

He aquí en substancia en qué consiste:

Se pueden distinguir en ella dos partes principales: una que tiene por objeto el explicar el origen del frío intenso necesario para la formación de los granizos; otra, el hacer ver cómo éstos, después de formados, se sostienen en el aire el tiempo suficiente para adquirir el grosor enorme que con tanta frecuencia se ha observado en ellos. La primera causa, la del frío, es una evaporación activa; la segunda, la de la suspensión y crecimiento de los granizos, es la electricidad de las nubes tempestuosas. Reuniendo Volta á ambas causas las circunstancias conocidas del origen de las granizadas, se ha esforzado en dar cuenta de todos los detalles del fenómeno. Veamos cómo ha resuelto un problema tan complejo, y en seguida examinaremos si la solución es ó no admisible.

Supongamos que en la región media de las nubes se forma un nubarrón expuesto durante un día caluroso de verano á la radiación solar. Según las repetidas observaciones de Deluc y de Saussure, el aire que se halla encima de dicho nubarrón se halla extraordinariamente seco en aquella época y en tal momento del día. La evaporación de la superficie superior de la nube, favorecida por la doble condición de la intensidad considerable de los rayos del sol y de la sequía del medio ambiente, será por tanto muy activa; pero, según Volta, la favorece además otra causa, y aquí empieza la intervención de la electricidad. Considerando las nubes como formadas de vesículas huecas de envolvente líquida, se hallan casi en estado elástico, y la causa más insignificante tiende á reducir las á él: ahora bien, las nubes tempestuosas están cargadas de electricidad y los experimentos de los físicos demuestran que la evaporación de un líquido electrizado es más rápida que la de uno en estado neutro.

Así pues, por todas estas razones hay evaporación rápida y abundante, así como un enfriamiento considerable, que llegando á las partículas no evaporadas, las congela y las transforma en copos de nieve, embriones de los futuros granizos.

Una vez formados los núcleos de éstos, faltaba explicar su crecimiento. Hasta ahora sólo se trata de un copo de nieve, ó si se quiere, de un grano de *gresil*, que los granizos tienen casi siempre en su centro, según hemos visto. Anteriormente á Volta, se había atribuido el aumento de dimensiones de los granizos á las congelaciones sucesivas de las partes acuosas que encontraban en su caída, congelaciones ocasionadas por la baja temperatura del núcleo. Pero es difícil, es imposible admitir que un granizo que al principio apenas tiene el tamaño de un guisante, pueda crecer hasta adquirir el volumen de una nuez, de un huevo de gallina, durante el tiempo necesariamente limitado de su caída. Como lo observa Arago, "las nubes tempestuosas están casi siempre muy bajas, y el granizo lanzado por ellas no invierte seguramente un minuto en llegar al suelo. Por esto ha creído Volta necesario suponer que el granizo ya formado permanece en suspensión en el espacio no sólo cinco minutos, sino diez, quince, y quizás horas enteras.", Pero ¿cuál es la causa de esta suspensión prolongada de unos cuerpos cuyo peso los debería precipitar á la superficie del suelo? He la aquí:

Volta la basaba en la existencia simultánea de dos nubes superpuestas; la más baja es la nube tempestuosa de que ya hemos hablado, y que dicho físico supone haberse formado la primera. La otra es el producto del vapor acumulado que la evaporación de la nube inferior ha empujado á las altas regiones del aire; la temperatura de estas regiones condensa dicho vapor tan luego como el aire está saturado de él, y da así origen á la segunda nube. En el artículo anterior hemos visto que la observación confirma, en parte al menos, la formación de esta nueva nube tempestuosa; y á menudo se han visto esos estratos de nubes superpuestas que, según Volta, se cargan de electricidades

contrarias, aconteciendo además, conforme lo ha observado el ilustre físico con un electrómetro atmosférico, que el tránsito de un estado eléctrico al opuesto, del positivo al negativo y recíprocamente, se efectúa en una misma nube en un espacio de tiempo muy breve, pues en un minuto ha contado hasta catorce cambios de este género. Por lo demás, las descargas frecuentes, continuas por decirlo así, que hemos visto y observado en el seno de las nubes de granizo, atestiguan sobradamente la rapidez de estas modificaciones eléctricas.

