

La circulación atmosférica

Augusto Arcimis

Artículo publicado en el n° 1 (Año XXXIX) de la revista semanal La Ilustración Española y Americana, el 8 de enero de 1895

Los antiguos conocían los vientos periódicos de la India ó monzones, y utilizaban su constante regularidad en los viajes que efectuaban por los mares de Arabia. Según afirma Benedict en su obra *Schiffart und Andel der Alten*, salían más de cien buques todos los años, que desde el estrecho de Bab-el-Mandeb se dirigían por alta mar de Oeste á Este, sin ver la costa, de la que se alejaban muchas leguas, á Muziris, Calient y Mangalor. Cuando cambiaba la dirección del viento, en los meses de Diciembre y Enero, regresaban á su país, cargados con los ricos productos de la India. Hipalo, mercader árabe, posterior á Alejandro Magno, fue el primero que se atrevió á lanzarse por ese camino, y en su honor se llamaron las monzones, durante algún tiempo, vientos de Hipalo.

Muchos siglos después, debido á los viajes de los portugueses por África y Asia y de los españoles por América, se descubrieron otras corrientes aéreas ó vientos de dirección regular, periódica ó constante, y conocida es la historia de los compañeros de Colón, cuando murmuraban y se resistían á proseguir el viaje, fundándose en que siendo el viento favorable para la ida y soplando siempre en la misma dirección, les había de ser contrario á la vuelta, y, por consiguiente, el regreso á España, imposible.

Poco a poco fueron los navegantes adquiriendo mayor conocimiento de las corrientes aéreas y marinas, principiando entonces la náutica á contar con reglas de carácter algo más científico que las usadas hasta allí. En el siglo XV descubrió Vasco de Gama, al efectuar su primer viaje, la corriente de Mozambique, entre la isla de Madagascar y el continente, y dio al cabo que la limita por una parte, el nombre de Cabo Corrientes. Para volver de la India utilizaban los portugueses las monzones, buscando la del Sudoeste á los 28° de latitud Norte, y dejándose llevar por ella hacia el Este, hasta encontrar vientos favorables para acercarse al ecuador.

Alamitos, piloto español del siglo XVI, efectuó un viaje de regreso á España dentro de los límites de la corriente del Golfo (Gulf Stream), del mismo modo que se hace en la actualidad por los buques de vela y aun por los de vapor. Un fraile agustino, Andrés de Urdaneta, hombre muy entendido y observador, y gran marino, supuso que el mismo sistema de vientos debía regir en el Océano Pacífico que en el Atlántico y, fundado en esta creencia, salió de Filipinas en 1565 con rumbo á las islas de los Ladrones y siguió á Acapulco, invirtiendo en el viaje ciento veinticinco días. Se guió, pues, por la sentencia que dice: «No se debe forzar el rumbo, sino amoldarlo á los vientos dominantes.»

A principios del siglo XVI, Leonardo de Vinci, genio colosal, gran artista y profundo hombre de ciencia, para el que era familiar todo el saber de su época, atribuía á las diferencias de temperatura del agua del mar el origen de las corrientes regulares que del ecuador se dirigen á los polos. En la línea equinoccial, calentada el agua por la intensa radiación solar, se dilata y extiende hacia el Sur y el Norte: pero, al mismo tiempo, la evaporación producida entre trópicos tiene que ser compensada por agua fría, procedente de las comarcas polares. Esta teoría la hizo, en parte, extensiva al viento.

En 1573 explicaba Pedro Davity los terrales y virazones por el desigual caldeamiento de la tierra y el mar. Dos años después apareció la obra náutica de Juan Escalante de Mendoza, titulada: *Itinerario de Navegación á los mares y tierras*

occidentales, en la que, además de describir los mares y sus corrientes, y los vientos, trata de los mejores rumbos para ir á determinados lugares de América.

Halley, famoso astrónomo inglés, fue enviado por su Gobierno á la isla de Santa Elena, en 1676, para determinar la posición de ciertas estrellas; después navegó por diversos mares, adquiriendo de los fenómenos y mudanzas del aire gran práctica y experiencia, que, en unión de su lectura y de su talento, le permitieron publicar el primer mapa, ó la primera carta de corrientes atmosféricas para uso del navegante. Intentó explicar por principios mecánicos la dirección y constancia de los alisios del Nordeste, y esbozó una teoría de la circulación atmosférica, ampliada en 1735 por Hadley, también astrónomo inglés y de no menor reputación, aunque en la grandiosa *Enciclopedia Británica* no se menciona siquiera su nombre.

