

también en el interior del meteoro esos vientos que, según la posición del punto de observación con relación al centro, dan toda la vuelta á la rosa. Su afluencia cerca del centro en direcciones horizontalmente opuestas los anula y explica la calma repentina que allí se observa; lo único que subsiste es su componente vertical, y el aire se eleva llenando el vacío de la depresión central.

Mas al paso que unos admiten que la rotación se efectúa en círculos concéntricos, ó en tangentes á las isobaras, y por consiguiente que el aire es arrastrado alrededor del centro, otros y entre ellos Mohn y Meldrum, no consideran el torbellino sino como una masa de aire que da vueltas. Entre otras razones en apoyo de esta opinión, Mohn aduce la siguiente: "Si el torbellino fuese una masa de aire determinada que girase al-

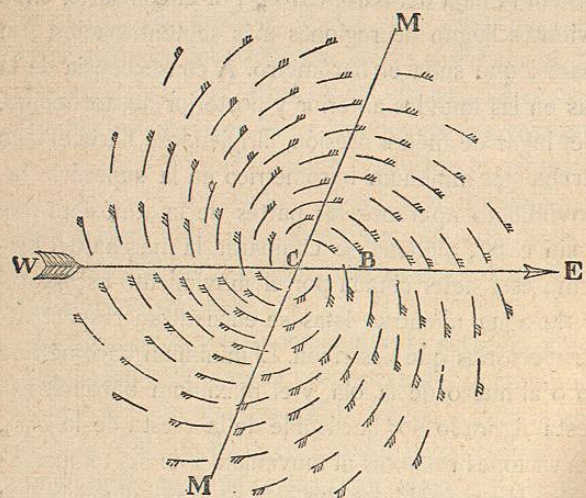


Fig. 216.—Movimiento del aire en derredor del centro de un ciclón, según M. Mohn

rededor de su centro como una tromba, sería muy difícil comprender cómo es que los vientos de los distintos lados del torbellino pueden producir condiciones varias de temperatura, humedad, nebulosidad y precipitación, porque no sería posible imaginar cómo un viento que reinara en un momento dado, por ejemplo el del Norte, convirtiéndose en Sur á consecuencia de una semirrevolución del sistema, se tornara de pronto en un viento más caliente, más húmedo, más nebuloso y más lluvioso que antes. Según el mismo meteorologista, "el movimiento del aire se efectúa en un torbellino siguiendo trayectorias ó espirales que van cerrando su curva alrededor del centro y se acercan á él cada vez más. Este movimiento puede descomponerse en otros dos: el que produce el movimiento alrededor del centro y es perpendicular al gradiente, y el que, verificándose en dirección de este último, impele por consiguiente al aire, ya hacia el centro ó ya fuera del torbellino. Mientras éste se halla en acción, el segundo movimiento propende á llevar nuevas masas de aire hacia el punto en que la presión es menor por estar enrarecido el aire, lo cual tiende á hacer desaparecer este enrarecimiento. Si no hubiese alguna fuerza que la reprodujese, disminuiría poco á poco y acabaría por desaparecer. Pero si existen fuerzas que mantengan semejante estado de cosas, su acción debe consistir sin duda en la disminución del peso del aire que afluye de todos lados, cosa que no puede producirse sino forzando al aire á elevarse por encima y alrededor del *mínimum* barométrico. Según hemos visto antes, Mohn atribuye la causa de que subsista la presión barométrica á la precipitación del vapor de agua que ocurre en la parte anterior del ciclón, precipitación que explica también su movimiento de progresión. El examen de las figuras 216 y 217, tomadas del *Tratado de Meteorología* del erudito sueco, acabará de hacer comprender su modo de concebir el fenómeno.

Hemos visto que la segunda teoría considera los ciclones como inmensas trombas, como remolinos gigantes de todo punto iguales á los que se ven en los ríos donde-

quiera que las desigualdades de velocidad entre las corrientes líquidas de la superficie engendran un movimiento de rotación acompañado de una depresión visible en el nivel del agua. Este movimiento se propaga de arriba á abajo, alrededor de un eje vertical, arrastrando las moléculas de la superficie hasta el fondo del río, donde se emplea su fuerza viva para excavar el suelo, después de lo cual las moléculas que han tocado el fondo son expulsadas lateralmente fuera del remolino. Este no deja de seguir por eso la velocidad media de la corriente, conservando su eje vertical y persistiendo más ó menos tiempo hasta que las resistencias de toda clase con que tropieza han consumido su fuerza viva.

