

ros. En tales casos he visto más de una vez que la nieve desaparecía con extraordinaria rapidez sin mojar el suelo, porque se transformaba inmediatamente en vapores, y la leña puesta al sol se deshela muy de prisa. Si estos fenómenos ocurren en la superficie del suelo, en donde el higrómetro experimenta la influencia de la evaporación inmediata de la tierra, deberían ser mucho más marcados si se los observara á gran altura desde un globo. Sin embargo, no hay que olvidar que á estos días tan secos suceden otros días y hasta semanas enteras en que las cumbres de las montañas están veladas por densas nieblas, mientras que en el llano el higrómetro se mantiene distante

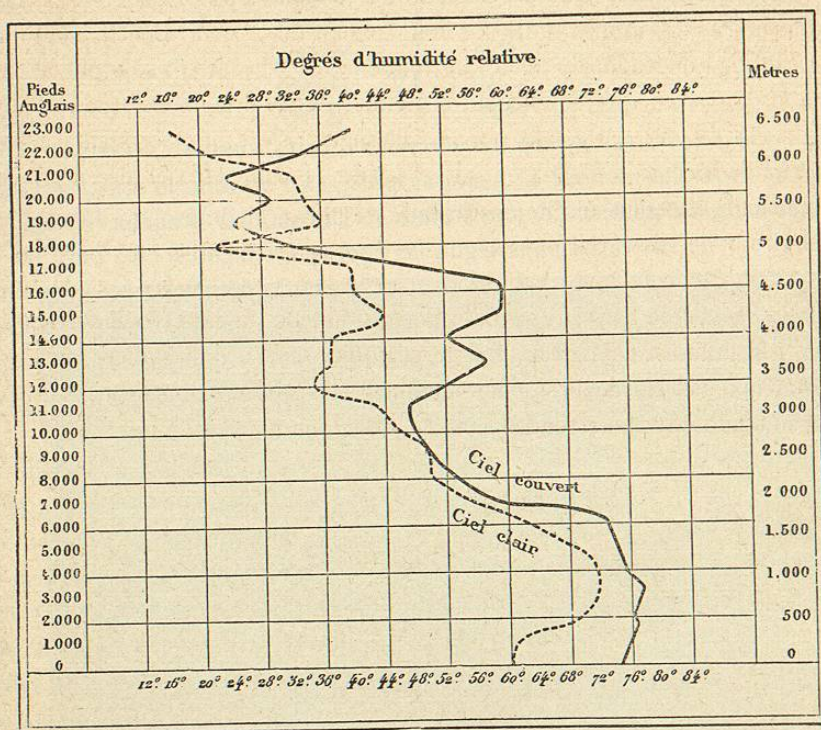


Fig. 91. — Variaciones de la humedad relativa del aire con la altura, según las observaciones aeronáuticas de M. Glaisher

del punto de saturación. Si tenemos en cuenta que todas las observaciones de Saussure y de Deluc, excepto su permanencia en la garganta del Gigante, han sido hechas durante sus rápidas excursiones por las montañas, para las cuales se escoge siempre un buen tiempo, no extrañaremos que sus resultados disten mucho del promedio de lo que en realidad debían ser. Si analizamos los de Humboldt, no debe olvidarse que su estación inferior estaba á orillas del mar, mientras que la superior, situada en el interior de las tierras, se hallaba expuesta á la influencia de los vientos del Este, que por atravesar dilatados continentes suelen ser muy secos. De Saussure hizo una serie de observaciones durante su residencia de diez y seis días en la garganta del Gigante, á 3,450 metros de altura, mientras que otras personas observaban simultáneamente los instrumentos en Ginebra y en el valle de Chamounix. Por desgracia, el creador de la higrimetría ha excluido de sus cálculos todos los días en que estuvo rodeado de nubes, y por consiguiente el promedio que obtuvo es muy diferente del promedio real.,

Kaemtz deduce de todas estas consideraciones, que "en suma, el aire de las capas superiores es tan húmedo como el de las inferiores., Con todo, no debe olvidarse que

estos fenómenos están sujetos á toda clase de vicisitudes según los años y las estaciones, y las diferencias que de una época á otra se notan en el estado higrométrico de dos estaciones situadas á altitudes desiguales parecen tener por causa principal otras variaciones correspondientes en la ley de descenso de la temperatura con la altura.