Admitidos estos puntos, Volta recurría á un experimento muy conocido en todos los gabinetes de física con el nombre de *danza de los muñecos*, y que consiste en el movimiento perpetuo de vaivén de cuerpos pequeños, como bolitas de saúco, entre dos discos metálicos, uno fijado al conductor de una máquina eléctrica y el otro puesto en comunicación con el suelo. Por idénticas causas debe resultar un movimiento análogo entre los dos estratos de las nubes tempestuosas. Los copos de nieve de la nube inferior, reducidos por el viento al estado de *gresil*, poseen la misma electricidad que esta nube, y por consiguiente son repelidos por ella y atraídos por la superior, de cuya electricidad participan al ponerse en contacto con ella. Repelidos entonces hacia abajo, caen en la nube inferior, y así sucesivamente. Estas oscilaciones duran más ó menos tiempo, durante el cual los granos de *gresil* crecen á expensas de los vapores vesiculares que condensan y congelan. En tales idas y venidas, los granizos chocan unos con otros y producen ese ruido singular, esa decrepitación precursora de la caída. Cuando llegan á ser algo voluminosos, ceden al fin á la acción de la gravedad y se precipitan á tierra.

Tal es, en resumen, la teoría del granizo de Volta. Hemos dicho que no está á cubierto de graves objeciones, y de objeciones basadas en hechos. Por ejemplo, Bellani, discípulo del mismo Volta, hizo observar desde luego que el granizo no debería formarse sino de día, pues el frío que lo produce es efecto de la evaporación causada por los rayos del sol. Pero hay muchos ejemplos de granizadas descargadas de noche, y Bellani cita en particular una ocurrida en el mes de julio de 1806, la cual empezó antes de salir el sol, habiendo caído una cantidad prodigiosa de granizo, sin que ningún indicio la hubiera anunciado la víspera en toda la extensión del horizonte.

Arago ha formulado en los siguientes términos una objeción teórica más grave. "Según dice Volta, la primera congelación de las nubes resulta de la evaporación que experimenta su superficie superior por efecto de los rayos solares. Si esta evaporación tuviese alguna analogía con la que el viento produce en la tierra, su consecuencia inmediata sería cierto grado de frío; mas parece muy difícil suponer que la luz solar ó cualquier otra causa calorífica pueda dar lugar á la evaporación de un líquido sin calentarlo antes. Pues bien, jamás se puede enfriar un cuerpo calentándolo, hágase intervenir la evaporación como se quiera.",

Pasemos por alto otras objeciones de detalle que Bellani, Arago, Kaemtz, Pouillet y otros físicos han consignado en sus obras, y consideremos la cuestión bajo otro aspecto que parece haberle pasado desapercibido á Volta. Este es el del origen de los dos grupos de nubes que supone nacidos uno de otro, al paso que la observación nos los muestra independientes, y aun animados casi siempre de movimientos opuestos. Si estuviese probado que las dos capas de nubes que producen la formación y la caída del granizo tienen un origen independiente, la primera parte de la teoría de Volta, bastante menoscabada ya por las objeciones anteriormente formuladas, se derrumbaría completamente. Pero es un hecho que resulta de las observaciones; y aun parece que las más de las veces las nubes más altas, los cirri, son las primeras que se forman á considera-

bles alturas en la atmósfera. Sin embargo, desde la ascensión aerostática efectuada en 1850 por los señores Bixio y Barral se sabe que otras nubes semejantes se pueden componer enteramente de partículas de hielo, de finas agujas cruzadas ó de copos de nieve. Kaemtz opinaba que en el seno de estas nubes, formadas en regiones de temperatura muy baja, es donde debe buscarse el origen del frío necesario para la formación de los granizos. "A medida, dice, que la capa superior de cirrus es más densa y desciende, se forman también cumulus que crecen con rapidéz extraordinaria. Entonces se reconoce que el viento presenta direcciones opuestas que resultan de la desigual distribución de las nubes en el cielo, y del descenso de temperatura que va unido á ellas.," En concepto de este meteorologista, la acción de los vientos opuestos que chocan, los torbellinos ascendentes que nacen de este choque, ejercen gran influencia en la condensación de los vapores acuosos inferiores y en el aumento de volumen de los granizos.