Esta teoría, de verdadero fundamento científico, ha llegado hasta nosotros, y es como sigue:

El calor del Sol dilata el aire en el ecuador y lo hace dirigirse hacia las regiones más frías, que son los polos; esta corriente de aire va por la parte alta de la atmósfera, y se llama corriente ecuatorial. Para llenar el vacío producido en el ecuador, se establece una contracorriente en la superficie de la Tierra, que arranca de los polos y se llama corriente polar. Si el globo terrestre estuviese fijo, ambas corrientes caminarían á lo largo de los meridianos, y su dirección sería exactamente Norte-Sur. Pero el movimiento de rotación de la Tierra hace que las corrientes se desvíen hacia la derecha en el hemisferio boreal, y hacia la izquierda en el austral. En efecto: la rotación del globo terrestre no se efectúa con igual velocidad para todos los puntos, sino que es máxima en el ecuador, y va disminuyendo, gradualmente, hasta ser nula en los polos. Una masa de aire, pues, que parte del ecuador á lo largo del meridiano, en nuestro hemisferio, está animada de una velocidad lateral hacia la derecha, mayor que la de cualquier lugar adonde llegue, y parecerá, por consiguiente, que procede del Sudoeste. Por el contrario, una masa de aire que parte de las latitudes elevadas en dirección al ecuador, va encontrando lugares que se mueven hacia la izquierda con velocidad creciente, y parecerá, por lo tanto, que no proviene del Norte, sino del Nordeste. En el hemisferio austral la desviación se efectúa hacia la izquierda.

De este modo explicaba Hadley la constante dirección de los vientos alisios y la circulación general de la atmósfera.

En tiempos muy posteriores, y con el progreso realizado en las ciencias matemáticas, se ha demostrado que la desviación, no sólo del viento, sino de todo cuerpo que se mueve libremente en la superficie de la Tierra, es siempre hacia la derecha en el hemisferio boreal, cualquiera que sea su primitiva dirección, á lo largo de un meridiano, ó perpendicular á él. Este descubrimiento se debe á Poisson, que en 1839 lo dió á conocer en una Memoria sobre el movimiento de los proyectiles. En este caso la desviación es muy pequeña, por la escasa duración del fenómeno y lo reducido de su trayectoria; además, no es perceptible por muchas causas de error.

En fenómenos más constantes, como el curso de los ríos, ó la circulación de los trenes en las vías férreas, tampoco es perceptible la desviación, porque las causas de error son igualmente infinitas; pero teóricamente se demuestra que las riberas derechas de los ríos, y las barras carriles de la derecha de nuestras líneas, sufren mayor presión de las aguas en un caso, y de las ruedas en otro, que las riberas ó rieles de su izquierda.

Un siglo después de Hadley, un eminente meteorologista alemán, cuyo nombre hay que pronunciar con el mayor respeto, Dove, amplió y generalizó la teoría, dándole tan buen aspecto de verdad casi demostrada, que fue aceptada universalmente, echando tan hondas raíces, que aún hoy día muchos hombres científicos no conocen otra, ni creen que la haya, hasta el punto de ser la única que se presenta en los tratados de Física y de

Navegación, no sólo en España, sino en naciones que presumen, con razón, de adelantadas.