Además, no puede negarse que con frecuencia es muy difícil la interpretación de las observaciones higrométricas. A veces sucede que el higrómetro señala tiempo seco cuando el cielo está nublado ó llueve; y por el contrario, la humedad relativa marcada por los instrumentos puede ser muy grande aunque haga buen tiempo. Y es que, bajo la influencia de los vientos y de las corrientes ascendentes ó descendentes, las distintas capas atmosféricas distan mucho de ser homogéneas en lo que respecta á la temperatura y á la cantidad de vapor de agua que contiene. El higrómetro sólo puede indicar el estado de las capas en que se encuentra metido. Así lo prueba con toda evidencia el diagrama de la figura 91, trazado por M. Glaisher. Este sabio aeronauta asegura no haber efectuado ascensión alguna en que el grado de humedad del aire no haya variado notablemente á medida que remontaba ó descendía.

"Es imposible decir *á priori*, añade, que al salir de una capa seca no se encontrará á algunos miles de pies más arriba una capa saturada, y aun parece que el estado ordinario de la atmósfera consiste en la superposición de un número indeterminado de capas, ora frías, ora secas y agrupadas de cualquier modo. A pesar de esto, se puede llegar á fijar una especie de promedio separando las observaciones hechas cuando el cielo está nublado de las efectuadas cuando está sereno.

CAPÍTULO VI

LOS HIDROMETEOROS

I

EL ROCÍO. — LA ESCARCHA

Nadie ignora lo que es el *rocío*, ese depósito más ó menos abundante de gotitas acuosas que se ve por la mañana en el suelo, en todos los objetos puestos al aire libre y principalmente en la superficie de los vegetales, hierbas, hojas, etc. Antes de dar su explicación ó su teoría, digamos en qué circunstancias se forma y cuáles son las condiciones de su mayor ó menor abundancia.

Por lo general, el rocío se deposita durante la noche. El fenómeno empieza desde la puesta del Sol, y aun sucede que la hierba está ya un tanto húmeda antes que el astro transponga enteramente el horizonte, en las partes del suelo que están á la sombra; pero es más intenso en la segunda mitad de la noche, y las gotitas de que se cubren los objetos van aumentando en tamaño hasta después de la salida del Sol.

Dos circunstancias favorecen en particular la formación del rocío: la serenidad del cielo y la calma del aire. Si no hace viento, se observan indicios de rocío aunque el cielo esté nublado, así como cuando éste se halla despejado, aunque la atmósfera esté agitada por el viento. Pero cuando se reunen estas dos condiciones desfavorables, ja-

más se ve rocío. Si el cielo llega á encapotarse cuando el rocío se deposita, al punto cesa de formarse, y hasta el que mojaba ya las plantas disminuye y acaba por desaparecer, sucediendo lo propio si un viento algo fuerte sucede á la calma de la atmósfera.

Adviértese sin embargo que un ligero movimiento del aire es más bien propicio á la formación del rocío. Se ha notado que si á una noche serena sucede una mañana brumosa, el rocío es muy abundante, y que lo es más aún cuando reinan vientos flojos del Oeste y del Sur, es decir, los más húmedos de nuestros climas. Esta influencia de la dirección del viento en la producción del fenómeno es general, y en cada país los vientos del mar son los que la favorecen. Así es que en Egipto no hay rocío cuando no soplan los del Norte.

Como se ve, hasta ahora quedan reducidas á dos todas las circunstancias que dan lugar á una precipitación abundante de rocío: el enfriamiento del suelo y de las capas de aire que están en contacto con él, y una cantidad suficiente de vapor de agua en dichas capas, y por consiguiente, un estado higrométrico próximo á la saturación. Como ambas circunstancias se encuentran reunidas principalmente en la primavera y en el otoño, no es de extrañar que las noches de estas dos estaciones, y en especial las de la segunda, se distinguan por la abundancia de los depósitos de rocío. Compréndese también por qué es más intenso el fenómeno en la proximidad del mar, de las grandes extensiones de agua, de los lagos y de los ríos, mientras que casi es nulo en el interior de los grandes continentes; en los arenales el aire es tan seco, que á pesar de la baja temperatura de las noches, siempre serenas, el rocío es cosa desconocida.

En igualdad de circunstancias, se deposita con preferencia en los cuerpos no resguardados de la radiación nocturna. La naturaleza del cuerpo influye asimismo mucho en la abundancia del rocío que en él se forma. La observación prueba que los vegetales se mojan más que la tierra; los cuerpos malos conductores del calor, divididos en filamentos ó copos, más que los buenos conductores ó en masas compactas; el estado de la superficie tiene también marcada influencia, y cuanto más rugosa, más se cubre de rocío. De todos los cuerpos conocidos, los metales bruñidos son los que menos lo atraen, y aun se creía que no los mojaba nunca. Mas como Wells pusiera al aire libre, en las más favorables circunstancias, espejos de oro, plata, cobre, estaño, platino, hierro, acero, cinc y plomo, notó que su superficie se cubría de una ligera capa de humedad, siquiera no observase las tenues gotitas que se depositan en el vidrio y en la hierba en los primeros momentos de la precipitación acuosa. Por este concepto, hay una diferencia notable entre los varios metales. El platino, el hierro, el cinc y el acero se cubren á veces de rocío, mientras que el oro, el cobre, el estaño y la plata se quedan perfectamente secos en las mismas condiciones.