Lleguemos ahora á una hipótesis que tiene bastante semejanza con las conjeturas de Kaemtz, pero más terminantemente formulada. Nos referimos á la nueva teoría del granizo, propuesta por Faye, teoría basada en las consideraciones siguientes, que resumimos en sus rasgos fundamentales. Faye empieza por preguntar cuáles son los caracteres esenciales de las tormentas en que puede formarse el granizo, y deduce que se reducen á tres: 1.º fuerte tensión eléctrica de las nubes, que en tiempo normal se hallan en estado neutro; 2.º formación de masas enormes de hielo en nubes situadas á una altitud en la que por lo común reina una temperatura superior á cero; 3.º rapidéz extraordinaria con que se mueven las nubes de granizo.

Sentados estos tres puntos, gran cantidad de movimiento, producción continua de hielo, tensión eléctrica renovada sin cesar, "buscaremos su origen, dice Faye, en las regiones inferiores, en corrientes ascendentes formadas, no se sabe cómo, en el seno de las capas bajas de la atmósfera? Si así lo hiciésemos, el problema de las tormentas continuaría siendo insoluble, porque en esas regiones bajas reinan: 1.º una calma completa; 2.º un calor bochornoso; 3.º una tensión eléctrica insensible. Por consiguiente, hay que buscar en las altas regiones del aire esos tres elementos esenciales de las tormentas.," Básase en primer lugar en el hecho de observación de que la tensión eléctrica aumenta continuamente á medida de la altura en la atmósfera. "El aire de las regiones superiores está sumamente cargado de electricidad positiva, cuyo máximo no ha podido apreciar el observador. En cambio, el aire inmediato al suelo carece de tensión, ó si la tiene, es una escasa tensión negativa, como la del suelo.," M. Faye considera el globo como si á una altitud que excede de una ó dos leguas estuviese rodeado de una gran capa sumamente electrizada y aislada del depósito común por las capas de aire inferiores. Esta capa está en continuo movimiento hacia uno y otro polo, perdiendo su electricidad en el suelo por las tormentas ó por las auroras boreales, unas veces ruidosa y otras silenciosamente.

M. Faye se apoya, en segundo lugar, en el hecho que poco ha dejamos consignado, esto es, en el de existir, en pleno verano y en las altas regiones del aire, nubes de temperatura muy baja, formadas de finísimas agujas de hielo, así como en el de que los cirri son precursores de las tormentas. "Si por un mecanismo cualquiera, añade, se pudiera hacer bajar el aire superior juntamente con las nubes de hielo á la región inferior de los nimbus, y esto de un modo continuo y persistente, sería fácil explicar la formación de estos mismos nimbus, y luego la congelación de su agua vesicular, á pesar de la alta temperatura normal de estas regiones.,"

Lleguemos ahora á lo que constituye la originalidad de la teoría propuesta por M. Faye. Se requiere, decía antes, además de un generador de electricidad y otro de frío, una causa de movimiento, á propósito para explicar la traslación rápida de las tormentas. Este tercer elemento indispensable para su hipótesis lo saca también de las altas regiones, de las corrientes generales superiores que arrastran los cirrus helados.

Es sabido que el eminente astrónomo se ha ocupado de meteorología, inducido á ello por sus estudios sobre la constitución física del Sol, cuyas manchas son efecto, en su concepto, de los movimientos giratorios, de los torbellinos que hay siempre en las capas de la atmósfera solar. Para responder á las objeciones que se le hicieron, tuvo que estudiar los movimientos del mismo género de la atmósfera terrestre, las trombas, los tornados y los ciclones. Sin entrar por este concepto en detalles que nos llevarían muy lejos, diremos que M. Faye considera los torbellinos engendrados por desigualdades de velocidad de las capas de aire contiguas, con cierta tendencia á propagarse de arriba abajo, y tanto más pronunciada cuanto más violento es el movimiento de rotación.

