

estremecimientos del suelo que no son perceptibles sino con aparatos microscópicos, y cuya frecuencia es sin embargo tal que se ha podido decir que la corteza del globo está siempre agitada en alguno de sus puntos, ¿no se podría decir de ellas que son como manifestaciones acompasadas de esos movimientos de gran lentitud comprobados en diferentes regiones? O también, y según parece resultar de observaciones positivas, ¿no se pueden atribuir esos débiles balanceos á la acción de los movimientos atmosféricos, á las bruscas variaciones de presión que preceden ó acompañan á las grandes perturbaciones del aire? Cuando el barómetro sube ó baja rápidamente, resulta un repentino aumento ó disminución de peso de la envoltura fluida que debe traducirse en una oscilación, en un sentido ó en otro, de las capas elásticas del suelo sobre las que descansa la atmósfera. Pero únicamente á fuerza de observaciones continuadas se podrán dilucidar estas cuestiones dudosas todavía.

LIBRO TERCERO

LA CIRCULACIÓN OCEÁNICA Y ATMOSFÉRICA
LAS CORRIENTES MARINAS.—LOS VIENTOS

CAPÍTULO PRIMERO

LAS CORRIENTES MARINAS

I

LOS MOVIMIENTOS DEL MAR

Si la costra sólida de la Tierra, la parte más estable del globo, al menos entre las que nos son accesibles, oscila sin cesar; si además está sujeta accidentalmente á las perturbaciones que revelan las erupciones volcánicas y los terremotos, ¿qué no debe esperarse por este concepto de las partes fluidas, como el océano y la atmósfera? En éstas ya no hay estabilidad: la movilidad es la regla; la calma, la excepción. En virtud de las propiedades mecánicas y físicas de los líquidos y de los gases, las aguas del mar, lo propio que las capas del océano aéreo, se hallan en un estado de continua agitación. Múltiples son, como vamos á ver, las causas de estos movimientos intestinos; pero las más activas son las variaciones de calor emanadas de las sucesiones de los días, de las noches, de las estaciones en las diferentes latitudes y las variaciones de presión á que dan lugar. Podría verse aquí cierta analogía entre las perturbaciones que afectan á la corteza sólida y las que ocurren en el océano y en la atmósfera, puesto que unas y otras tienen el calor por origen. Sólo que estas dos clases de fenómenos presentan también un contraste, toda vez que en las erupciones y tempestades seísmicas es el calor interior el que está en juego, al paso que en los movimientos de la atmósfera y de los mares es el calor exterior ó solar.

Las roturas de equilibrio que ocurren en el seno de las masas líquidas ó gaseosas se dan á conocer con frecuencia bajo las formas más desordenadas en la apariencia; pero aun en tal caso estos fenómenos anormales están sujetos á ciertas leyes que se han descubierto gracias á observaciones multiplicadas, y cuyo conocimiento ha empezado á difundir gran luz sobre la economía meteorológica del planeta. En cuanto á los movimientos generales del aire y de las aguas, se efectúan con una regularidad que no tiene nada de sorprendente, si se reflexiona que esta regularidad procede de la renovación periódica de causas constantes, que producen naturalmente los mismos efectos en las mismas épocas y en los mismos lugares.

Cuanto más se estudian estos fenómenos tan variables, tan complejos, más se va conociendo su mutuo encadenamiento y sus relaciones con los demás fenómenos naturales, terrestres ó cósmicos; más se consigue disipar la confusión que presentan los hechos particulares ó locales para abarcar su conjunto de una ojeada, y finalmente, con mayor claridad aparece la teoría, tan bien establecida hoy por la ciencia, de una circulación doble en los dos océanos que cubren el planeta, el océano aéreo y el océano marítimo. En estos momentos solamente se halla en bosquejo el conocimiento de las leyes de los movimientos generales de la atmósfera y de los mares; pero ya es posible formarse una idea de su importancia creciente desde el doble punto de vista de la ciencia pura y de sus aplicaciones prácticas. Pronto veremos que en esto no se trata de simples conjeturas; los progresos hechos en Meteorología de treinta años á esta parte se deben en su mayoría al descubrimiento de las leyes de que hablamos; y por otra parte, los hechos, más elocuentes que las palabras, han demostrado los beneficios que han reportado ya de ellas dos de las ramas más activas de la producción ó de la riqueza, la navegación y la agricultura.

Así, pues, la circulación oceánica y la atmosférica serán el principal objeto de este Libro. Empecemos por la primera, esto es, por el estudio de las corrientes marinas.