M. Faye, que ha sostenido esta teoría contra la de la aspiración, asimila enteramente los movimientos giratorios de los líquidos á los que se observan en la atmósfera y que son de muy distintas dimensiones, desde las trombas más pequeñas y los tornados hasta los grandes ciclones cuya descripción ha servido de asunto para los artículos anteriores. "En los movimientos giratorios de nuestra atmósfera, tenemos pequeños y pasajeros torbellinos de algunos decímetros, trombas algo más duraderas de 10 á 200 metros, tornados de 500 á 2.400 metros; pasados estos límites la vista no puede apreciar ya las formas de la columna giratoria; entonces se las da otro nombre, pero el fondo es el mismo. Cuando son más grandes, es decir, cuando su diámetro llega á 3, 4, 5 grados ó sea 300, 400, 500.000 y más metros, llevan el nombre de *huracanes* ó de *ciclones*, mas no por esto cambia el mecanismo; siempre son movimientos giratorios, circulares, de velocidad creciente hacia el centro, nacidos de las corrientes superiores á expensas de sus desigualdades de velocidad, propagándose hacia abajo en las capas inferiores á pesar de su estado de calma perfecta ó con independencia de los vientos reinantes, ejerciendo sus estragos apenas tocan el obstáculo y siguiendo en su marcha las corrientes superiores, de suerte que sus devastaciones trazan en el globo terráqueo el camino de estas corrientes invisibles (1)."

Por las últimas líneas del párrafo anterior se ve que M. Faye da por origen á los ciclones las corrientes superiores, es decir, los *contra-alisios*, y las atribuye también su movimiento de progresión. Siendo la dirección del movimiento de los ciclones de Este á Oeste entre los trópicos, fuerza es admitir también que tal es la marcha de los *contra-alisios*, en contra de la opinión de los demás meteorologistas que, explicando su desviación por la influencia de la rotación terrestre, suponen que se mueven hacia el Este (2), es decir, en un sentido opuesto al movimiento de la traslación de los ciclones

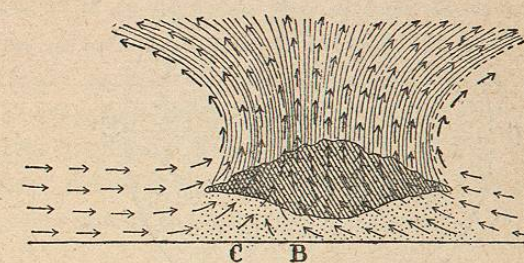


Fig. 217.—Movimiento del aire en sentido vertical en el interior de un ciclón

(1) *Defensa de la ley de las tempestades.* Los trabajos que el eminente astrónomo ha efectuado sobre la constitución física del Sol, cuyos poros y manchas son, en su concepto, torbellinos, le han inducido á estudiar los ciclones terrestres. "En el Sol, dice, vemos movimientos atorbellinados mucho mejor caracterizados y de toda dimensión, desde los poros, grandes como nuestros ciclones, hasta las manchas, cinco ó seis veces mayores que nuestro globo. Las manchas solares en forma de remolinos ó de embudos en espiral no son efectivamente raras; pero nos parece cuando menos dudoso que figuren en mayor número en el Sol.

(2) Faye atribuye también la formación de los *contra-alisios* á la dilatación de las capas atmosféricas en la zona tórrida y á la ascensión del vapor de agua por la acción vertical de los rayos solares, deduciendo



en las regiones tropicales. Si se admite la teoría de Faye, los grabados 218 y 219 representarán la circulación general de las corrientes superiores é inferiores, la generación y la marcha de los ciclones; el primero la representa en ambos hemisferios en proyección sobre un meridiano; el segundo, en el hemisferio Norte, la figura en proyección sobre el Ecuador.

Esto en cuanto al movimiento de progresión de los ciclones. Por lo que hace al giro y al sentido en que se dirige en cada hemisferio, he aquí su causa según la misma teoría. Los ríos aéreos superiores que parten del Ecuador y se dirigen á los polos describiendo una curva parabólica, tienen en sus diferentes puntos velocidades desiguales cuyo efecto consiste en engendrar un movimiento arremolinado: "En cuanto al sentido de rotación de los ciclones, debe resultar de que en estas corrientes sumamente