Semejantes torbellinos arrastran rápidamente hacia abajo todos los materiales acarreados por las corrientes superiores, y por lo tanto, también los cirrus helados que flotan en ellas. "Las agujas de hielo repelidas á la periferia á causa de su densidad se encuentran y se aglomeran allí de modo que forman pequeños núcleos opacos. Encontrando éstos agua vesicular en las nubes inferiores, la congelan, formando con ella una tenue capa transparente. Si en este movimiento arremolinado, en que las espiras de diferentes radios que tienen el mismo eje por centro están animadas de toda clase de velocidades, pasan sucesivamente estos pequeños granizos á regiones ocupadas por el aire glacial procedente de la parte superior y también á otras llenas de vapores vesiculares, crecerán en volumen por capas sucesivas, hasta que por efecto de su peso ó por el de la fuerza centrífuga escapan de la acción del torbellino. El aire arrastrado hacia abajo no llevará solamente consigo esas agujas de hielo, sino también su fuerte tensión eléctrica, la cual se acumulará progresivamente en la superficie de la nube situada en la extremidad del torbellino, y adquirirá en breve suficiente tensión para dirigirse en trazos fulgurantes hacia las nubes vecinas y por último al suelo.,"

Tal es la solución que propone el ilustrado académico, y que, según se ve, es enteramente distinta de la de Volta ó de la teoría eléctrica del granizo. M. Faye sustituye el frío producido por la evaporación con un transporte mecánico de las capas congeladas de las altas regiones, suprimiendo la acción de la electricidad como causa productora del granizo. Sigue atribuyendo el aumento en el tamaño de los granizos á movimientos de oscilación de los núcleos en el seno de las nubes vaporosas, pero no atribuye también la suspensión prolongada de los témpanos á la atracción y repulsión eléctricas, sino á una acción puramente mecánica, á la de los torbellinos.

M. Renou, distinguido meteorologista francés, piensa que la temperatura de las nubes de granizo pueden bajar considerablemente, hasta á 22º bajo cero, sin que las vesículas de las nubes dejen de hallarse en estado líquido; pero semejante estado es muy inestable, pues ya es sabido que basta el contacto de un tenue cristal de hielo para que se congele espontáneamente el agua en estado de sobrefusión; de aquí el origen de los granizos. M. Rosensthiel, que ha observado en Mulhouse, en 1872, granizos voluminosos, cuya estructura indica una cristalización inmediata, cree también que semejantes cristales proceden de la congelación en un medio en estado de sobrefusión; pero opina

que la teoría de M. Faye explica muy bien la presencia de cristales extraños que han ocasionado la congelación en todo el medio.

Estas diversas teorías tienen un punto de conexión; en todas ellas se excluye la intervención de la electricidad, á pesar de ser tan manifiesta, á lo menos en apariencia, en todas las granizadas; pero no todos los físicos están conformes con ellas, y se sigue teniendo por verosímil el origen eléctrico del meteoro. Por otra parte, parece necesario modificar la teoría de Volta en ciertos puntos esenciales: por esto, basándose M. Colladon en hechos de observación muy precisos, no admite que haya dos nubes frente á frente, situadas una sobre otra, y á bastante distancia entre sí, y entre las cuales suben y bajan los granizos. En su concepto, "estos grupos tormentosos se componen en realidad de muchos centros eléctricos, bastante inmediatos aunque bien distintos, y que pueden juntarse de varios modos. La teoría de la formación del granizo es así mucho menos problemática; los granizos son atraídos hacia uno de esos centros, luego hacia otro, por efecto de su enorme tensión positiva ó negativa, y en estas oscilaciones sucesivas se envuelven alternativamente en gotas de agua helada, ó en agujas de hielo. La rapidez de oscilación debe disminuir á medida que los granizos aumentan y adquieren más masa, lo que explica bastante bien el espesor creciente, del centro á la circunferencia, de las capas sucesivas del grano de *gresil* situado en el centro del granizo. Además, se puede suponer que mientras los granizos están suspendidos en el seno de las nubes y fuertemente electrizados, muchos de ellos, llenos de protuberancias, deben emprender un movimiento giratorio como si fuesen torniquetes eléctricos; crecen más rápidamente en sentido del radio de rotación, y por último deben adquirir la forma de granizos planos y regulares, como los que cayeron en gran cantidad el 7 de julio de 1875.,"

Terminemos este artículo exponiendo sucintamente una teoría eléctrica del granizo formulada por M. Planté, y cuyo punto de partida es un experimento de laboratorio efectuado por el aventajado físico.