Las aguas del mar están agitadas perpetuamente, por decirlo así: en su superficie están surcadas de arrugas más ó menos marcadas, de olas de variable altura que se propagan en forma ondulatoria, es decir, sin que en realidad cambien de lugar las masas líquidas que las componen. Rara vez está el mar bastante tranquilo para que se pueda comparar su superficie con la de un lago que refleja los objetos como un espejo; cualquier corriente aérea, desde la brisa más leve hasta el impetuoso vendaval, ocasiona ese movimiento rítmico cuya intensidad está en razón de la fuerza y duración del viento, dependiendo también de la extensión de los mares y del grado de salsedumbre de sus aguas. En el Atlántico Norte se han medido olas cuya cresta se elevaba á 13 metros de altura sobre el punto más bajo de la depresión que separaba dos oleadas sucesivas; y cerca del cabo de Buena Esperanza, en el límite común del Océano Indico y del Atlántico, los marinos ven elevarse á veces esas montañas de agua salada á 15, 18 y hasta 33 metros de altura. La amplitud media de las ondulaciones está en relación con la altura, comprendiendo desde unos cuantos metros hasta 200 ó 300. La velocidad aparente de propagación de las ondas varía también con la amplitud de las olas y con la profundidad de las aguas. Por ejemplo, según Airy, una ola de 30 metros de amplitud recorre por término medio $6^m,80$ por segundo en un mar de 300 metros de profundidad, velocidad que llega á $21^m,85$, si tanto aquélla como ésta son diez veces mayores. En cuanto á la profundidad á que se siente la agitación de las olas de la superficie es mucho mayor de lo que primeramente se había creído, y puede medirse por centenares de metros. Depende de la altura de las olas, pero hay que añadir que la agitación disminuye rápidamente de intensidad, si es exacto que á partir de la superficie esta intensidad decrece en proporción geométrica cuando la profundidad aumenta en proporción aritmética.

El viento no tan sólo ejerce su influencia en la superficie del mar comunicándole su movimiento ondulatorio, sino que su acción, largo tiempo reiterada en el mismo sentido y en grandes extensiones, llega á ser impulsiva y ocasiona el transporte de las masas de agua, por lo menos de las capas superficiales: más adelante veremos que esta es una de las causas principales que aducen los físicos para explicar la formación de las corrientes.

Con frecuencia acontece que el mar está agitado, proceloso, en sitios en que el aire está tranquilo y el cielo despejado. Fácilmente se comprende la razón de este fenómeno; la agitación que entonces se observa no es otra cosa sino el golpe de rechazo de un fuerte temporal, de una tempestad que se ha propagado desde el punto remoto en que ha tenido origen por toda la extensión de una cuenca marítima, sin que la región superior, es decir, la atmósfera, haya propagado en el mismo sentido el movimiento que había comunicado primeramente á la masa de las aguas. Hemos visto sin embargo que una oleada excepcional puede tener nacimiento en ciertos casos en una erupción volcánica submarina, en algún temblor de mar, fenómenos que no tienen nada de común con la acción de los vientos. Las oleadas debidas á las conmociones del suelo en las cercanías de las costas ocasionan también movimientos considerables en grandes extensiones de la superficie del océano. Pero semejantes movimientos ondulatorios tienen más analogía con los que constituyen las mareas que con la agitación casi puramente superficial que causan las corrientes aéreas.

Hemos visto en el primer tomo de esta obra las causas que motivan la doble oscilación diurna de las mareas oceánicas. La acción combinada de la atracción de la Luna y de la del Sol sobre el océano, tomada en su conjunto, es la que ocasiona sucesivamente en todos los meridianos la intumescencia líquida cuyo paso por un punto produce en él el fenómeno de la pleamar. Con doce ó trece horas de intervalo, una nueva marea sigue á la primera, de la cual está separada por una depresión del nivel del mar que corresponde á la marea baja. No pensamos volver á ocuparnos de este fenómeno de origen cósmico, por lo cual nos limitaremos á hacer observar que esta agitación periódica con sus máxima y sus mínima mensuales en las épocas de las sizigias y de las cuadraturas, y con sus máxima y sus mínima mensuales en los equinoccios y en los solsticios, además de variar considerablemente de intensidad de un mar á otro, está asimismo sujeta á la acción favorable ó contraria de los vientos. Cuando estalla un temporal en la misma dirección en que se propaga una gran marea de equinoccio, da á las olas un impulso de energía proporcionada á la suya; pero disminuye de intensidad si la dirección del viento obra en sentido contrario. Los marinos y todos los habitantes de las costas contiguas á los mares sujetos á las grandes mareas conocen por experiencia estas vicisitudes del elemento líquido.