Por lo que atañe al estado mecánico de los cuerpos, ya hemos dicho que también ejerce gran influencia. Las virutas pequeñas absorben más rocío que el pedazo de madera de que han salido; el algodón en rama más que un peso igual de algodón hilado, y más que el mismo peso de lana cuyos filamentos son menos finos. El plumón del cisne es, de todos los cuerpos, el que con más abundancia se cubre de rocío.

Por lo que respecta á la situación del cuerpo puesto al aire libre durante la noche, he aquí cómo se puede formular la influencia de los abrigos que le resguardan: "Por lo general, todo cuanto tiende á disminuir la extensión de la porción de cielo visible desde el sitio que el cuerpo ocupa, disminuye la cantidad de rocío de que este cuerpo queda cubierto." Los experimentos hechos por Wells y variados de mil modos demuestran la exactitud de esta ley. Mencionemos algunos.

"En una noche tranquila y despejada, dice, puse diez granos de lana en una tablita pintada de metro y medio de largo, dos tercios de metro de ancho y dos centímetros de grueso, que estaba sostenida á más de un metro sobre la hierba por cuatro estacas muy delgadas y de igual altura; al mismo tiempo até á la cara inferior de la tabla, pero sin apretarlos demasiado, otros diez granos de lana. Así pues, ambos copos estaban á dos centímetros de distancia y expuestos de igual modo á la acción del aire. Pues bien, á la mañana siguiente vi que el copo superior tenía 14 granos de humedad al paso que el inferior sólo había atraído 4. Otra noche estas cantidades de humedad fueron respectivamente 19 y 6 granos; otra, 11 y 2, y otra, 20 y 4; siendo siempre la lana atada á la cara inferior de la tabla la que adquiriría menos peso."

Notáronse diferencias parecidas, aunque no tan grandes, poniendo dos copos de lana semejantes, uno sobre la hierba, enteramente descubierto, y el otro sobre la hierba también, pero debajo de la tabla del experimento anterior. La porción visible del cielo desde ésta era mucho mayor que antes. Para demostrar que la posición vertical del abrigo sobre el cuerpo no era la causa que le preservaba del rocío, en la hipótesis de que éste cayese á manera de lluvia, Wells hizo la prueba siguiente: puso sobre la hierba los dos copos de lana á conveniente distancia, y luego colocó verticalmente sobre uno de ellos un cilindro de barro cocido abierto por sus dos extremos, de modo que el copo ocupara el centro de su base inferior. En el copo descubierto, el aumento de peso fué de 16 granos; en el otro, solamente de 2. Sin embargo, no hacía ningún viento durante el experimento, de suerte que si el rocío hubiese caído verticalmente, cada copo habría debido recibir la misma cantidad de él.

Estudiadas y comprobadas así con numerosos experimentos todas las circunstancias, todas las condiciones de la producción del rocío, restaba conocer su vínculo común. Así lo hizo Wells formulando esta ley: *La temperatura de un cuerpo cubierto de rocío es siempre más baja que la del aire*, ley que completó con las siguientes: Cuando no se forma rocío de noche, consiste en que los cuerpos están á una temperatura tan elevada por lo menos como la de la capa de aire que hay sobre ellos. Cuando en una misma noche se colocan muchos termómetros en posiciones diferentes, los que están en los sitios en que más rocío se deposita son los que bajan más. Los cuerpos en que éste se forma más fácilmente son los que más pronto se enfrían estando el cielo sereno. Por último probó que "*el enfriamiento de los cuerpos precede constantemente á la aparición del rocío.*" De aquí dedujo Wells la explicación científica del fenómeno y de todas las circunstancias que se reúnen para su formación y desarrollo.

Resumamos en sus caracteres esenciales esta *teoría del rocío* que ha obtenido el asentimiento de todos los físicos y que han confirmado completamente todas las observaciones y experimentos hechos después.