Cuando se descarga una batería de cuatrocientos pares secundarios en la superficie de un líquido, se ve brotar un haz de glóbulos acuosos de forma ovoide que se suceden con gran rapidez y saltan á más de un metro de distancia de la vasija en que se hace el experimento. El fenómeno que entonces ocurre es, en concepto de M. Planté, la imagen fiel de lo que pasa en el seno de las nubes de granizo. "Es muy cierto, dice, que las nubes no son masas líquidas propiamente dichas, pero ya se sabe que las de las regiones elevadas se componen de ligeros y finísimos cristales de hielo, cuya cohesión es menor que la del hielo ordinario, pudiéndose las considerar como equivalentes ó poco menos á la masa líquida suspendida en la atmósfera. Compréndese, pues, que las descargas eléctricas puedan producir en ellas un efecto análogo al que producen en un líquido, y que el agua de esos cristales de hielo, licuada y pulverizada en los puntos en que estallan dichas descargas, salte en forma de chorros de glóbulos, como en nuestro experimento. Además, en razón de la baja temperatura del conjunto de la nube misma ó de las regiones elevadas en que sobreviene el fenómeno, estos glóbulos pueden congelarse y dar origen á granizos.,"

En resumen, M. Planté considera *el granizo como el efecto resultante de la congelación, en las altas y frías regiones de la atmósfera, del agua de las nubes pulverizada y evaporada por las descargas eléctricas*. Para explicar la estructura de los granizos formados de capas alternativamente opacas y transparentes, supone muchas evaporaciones y congelaciones sucesivas, separadas por intervalos en que el granizo su-

fre un movimiento giratorio. "La opacidad del núcleo nevoso que forma esos granizos parece atestiguar en efecto la congelación súbita del vapor de agua, pues ya es sabido que el carácter de las cristalizaciones rápidas consiste en dar origen á cristales entrecruzados no transparentes. Formado el primer núcleo, la rotación en medio de la humedad de la nube produce alrededor una capa de hielo formada más lentamente, y por consecuencia transparente. Tras una nueva descarga eléctrica sobreviene otra emisión de vapor, y al mismo tiempo que de ella resultan nuevos granizos, los que giran todavía pueden cubrirse de una segunda capa de vapor que pasa bruscamente al estado de nieve y así sucesivamente.,"

VII

TROMBAS MARINAS Y TERRESTRES

En el número de los meteoros que parecen tener mayor ó menor relación con la electricidad de la atmósfera figuran las *trombas*, especie de torbellinos que se forman entre las nubes y el suelo; se las puede dividir en dos clases, según que tengan origen en el mar ó en tierra: las *trombas marinas* y las *terrestres*.

Demos ante todo una breve descripción de los fenómenos que caracterizan ambas clases. El ilustrado director del observatorio de París, almirante Mouchez, describía hace algunos años como sigue las circunstancias en que suelen formarse las trombas de mar. Por lo regular nacen en el borde inferior de un *nimbus* denso y muy bajo, durante una calma chicha ó cuando sopla una débil brisa; cualquier viento un poco fuerte las disipa casi inmediatamente después de formadas. Generalmente está entonces el cielo despejado en algunos puntos del horizonte, y cubierto en otros de nubes muy densas rematadas en masas vedijosas más claras.



Fig. 286.—Formación de una tromba marina

"Cuando se presentan estas circunstancias juntamente con otras desconocidas, dice, se forma cerca de la parte inferior de la nube una protuberancia que baja poco á poco hacia el mar y adquiere muy pronto la forma de columna ó tubo, que subsiste en posición vertical si reina completa calma, y ondula ligeramente si sopla la brisa. Cuando este tubo, cuya parte superior está siempre rodeada de otro tubo más difuso, ha llegado á los cuatro quintos de altura de la nube, la superficie del agua empieza á hervir ligeramente si la tromba es vertical, y en haz oblicuo, formando el ángulo de reflexión igual al de incidencia, si aquélla está inclinada. Mientras ocurre esta emisión de vapor, el tubo se va aclarando y acaba por aparecer en forma de dos trazos negros muy finos y sueltos. Cuando el chorro de vapor ha cesado, la tromba parece haber terminado su