Pasemos ahora á tratar de las causas de agitación del mar que dependen más directamente del calor.

Al caer los rayos solares más ó menos oblicuamente sobre la superficie del mar, elevan la temperatura del agua á un grado tanto mayor cuanto más próxima á la vertical está la dirección de los rayos. Así, pues, esta elevación de temperatura varía con la latitud, con las estaciones y con las horas del día, y sus efectos no pueden dejar de ser tan desiguales como ella. Estos efectos son: por una parte, una dilatación ó aumento de volumen, es decir, una disminución de densidad al mismo tiempo que una elevación en el nivel de las aguas dilatadas; por otra parte, una evaporación en la superficie, tanto más activa cuanto más elevada es la temperatura y más distante del punto de saturación se halla el estado higrométrico del aire que se extiende sobre dicha superficie; por tanto, si la evaporación fuese la única que obrase, produciría una disminución del volumen y por consiguiente del nivel del mar en el sitio considerado; por fin, en tercer lugar, por el hecho mismo de la evaporación, una disminución en la cantidad de agua pura que contienen las capas superficiales y un aumento de densidad en el agua restante, cada metro cúbico de la cual queda más cargado de sales de lo que lo estaba antes.

Si la evaporación saca de la superficie de los mares una notable cantidad de agua (Maury estima en 4^m,50 el espesor de la capa evaporada anualmente entre los trópicos) y si de aquí resulta cierto aumento para la densidad, estos dos fenómenos, compensados ya en parte por los efectos opuestos de la dilatación térmica, lo están más aún por la condensación y la caída, en forma de nieve y lluvia, de los vapores producidos, por el caudal llevado á los mares por los ríos y en fin por el derretimiento de las nieves polares. A decir verdad, las nubes que nacen de la evaporación en la superficie del océano no siempre se resuelven en lluvia en los sitios mismos en que el vapor se ha formado: gran parte de ella cae en la superficie de los continentes ó bien va á condensarse á latitudes elevadas, arrastrada hasta allí por las corrientes aéreas. Las más de las veces el regreso tiene lugar á gran distancia del punto de origen. Pero de esto no puede deducirse otra cosa sino que las aguas del océano, además de la agitación que procede de la acción de los vientos y de las mareas, están transportadas sin cesar de un punto á otro de la inmensa cuenca que las contiene á todas, ya en las alturas de la atmósfera en estado de vapor ó bien en el de gotitas líquidas y cristalizadas que caen en las tierras y en el lecho de los ríos, ora en fin aprisionadas en los hielos del polo. La acción de la gravedad, unida á las variaciones de su propia temperatura, las vuelve á llevar por último á las regiones de donde han partido. Todo lo que no cae convertido en lluvia en la superficie del mismo océano, vuelve á él por las corrientes fluviales por una parte, y por las marinas por otra. Tal es la gran ley general de circulación ó de cambio entre los fluidos en la superficie del globo, ley que, en virtud de un movimiento incesante de los líquidos y de los vapores, templó los climas extremos y conserva la vida en todas sus formas en las distintas zonas del planeta.

Por la simple enumeración de estos diferentes efectos que penetran más ó menos profundamente debajo de la superficie líquida herida por los rayos solares, es posible formarse idea de la complejidad del problema que se ha de resolver, cuando se quiere determinar su resultante general. Por el momento, bástanos dejar consignado que cada uno de estos efectos, tomados aisladamente, es una causa de perturbación, de rotura de equilibrio de las aguas oceánicas. Los unos obran en un sentido, y los otros en el opuesto. Para que sucediera lo contrario, sería preciso imaginar un océano indefinido, enteramente semejante á sí mismo en todas sus partes, y que recibiera por igual la radiación solar en todos los puntos de su superficie y sin ninguna interrupción.

Después de haber enumerado las causas generales del movimiento de las aguas del mar, vamos á ver cómo ha comprobado la observación la existencia de las corrientes regulares y constantes que constituyen la circulación oceánica.