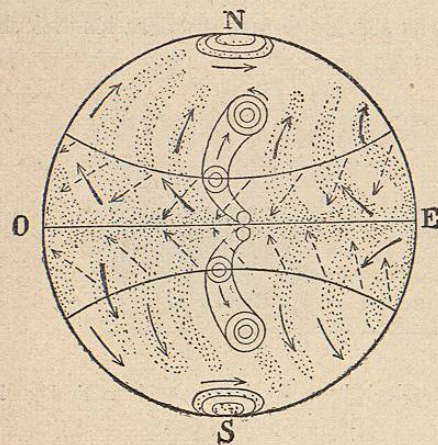


Fig. 218.—Origen y formación de los ciclones, según M. Faye

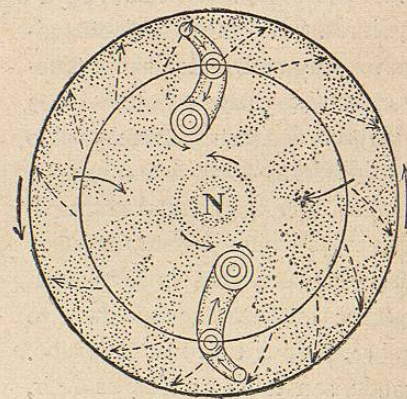


Fig. 219.—Origen y formación de los ciclones: proyección sobre el Ecuador

curvas, la velocidad va disminuyendo transversalmente de la orilla cóncava á la convexa.,

Hemos procurado resumir en sus caracteres esenciales las dos teorías que los meteorólogos contemporáneos han propuesto para explicar los fenómenos de los ciclones. Estas teorías son opuestas una á otra ó poco menos; pero dado el estado actual de la ciencia, es difícil decir cuál de ambas parece que prevalecerá. Desde el punto de vista de la ciencia hidrodinámica el problema es complejo en extremo y no se le ha podido analizar con fruto; únicamente reuniendo observaciones y hechos se podrá ver si estos hechos confirman una ú otra de las dos hipótesis, la de la aspiración ó la de las corrientes descendentes, ó si por el contrario se contradicen en algunos puntos. Hasta ahora se han colocado con razón en este punto de vista sus autores ó defensores para justificar su propio sistema y combatir el de sus adversarios; años hace que dura la discusión y aún no parece agotada, no siéndonos posible, en los límites nece-

de aquí que la masa aérea debe de quedarse atrás, "puesto que todas las moléculas se levantan en esta región y describen así alrededor del eje terrestre círculos mayores con la velocidad lineal de un punto de partida inferior.", Allende los trópicos, la otra mitad de la atmósfera se adelanta sobre la rotación, y las corrientes se desvían en sentido contrario, "porque la capa de aire adelantada llega á paralelos cada vez más pequeños.", Pero ¿no es evidente que las dos causas de desviación existen lo mismo entre los trópicos que en las zonas templadas y que, como obran en sentido opuesto, deben compensarse en parte? Toda la cuestión se reduce á saber si se neutralizan enteramente ó tan sólo en parte, y en qué proporción. Parece que hay aquí un punto dudoso por esclarecer.

sariamente restringidos de esta obra, exponer todos los argumentos aducidos en pro ó en contra. Nos limitaremos á decir que Faye basa su teoría en numerosos ejemplos de trombas terrestres ó marinas, en las cuales el movimiento descendente está caracterizado por fenómenos irrecusables. Pero, á decir verdad, algunos casos contrarios parecen favorables á la tesis opuesta. ¿De todos modos, ¿puede deducirse que hay alguna relación entre las trombas y los ciclones?

Por otra parte, el ilustrado meteorologista sueco Hildebrando Hildebrandsson ha reunido gran número de observaciones de cirrus, ya sobre los centros de presión ó bien sobre los de presión máxima, y he aquí las conclusiones que ha deducido de ellas, conclusiones que parecen favorables á la teoría de la aspiración. "Creo haber demostrado, dice, que el aire se aleja de los centros de los mínima y converge hacia los centros de los máxima en las más altas regiones de la atmósfera. Sábese que sucede lo contrario cerca de la superficie terrestre. Por consiguiente, un minimum debe ser forzosamente asiento de una corriente de aire ascendente. Al llegar á gran altura, este aire se aleja por todas partes del centro de la depresión y se difunde á modo de capa uniforme por cima de las regiones de los máxima, desde las que baja gradualmente hacia la tierra formando corrientes descendentes. De este modo se efectúa sin cesar una circulación vertical entre la superficie terrestre y los límites superiores de la atmósfera. El principal agente de esta circulación debe de ser la diferencia de temperatura y de humedad entre el aire más ó menos caldeado de la superficie y el aire de las regiones más elevadas, en las que reina una sequía y un frío excesivos.,