Omitiendo algunos esclarecimientos de Dove sobre lo esencial de la teoría de Hadley, y que no importan á nuestro objeto, la principal diferencia que introdujo el meteorologista alemán fue la de afirmar que parte de la corriente ecuatorial desciende hacia el suelo antes de llegar á las zonas frías, y se une á la corriente polar. Siendo esto así, suponía Dove que entre ambos vientos se entablaba una lucha, hasta que predominaba el polar ó el ecuatorial, ó bien un viento intermedio, formando todos ellos los llamados vientos irregulares ó variables de las zonas templadas. El cuadro trazado por Dove de este conflicto es admirable, y está hecho con gran talento: parece que se halla uno realmente en la caverna de Eolo, asistiendo á la escena se encadenar ó desencadenar los odres. Agregó Dove, á la teoría de la circulación general atmosférica, su conocida ley de la giración del viento, según la cuál, éste sigue el curso del Sol, en el sentido de que si el viento sopla, v. gr., del Norte, pasará al Este, al Sur y al Oeste para llegar otra vez al Norte, las más veces, siendo muy poco frecuente que la giración se haga en orden inverso, y pase el viento del Norte al Sur por el Oeste. Como esto es cierto, sobre todo desde la Europa Central hacia el Mediodía, no hubo vacilación en los meteorologistas, y se aceptó la teoría tal como la presentaba su ilustre autor; teoría que prevaleció durante muchos años, y á la que aún están aferrados, como antes indicamos, muchos individuos para los cuales no pasa el tiempo, y que creen que el progreso se detuvo cuando ellos acabaron sus estudios.

Pero vino al fin la meteorología llamada sinóptica, en la que se representan en un mapa casi todos los elementos que constituyen el tiempo, con los datos transmitidos telegráficamente á una misma hora, desde muchos puntos, y se vió que el viento no giraba como decía Dove, ni existían las famosas corrientes ecuatorial y polar. Se demostró con toda evidencia que siempre había unas zonas en la superficie del globo en las que el barómetro estaba más bajo que en otras: á las primeras se les llamó ciclones, depresiones o mínimos, y á las segundas anticiclones o máximos. Alrededor de los mínimos circulaba el viento en el sentido contrario á las agujas de un reloj puesto horizontal, y alrededor de un máximo circulaba en el mismo sentido de las agujas. Esta es la llamada ley bórica del viento, ó de Buys-Ballot, del nombre del eminente meteorologista flamenco que la descubrió. Con su auxilio se reconoció que la concordancia que muchas veces existía entre la giración del viento según Dove, dependía de que la mayor parte de las depresiones que se experimentan en el continente europeo pasan por el Noroeste, y por lo tanto, en Alemania, v. gr., cuando el mínimo viene por el Atlántico, empieza el viento á soplar del Nordeste, y rolando con el curso del Sol á medida que la depresión avanza, pasa el Este, al Sudeste, al Sur, etc., siendo el ultimo viento del rumbo del Noroeste, cuando aquélla se encuentra en los parajes boreales.

Aunque en la zona templada, región de los vientos variables, no era sostenible la teoría de Hadley-Dove, convenían todos los meteorologistas en que era perfectamente aplicable á la zona de los vientos alisios, que se extiende cosa de 30° de una y otra parte del ecuador. Durante largo tiempo casi nadie se ocupó de las corrientes polar y ecuatorial, afanándose todos los meteorologistas en investigar y descubrir los detalles y particularidades que ofrecían los ciclones y anticiclones.

Mientras tanto, el americano Ferrel, que puede considerarse como uno de los fundadores de la meteorología moderna, leía y meditaba la famosa obra de Maury, *Geografía física del mar* (en inglés), en la que se explicaban, erróneamente, á su parecer, las causas de los movimientos atmosféricos. Sus primeras objeciones se publicaron en el *Diario de Cirugía de Nashville*, población de los Estados Unidos,

donde residía Ferrel el 1856, como maestro de escuela. A este trabajo, que era sencillo y de estilo popular, siguieron otros más importantes y de carácter matemático, en los que entraba el análisis, y en uno de ellos demostró por qué obedece el viento a la ley de Buys-Ballot.

Transcurrieron casi veinte años sin que los trabajos de Ferrel llamaran la atención en Europa, y se consideraban puramente como estudios especulativos, hasta que la publicación del *Tratado de Meteorología*, de Sprung (en alemán), donde se presentaban teorías basadas en análogos principios que las del meteorologista americano, contribuyó á que se hiciera mayor aprecio de la importante obra que éste había llevado á cabo. Es muy difícil compendiar estos trabajos, que son principalmente matemáticos, pero su esencia viene á ser así.