Como los cuerpos situados en la superficie del suelo y el suelo mismo no reciben durante la noche el calor del Sol, se enfrían por vía de radiación y su temperatura es menor que la de las capas de aire que hay sobre ellos. Este enfriamiento es tanto más intenso cuanto más sereno está el cielo y más despejado de nubes y de brumas, y cuanto más dilatada es la parte del cielo, visible desde el sitio en que se encuentran los cuerpos. Si el cuerpo es mal conductor del calor, ó si entre el cuerpo y él hay interpuesto un mal conductor, el enfriamiento es más considerable. Y en efecto, en estas condiciones el descenso de temperatura originado por la radiación hacia el espacio no está compensado sino por la radiación de la atmósfera hacia la tierra, la cual es comparativamente muy débil. La capa de aire en contacto con el suelo enfriado se enfría á su

vez, y si la cantidad de vapor de agua que contiene excede de la que corresponde á la tensión máxima para la temperatura del momento, se satura y abandona á la superficie del cuerpo una parte de su agua de saturación. Las gotitas líquidas se depositan produciendo el rocío, del propio modo que las paredes de un vaso se cubren de vaho no bien se vierte en él un líquido más frío que el aire. El fenómeno continúa, y hasta es más marcado, mientras la temperatura del suelo baja y no se presenta ninguna causa exterior que intercepte la radiación.

Fácilmente se comprende por qué el depósito de rocío es tanto más abundante cuanto más despejado está el cielo y más tranquilo el aire. Las nubes hacen las veces de pantallas, y la radiación de su propio calor compensa la del suelo hacia el espacio; del propio modo impide ó aminora el enfriamiento nocturno. Todo abrigo produce un efecto análogo. No menos fácilmente se explica la acción de los vientos; como llevan de continuo á los cuerpos nuevas capas de aire que les ceden su calor, atenúan el enfriamiento y por lo tanto se oponen á la precipitación del rocío. El escaso poder radiante de los metales, sobre todo de los metales bruñidos, y su gran conductibilidad, hace que su enfriamiento sea menos pronto y menos intenso, y explica así por qué son los cuerpos que más difícilmente se cubren de rocío.

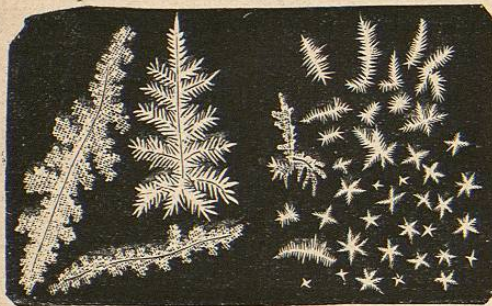


Fig. 92.—Cristales de escarcha

Wells publicó su teoría en 1818. Anteriormente á él, se habían discurrido varias hipótesis para explicar el fenómeno, de las cuales vamos á decir una palabra. Aristóteles, que había observado el hecho de la formación del rocío durante las noches tranquilas y serenas, su abundancia menor en las montañas que en los llanos, la influencia de tal ó cual dirección del viento para su formación en localidades situadas en diferentes puntos, consideraba el rocío como una especie particular de lluvia que tenía origen en las capas inferiores del aire. Esta opinión se reprodujo el siglo pasado, y es poco más ó menos la explicación que Leslie daba del rocío; pero está en contradicción con varios experimentos de Wells, y en especial con el de un copo de lana que, á pesar de estar debajo de una tabla, aparece mojado, y con el hecho de que no se cubran de rocío las placas de metal puestas al aire libre.

El físico alemán Gersten publicó en Francfort, en 1733, una disertación en la que atribuye el rocío á la condensación de los vapores ó exhalaciones que surgen de la tierra y de los vegetales; en su concepto no es otra cosa sino la transpiración de las hojas de las plantas, la condensación de los vapores producidos por su savia. Muschenbroek adoptó la teoría de Gersten, pero admitiendo tres clases de rocío: una, la más densa, se eleva de los ríos, lagos y pantanos; otra sale de las plantas y de la tierra, y la tercera cae de lo alto. Dufay participó también de las ideas del físico alemán. Los experimentos de estos hombres de ciencia les dieron á conocer varios hechos curiosos que hemos mencionado en parte, y cuyo estudio profundo y riguroso, emprendido de nuevo por Wells, permitió á este físico formular la verdadera teoría.

Cuando, en una noche tranquila y serena, la temperatura del suelo desciende bajo 0°, el vapor del aire no se deposita ya en forma de agua líquida, sino en la de cristaltitos blancos y brillantes: ya no es rocío, sino *helada blanca*, ó rocío helado, cuya

formación está sujeta á las mismas leyes que las del rocío y que se explica del mismo modo. Hay sin embargo que notar que la congelación ó la cristalización del vapor de agua condensado ocurre directamente en la superficie de los cuerpos enfriados, y sin que haya habido previa formación de rocío. En efecto, si el agua no se congelase sino después de su reunión en gotitas, lo que se observaría serían esferillas de hielo transparente, pero no la aglomeración cristalina opaca á la que se da el nombre de helada blanca (1).