## VI

## POTENCIA MECÁNICA DE LOS HURACANES. — ORÍGENES DE SU FUERZA VIVA

En octubre de 1844 un ciclón terrible pasó por la isla de Cuba, donde causó horriblos estragos; prosiguiendo luego su marcha al Nordeste, llegó á Terranova, después de recorrer en tres días la distancia que separa estos puntos extremos. Según Redfield, el meteoro se extendió por un espacio de 500 millas (800 kilómetros). La dirección del viento formaba con la tangencial un ángulo de 6° próximamente, y su violencia era tal al engolfarse en el interior del ciclón, que si se supone un cilindro de cien metros de altura y de 150 kilómetros de radio que tuviera por centro el del huracán, el viento sólo necesitaría, según los cálculos del doctor Reye, 5 horas 20 minutos para renovar enteramente este cilindro de tempestad: esto supone una velocidad de 40 metros por segundo, de 144 kilómetros por hora, y el volumen de aire así puesto en movimiento en tan corto intervalo se aproximaba á 450 millones de metros cúbicos por segundo. Los 500 millones de kilogramos que pesa semejante masa de aire y que aspiraba así el centro de la tempestad, necesitaban un trabajo de unos 40.000 millones de kilográmetros, de cerca de 500 millones de caballos de vapor, efectuado sin descanso por espacio de tres días. Es por lo menos quince veces la fuerza que podrían desarrollar en el mismo espacio de tiempo todas las máquinas de la Tierra, molinos de viento, turbinas, máquinas de vapor, locomotoras, en fin todos los hombres y animales del mundo entero. Por los números que acabamos de citar, es posible formarse una idea de la asombrosa potencia mecánica que posee un huracán, y en su vista no causan ya extrañeza los efectos destructores del meteoro. Para ocasionar las ruinas que siembra á su paso, para vencer las resistencias que proceden de las desigualdades del suelo,



para levantar las oleadas del Océano, no consume sino una mínima fracción de esta potencia.

Pero ¿cuál es su origen? ¿De dónde saca el ciclón esa fuerza viva prodigiosa, que debe renovarse sin cesar en un trayecto de muchos millares de kilómetros? Según M. Reye, debe buscarse el origen de esta fuerza en las lluvias que acompañan y preceden al ciclón, en la condensación de los vapores que, aspirados por el centro del huracán, se elevan con la columna de aire ascendente. Al precipitarse estos vapores en estado líquido desprenden una cantidad de calor que, en un espacio de 250 kilómetros de radio, puede calcularse en 120.000 millones de calorías por segundo, equivalentes á 680.000 millones de caballos de vapor, representando más de 1.300 veces la cantidad de trabajo absorbida por la aspiración del aire en el ciclón. ¿De qué modo se invierte esta inmensa acumulación de fuerza viva para ocasionar los movimientos de progresión y de rotación? Difícil es poder asegurarlo. Verdad es que todo depende de la teoría que se adopte para la explicación de los fenómenos ciclónicos. Si se parte de la teoría propuesta por Faye, el origen de la fuerza viva es el de las corrientes superiores de la atmósfera, que tienen por causa primordial el exceso de la radiación solar entre los trópicos sobre la radiación solar en las zonas templadas. La ascensión de las masas de aire sobrecalentadas que de ella resulta sobre sus capas de nivel respectivas, puede compararse con la de un peso que se eleva á cierta altura. La difusión de las mismas masas hacia los polos corresponde entonces á la caída del peso levantado. La rotación no es más que un efecto mecánico que ocurre en el seno de un fluido cuyas distintas partes se mueven con velocidades desiguales. En una palabra, los dos primitivos orígenes de la fuerza que tienen los huracanes son, por una parte el calor solar, y por otra la gravedad.

Volvemos á encontrar estas mismas fuerzas en acción en los ciclones, si se admite la teoría de la aspiración. Al principio es el calor solar el que produce el movimiento ascendente del aire sobrecalentado; el equilibrio roto se restablece por mediación de la gravedad que obliga á todas las masas aéreas ambientes á precipitarse para llenar el vacío formado en el centro del meteor. Acabamos de ver que se restituye el calor almacenado por el agua vaporizada y arrastrada en el movimiento ascendente del aire, cuando este vapor se precipita en estado de lluvia. Por consiguiente, la radiación solar y la gravedad son siempre las dos fuerzas primitivas de donde el huracán saca su energía. Por otra parte, hemos visto que el movimiento de rotación de la Tierra entra por algo en ambos sistemas, y que explica la desviación de las corrientes y su rotación alrededor del centro en la teoría de la aspiración. En la de los remolinos descendentes es también indispensable para explicar el movimiento de avance hacia el Oeste y luego hacia el Este, movimiento que da á las trayectorias de los ciclones su forma parabólica.