Todo alrededor de la Tierra existen tres grandes zonas de calmas: en el ecuador, ó muy cerca de él, la primera, y las otras dos, una por el paralelo de 35° Norte, paraje que los marinos suelen llamar el Golfo de las Yeguas, y su semejante en el hemisferio Sur. Entre el anillo ó zona de las calmas ecuatoriales y estos paralelos, predominan los alisios del Nordeste y del Sudeste en la superficie, y los contraalisios del Sudoeste y del Noroeste en las regiones superiores. En la zona de calmas no tiene el aire más movimiento que ascendente, y en las latitudes de 35° descendente; al Norte, en nuestro hemisferio, y al Sur en el opuesto, de estos paralelos, los vientos predominantes provienen del Sudoeste y del Oeste, no sólo cerca del suelo, sino á grandes alturas también; pero a una altura media hay una corriente que va de los polos hacia el ecuador; la diferencia de temperatura entre estas dos regiones es la causa de la circulación general, produciendo las desviaciones la rotación de la Tierra.

Esta teoría difiere considerablemente de la formulada por Dove, aunque el principio ó fundamente de ambas es idéntico.

En 1886 Werner Siemens, el famoso electricista, presentó un trabajo á la Academia de Ciencias de Berlín, en el cual se ocupaba del movimiento de la atmósfera considerado en conjunto; posteriormente presentó nuevos estudios sobre la misma materia, en los que demostraba, por otros métodos, la exactitud de los principios anunciados por Ferrel.

Según Siemens, la atmósfera estaría en equilibrio indiferente si el excesivo calor del Sol en la superficie del suelo, caldeando el aire, por una parte, y la radiación desigual hacia los espacios en las regiones superiores, por otra, no la perturbasen, produciendo corrientes horizontales y verticales dotadas de velocidades distintas, unas veces aceleradas y otras retardadas: así se originan movimientos giratorios ó vorticosos de toda la masa de aire, de los que resulta que en la zona comprendida entre los 35° Norte y los 35° Sur, la circulación general de la atmósfera se manifiesta por los vientos del Este, desde el suelo hasta los límites superiores.

La calma ecuatorial la explica por la interferencia de los dos alisios del Nordeste y del Sudeste, calma que tampoco llega á ninguna altura considerable. Pasados los paralelos indicados, los vientos del Oeste demuestran que éste es también el movimiento general de la masa atmosférica.

Siemens, como Ferrel, admite, según vemos, que sobre las calmas ecuatoriales sople constantemente un viento del Este de gran intensidad. Si esto fuese cierto, y nada científicamente se opone á ello, se explicaría en parte la aparición sucesiva de Este á Oeste de los famosos resplandores crepusculares de 1883, que aún persisten aunque muy debilitados. Después de la gran erupción de Krakatoa en el verano de ese año, se percibieron entre trópicos los crepúsculos rosados de larga duración, propagándose el fenómeno con gran regularidad, como si la masa incalculable de cenizas y vapores arrojados por el volcán hubiese caminado de Oriente á Occidente, á altura elevadísima,

dando la vuelta completa á la Tierra en el espacio de doce días, lo cuál es perfectamente verosímil.

A la teoría de Siemens le faltaba tratarla matemáticamente, lo cuál efectuó hace cosa de tres años un meteorologista alemán, llamado Oberbeck, autor, asimismo, de otra teoría de la circulación atmosférica: ambas concuerdan en todo, menos en la extensión vertical de los vientos superiores de las latitudes elevadas y de los inferiores de las latitudes bajas.

El gran físico Helmholtz (que la ciencia acaba de perder) presentó hace pocos años á la Academia de Ciencias de Berlín una explicación de los vientos, basada, hasta cierto punto, en experimentos de laboratorio. Demostró Helmholtz que en la circulación del aire había que tener muy en cuenta ciertas causas perturbadoras, y que no bastaba considerar el movimiento del fluido con arreglo á los principios de la hidrodinámica. Por ejemplo, de no existir esas causas, un viento que soprase con velocidad de 14 metros en el paralelo de 10°, alcanzaría la enorme de 134 metros a la latitud de 30°, lo cuál sabemos que no sucede. Demostró también, que un anillo ó faja de aire dotado de movimiento de rotación, cuyo eje sea el de la Tierra, contiene un plano en el que reina la calma, decreciendo la presión desde ese plano, tanto hacia los polos como hacia el ecuador. Este razonamiento viene á probar de un modo independiente, la existencia de la zona de altas presiones y de calmas de las latitudes medias.