II

LAS CORRIENTES MARINAS: HISTORIA DE SU DESCUBRIMIENTO. - MÉTODOS DE OBSERVACIÓN

Mucho antes de haberse reconocido la permanencia de las grandes corrientes oceánicas, habían ya llamado la atención de los marinos ó de los habitantes de ciertas costas algunos indicios positivos de su existencia. Los restos de vegetales, árboles desarraigados, hierbas, semillas, transportados á larga distancia del lugar de que procedían, probaban que las aguas del mar estaban sometidas, por lo menos accidentalmente, á grandes movimientos superficiales, y había lugar á suponer que dichos objetos habían sido arrastrados por corrientes ó por violentas tempestades. También parece positivo

que mucho antes del descubrimiento del Nuevo Mundo, los habitantes de las Orcadas habían visto llegar á sus islas indígenas del continente americano, cuyas piraguas habían sido empujadas hasta aquellos sitios de los mares del Norte.

Quien reconoció por vez primera la existencia positiva de la gran corriente ecuatorial así como su dirección fué Cristóbal Colón, durante su tercer viaje efectuado en 1498, "el primero en que procuró llegar á las regiones tropicales por el meridiano de las Canarias.", Y en efecto, en su diario de á bordo se lee lo siguiente: "Tengo por cierto que las aguas del mar se mueven, como el cielo, de Este á Oeste, es decir, según el movimiento diurno aparente del Sol, de la Luna y de los demás astros.", Reconoció además que este movimiento es más fuerte en el mar de las Antillas, del cual dijo Rennel tres siglos después que "no es una corriente, sino un mar en movimiento.",

Posteriormente á Colón, Anghiera averiguó que la corriente, después de seguir el contorno del golfo de México, proseguía su marcha á lo largo de las costas orientales de la América del Norte y llegaba hasta Terranova. Estas primeras observaciones eran muy incompletas, pero se multiplicaron á medida que tomó creces la navegación por los grandes mares y que fué mayor el número de viajes transatlánticos. Por último, gracias á las observaciones hechas por Hally y Dampierre en los dos siglos precedentes, y en el nuestro merced á los trabajos de Daussy, C. Romme y Becker, y á las investigaciones de Humboldt, del mayor Rennel y del comandante Maury, ha hecho grandes progresos. Entremos desde luego en algunos detalles acerca de los métodos ó procedimientos que han hecho posibles estos progresos.

Hemos dicho que los objetos flotantes habían dado la primera idea de las corrientes marinas. Pero atenerse á este sistema de observación era subordinar al azar una investigación que exigía más exactitud, era avenirse las más de las veces á no conocer más que el punto de llegada de una corriente, y cuando más el de partida. Algunos navegantes tuvieron la oportuna idea de echar al mar botellas herméticamente tapadas conteniendo una hoja de papel con la fecha, el día y la hora, y la situación en longitud y en latitud del sitio en que habían sido arrojadas. Bastaba por lo menos que algunas de estas reliquias instructivas se librasen de la destrucción y fuesen recogidas más adelante en el mar por otros marinos, ó encontradas en las costas habitadas, para poder trazar con cierta aproximación la dirección de la corriente que las había transportado y calcular un límite de su velocidad (1). Esta clase de observaciones multiplicadas permitieron á Dussay en Francia y á Becker en Inglaterra trazar cartas de las corrientes oceánicas.

Agregáronse á este otros métodos. Por ejemplo, los marinos calculan con bastante

(1) Unas botellas echadas en el mar de las Antillas ó en las inmediaciones de las costas de la América del Norte iban á parar á las de la Europa occidental; otras, arrojadas en el estrecho de Gibraltar, se las recogía en el golfo de México: unas y otras habían atravesado, pero en sentido inverso, todo el Atlántico. La mayor velocidad comprobada fué de 35 kilómetros por veinticuatro horas ó de 1.460 metros por hora.

En marzo de 1824 el transporte inglés *Kent* sufrió en la Mancha un terrible huracán y además lo destruyó un incendio. Pocos momentos antes de la catástrofe, el mayor Mac Gregor que iba á bordo mandando un regimiento que el buque debía llevar á la India, echó una botella al mar para dar aviso del suceso cuyo resultado inminente y fatal dejaba pocas esperanzas de salvación á los marinos y pasajeros del *Kent*. Por fortuna el bergantín *Cambria* pudo recoger á bordo la mayor parte de la tripulación. Nueve años después encontró la botella en la costa Norte de la Barbada un negro que la envió á Mac-Gregor, á la sazón de guarnición en esta isla. Seguramente había sido llevada hasta allí por la corriente que de la Mancha pasa á la altura de las costas de Francia y de España, y luego desde las Azores penetra en el mar de las Antillas para salir por el canal de Bahama.