los termómetros, menos uno que se cerraba con una buena puerta. Resultó así un vasto gabinete que formaba una galería de 33 metros de longitud por 2 de anchura y $2^{\circ}, 66$ de altura, con la cual comunicaban otras tres cuevas

sin salida, abiertas en la roca, de cerca de un metro cuadrado por $2^{\circ}, 66$ de elevacion, destinadas á contener las brújulas y otros muchos instrumentos de diferentes géneros.

El termómetro de Lavoisier está formado por un receptáculo de unos $0^{\circ}, 07$ de diámetro, con un tubo casi capilar, sobrepuesto, de $0^{\circ}, 57$ de longitud perfectamente calibrado; se graduó por comparacion con un termómetro tipo; cada grado de la division Reaumur ocupa $0^{\circ}, 109$ de altura, y por consiguiente, se puede distinguir y apreciar con facilidad medio céntimo de grado. Hállase colocado este instrumento en un bocal lleno de arena cuarzosa, muy fina y muy seca, que rodea la bola y aun el tubo de aquel hasta $0^{\circ}, 22$ de término á que se mantiene el mercurio en los subterráneos. La permanencia de los dos observadores en el gabinete por espacio de ocho ó diez minutos no causa variacion alguna en la altura del mercurio. Las divisiones termométricas están grabadas en un cristal colocado junto al tubo. Este termómetro de Lavoisier, que es el termómetro tipo de las cuevas del Observatorio, se ha colocado sobre un pilar aislado, en frente de la antigua mesa de los termómetros.

Desde 1782 á 1817 este termómetro se elevó de $11^{\circ}, 417$ á $12^{\circ}, 086$. Arago suponía que este ligero aumento se debía al instrumento mismo, y para comprobar esta conjetura, rogó á Gay-Lussac que le hiciera un termómetro. Aquel sábio físico accedió á sus deseos, y graduó con el mayor cuidado un termómetro que se puso junto al de Lavoisier y con las mismas precauciones. Entonces se comprobó un error de $+ 0^{\circ}, 380$ en la graduacion del antiguo á causa del cambio de lugar del cero de su escala. (Con el tiempo casi todos los termómetros sufren alteraciones; el cero, punto del hielo fundente, sube á lo largo de la escala graduada, como si la bola que contiene el mercurio se estrechase.) Debía reducirse la temperatura de 1817 á $11^{\circ}, 706$ en lugar de $12^{\circ}, 086$, y enton-

ces la diferencia con la de la superficie ($10^{\circ}, 7$) ya no era sino de 1 grado, exceso relacionado con el aumento de la temperatura segun la profundidad.

He bajado á estas cuevas memorables el

24 de setiembre de 1871, dos siglos, dia por dia, despues de haberse hecho la primera observacion termométrica. Se han cerrado las galerías que conducian desde ellas á las catacumbas de París; pero el silencio se-

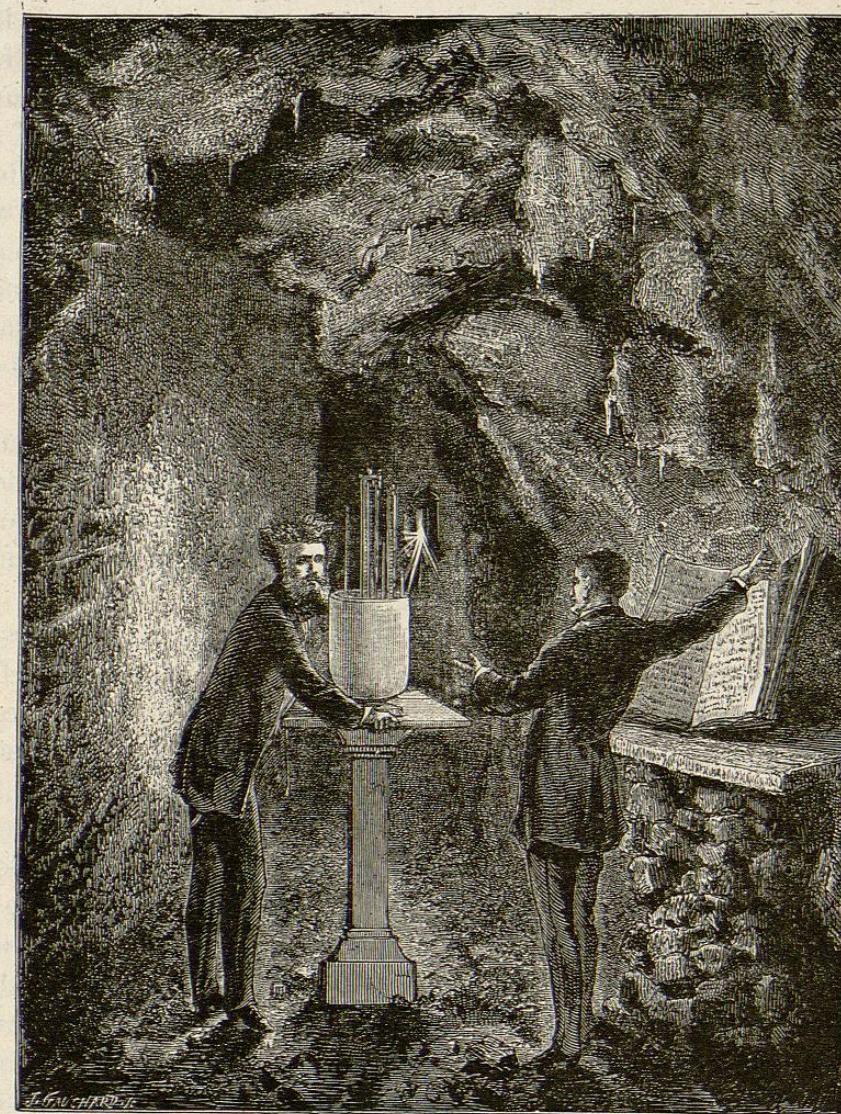


Fig. 116.—TERMÓMETRO DE LAS CUEVAS DEL OBSERVATORIO

pulcral que reina en aquellas profundidades invita al recogimiento tan bien y quizás mejor que el osario vulgar de los cercanos esqueletos. El colosal edificio de Luis XIV que ostenta erguida la balaustrada de su azotea á 28 metros del suelo, desciende por debajo de él con sus cimientos que tienen la misma profundidad: 28 metros. En el ángulo de una de las galerías subterráneas se vé una pequeña estatua de la Virgen, colo-

cada allí en el citado año de 1671, bajo la advocacion de «Nuestra Señora de debajo de tierra,» segun rezan unos versos grabados en su pedestal. Desde allí se llega á la galería de los termómetros, por cuyo ambiente circula el recuerdo silencioso de los sábios que la han recorrido, de los Cassini, Reaumur, Lavoisier, Laplace, Humboldt, Arago... Las borrascas de la atmósfera y las de la humanidad no llegan jamás