Estima Helmholtz, como causas importantísimas de la distribución de las presiones y del equilibrio atmosférico, la capacidad calorífica de los distintos estratos del aire, combinada con su variable velocidad angular, llegando a formular el siguiente teorema: «Cuando el estrato de aire dotado de mayor capacidad calorífica está situado en la dirección del polo celeste, esto es, paralelo al eje de rotación de la Tierra, su equilibrio es estable.»

De este teorema deduce Helmholtz, por medio del análisis matemático, diversas fórmulas, aplicables á todos los casos que pueden ocurrir, explicando la dirección y fuerza del viento cerca de la superficie del suelo, á la altura media de la atmósfera y en las regiones superiores. A más de la capacidad calorífica del aire y de la orientación de los estratos, tiene también en cuenta los cambios de equilibrio producidos por el rozamiento, por el caldeo del suelo y por las mezclas de aire de diferentes temperaturas.

Uno de los puntos más curiosos que trata, también matemáticamente, es el de las olas atmosféricas, que vienen á ser 2630,3 veces mayores que las del mar. Cuando el viento sopla con velocidad media de 10 metros por segundo, levanta olas en el agua, cuya longitud es de 21 centímetros; con el mismo viento la longitud de onda en el aire es de 549,6 metros. En el mar son frecuentes las olas de un metro, con vientos de fuerza moderada, el cuál produciría olas de 2 á 3 kilómetros en las capas de aire cuya temperatura se diferenciase en 10°. Las grandes olas de los temporales, que miden hasta 10 metros, estarían representadas en la atmósfera por olas de 15 á 30 kilómetros, que llegarían desde las capas superiores hasta el suelo, como ocurre en el mar cuando se descubren los bajos, porque en esos casos la longitud de onda es mayor que la distancia que hay del escollo á la superficie del agua.

Presentar un resumen de las teorías existentes sobre la circulación atmosférica, es tarea casi imposible, según puede juzgarse por los ligeros extractos que anteceden, y esta dificultad parece que tiende á aumentarse, pues no hay día que no aparezca una nueva explicación; muchas pretenden apoyarse en el análisis matemático; pero se apartan tanto del buen sentido y de la observación de los fenómenos, que, más que hipótesis, son puras especulaciones. Sin embargo, se admite actualmente de un modo casi universal, y puede considerarse como doctrina científica del momento lo siguiente:

Todas las corrientes aéreas del globo están producidas por el desigual caldeamiento de su superficie, que depende de la oblicuidad con que reciben los rayos solares.

El movimiento de rotación de la Tierra alrededor de su eje, causa perturbaciones que modifican la dirección de las corrientes.

En el ecuador, ó próximo á él, hay en la superficie una zona de calmas, donde ascienden las componentes meridionales de los vientos alisios del Nordeste y del Sudeste. Esta zona de calmas tiene poca altura, y encima de ella sopla constantemente viento del Este, tanto más violento, cuanto mayor sea el nivel de las calmas.

Al llegar á cierta elevación, el aire que asciende en el ecuador se dirige hacia los polos; pero la rotación terrestre lo hace desviar hacia el Este y forma los vientos contraalisios superiores, del Oes-Sudoeste en el hemisferio boreal y del Oes-Noroeste en el austral.

A los 35° de latitud, en ambos hemisferios, también hay calmas en la superficie del suelo, producidas por el descenso de una parte de las masas de aire que ascendieron en el ecuador. Otra parte continúa su camino en dirección á los polos.

El aire que desciende en las zonas de calmas de los 35° se encamina por la superficie hacia el ecuador; pero la rotación terrestre lo desvía hacia el Oeste y forma los alisios del Nordeste en el hemisferio boreal y del Sudeste en el austral.

Desde los 35° de latitud hacia los polos soplan vientos del Sudoeste en nuestro hemisferio, y del Noroeste en el opuesto, en la superficie del suelo.

Encima de éstos hay una corriente que procede de los polos y va á la latitud de 35°, y sobre esta corriente y en las capas superiores continúa solando como Oeste la masa de aire procedente del ecuador, que no descendió en la latitud de 35° y que va á descender en las regiones polares, produciendo un casquete de calmas.