## VII

LOS TORNADOS. — LAS TORMENTAS EN EUROPA. — LOS ANTICICLONES

En el tomo II de esta obra hemos descrito las trombas; no volveremos ahora á ocuparnos de ellas, porque estos fenómenos físicos no son más que un episodio de los grandes movimientos de la atmósfera y también porque sólo se tienen datos insuficientes acerca de su movimiento de progresión. Pero no sucede lo mismo con los tor-

nados, que aunque en mucho menor escala, tienen casi todas las apariencias de los ciclones, y como su mismo nombre lo da á entender, están principalmente caracterizados por un movimiento giratorio. Estas tempestades estallan con más frecuencia en el Senegal y en toda la costa occidental de Africa; siendo también muy numerosos en el continente de la América septentrional (1). Asimismo se observan fenómenos más ó menos análogos á estos torbellinos en la América del Sur, donde se les designa con el nombre de *pamperos*, y en el Océano Indico, desde el golfo de Bengala hasta las islas de la Sonda, donde se conocen con los de *turbonadas arqueadas* y *sumatras*.

M. Finley ha estudiado los tornados de los Estados Unidos, habiendo dirigido una Memoria al *Meteorological Office* con el título de *On the character of six hundred tornados* (sobre el carácter de seiscientos tornados). He aquí un resumen de este trabajo, según Faye que lo ha analizado, cuyo resumen nos mostrará lo que son las propiedades físicas y mecánicas de esta clase de tempestades:

„Anuncia la proximidad de un tornado á 2 ó 3 millas de distancia (3 á 5 kilómetros) una nube negra de la cual parece desprenderse un apéndice en forma de embudo que llega á la superficie del suelo. En la base inferior se encuentra la reducida área en que están condensados los vientos destructores.

„La rotación ó remolino en el interior del tornado es invariablemente de derecha á izquierda, en sentido contrario al de las agujas de un reloj. Sobre la velocidad de rotación se han hecho cálculos muy diferentes, lo cual depende en parte de la región en que cada espectador ha fijado su atención. El término medio es de 0,11 de milla, ó sea unos 177 metros por segundo, velocidad que, según creo, viene á ser casi la mitad de la de una bala de fusil.

„El diámetro del tornado en el suelo varía entre 13 metros, lo que corresponde á una tromba, y 3.300, que casi lo asemeja á un pequeño tifón: el más común es de 300 á 400 metros. Más allá del círculo del tornado no se nota viento alguno debido á este fenómeno.

„Todos los tornados, grandes ó pequeños, están animados de un movimiento rápido de traslación, que suele ser de 17 metros por segundo. Pero de un tornado á otro es muy variable, y oscila entre 5 y 25 metros; y unas veces excede con mucho de la velocidad ordinaria de un ciclón de los Estados Unidos, y otras es inferior á ella. El promedio de 17 metros que he dado es el de un tren de ferrocarril á gran velocidad.

„Todos llegan de algunos puntos del horizonte occidental y se dirigen hacia el punto opuesto del horizonte oriental. En su mayoría van del Sudoeste al Nordeste. Jamás se ha dado el caso de que un tornado siguiera una marcha contraria. Los tornados pueden avanzar por el aire sin tocar el suelo, y no empiezan sus estragos hasta que, bajando, llegan á tierra. A veces su extremo inferior se levanta para volver á bajarse algo más lejos. Su marcha es, por lo regular, en línea recta, siquiera se hayan notado á veces ligeras oscilaciones, de suerte que la trayectoria, marcada en el suelo por sus daños, presenta á veces sinuosas desviaciones.

„Su inclinación sobre la vertical es en ciertos casos considerable, habiéndose observado una de 70°.

(1) M. Finley ha escrito un catálogo que comprende 559 tornados observados en los Estados Unidos desde 1794 á 1881. De ellos pertenecen 468 á los años 1875 á 1881, lo que da un promedio de 67 por año, al paso que los 91 restantes se reparten entre 65 años de observaciones. Esta diferencia no consiste sin duda en el aumento en el número de tornados, sino en el cuidado con que ahora se toma nota de estos fenómenos y en la extensión creciente de las regiones en que se los observa.