Este fenómeno es más frecuente en las mañanas de otoño y de primavera. En nuestros climas, las heladas blancas aparecen hasta en junio y desde los primeros días de septiembre, pero son un poco más fuertes en abril, mayo y octubre, siendo particularmente temidas de los labradores en los dos primeros de estos meses, á causa de sus perniciosos efectos en los retoños de las plantas, en las yemas y en las flores de los árboles frutales. En las huertas y jardines se las preserva de ellas con abrigos que resguardan á los vegetales de la intensidad de la radiación nocturna (2).

En el interior de las habitaciones se observa un fenómeno análogo al depósito de rocío, y que dimana de causas semejantes. Después de una noche fresca, se encuentran por la mañana los vidrios de los balcones cubiertos por dentro de abundante vaho. La tenue capa de vidrio se ha enfriado por radiación y el vapor de agua del aire del cuarto se ha condensado en su superficie. En invierno el descenso de temperatura es bastante grande para que el vapor se deposite en los vidrios en estado cris-

talizado. En el interior de las habitaciones se observa un fenómeno análogo al depósito de rocío, y que dimana de causas semejantes. Después de una noche fresca, se encuentran por la mañana los vidrios de los balcones cubiertos por dentro de abundante vaho. La tenue capa de vidrio se ha enfriado por radiación y el vapor de agua del aire del cuarto se ha condensado en su superficie. En invierno el descenso de temperatura es bastante grande para que el vapor se deposite en los vidrios en estado cris-

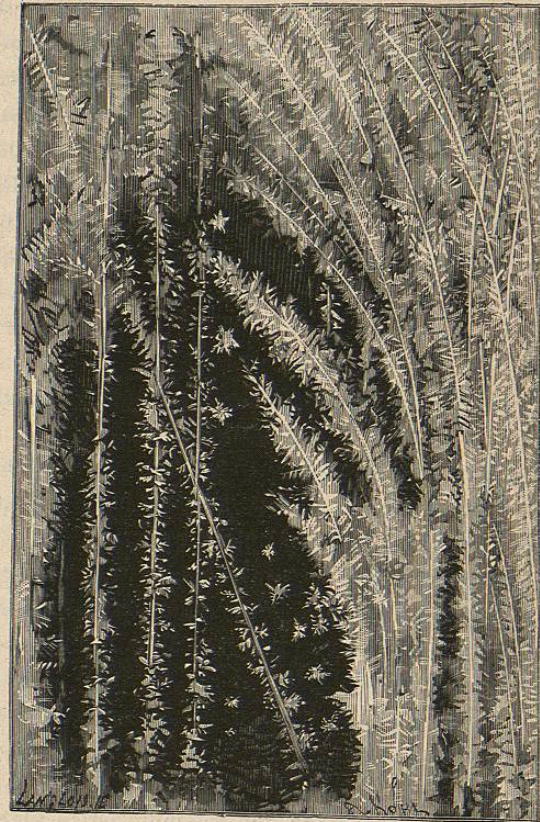


Fig. 93.—Cristalizaciones arborescentes de los vidrios en el interior de las habitaciones

(1) Obsérvese con frecuencia que la helada blanca se forma poco tiempo antes de la salida del Sol, es decir, como es natural, en el momento del minimum diurno de temperatura. Pero, antes de este instante, ¿no habrá habido depósito previo de rocío? Parécenos probable que los dos fenómenos pueden sucederse y quizás sobreponerse, ya porque el rocío coexista con los cristales de escarcha ó ya porque cada gotita tenue se congele cristalizándose espontáneamente.

(2) Tyndall, en su obra *El Calor*, menciona acerca de este asunto el párrafo siguiente del *Ensayo* de Wells: "En mi orgullo de hombre medianamente científico, me he sonreído á veces de los medios empleados frecuentemente por los hortelanos para guarecer del frío las plantas delicadas, porque me parecía imposible que una delgada esterilla ó cualquier otro abrigo de este género pudiera impedir que bajaran hasta la temperatura de la atmósfera, única que en mi concepto las exponía á sufrir perjuicios. Pero cuando supe que en las noches tranquilas y serenas los cuerpos de la superficie de la tierra se ponen más fríos que la atmósfera por radiar su calor hacia el cielo, encontré en esta sola causa la razón de una costumbre que antes me había parecido ineficaz ó inútil."