

Los cuadrados de las cartas holandesas no tienen más que un grado de lado; las longitudes de las flechas, contadas desde el borde de un circulito interior, indican las proporciones por ciento de los vientos en cada dirección. Pero la suma total de las longitudes de las flechas es la misma en todos los cuadrados, que de este modo resultan comparables entre sí; es igual al doble de los lados del cuadrado. Por esto sucede, como

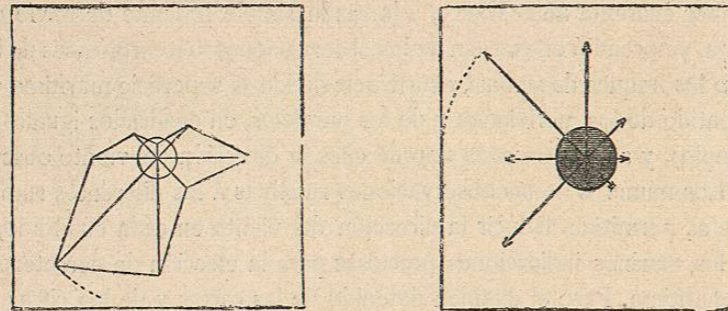


Fig. 204.—Rosas de las cartas náuticas inglesas para la dirección de los vientos

lo indica la figura 205, que las flechas más largas pueden atrevesar muchos cuadrados. El número inscrito en el centro de la rosa indica la proporción por ciento de las observaciones de calmas, y el del ángulo superior izquierdo del cuadrado da el número total de observaciones.

En las nuevas cartas náuticas americanas trazadas por el comodoro Krafft, todas las flechas parten de las divisiones de la circunferencia del círculo inscrito en el cua-

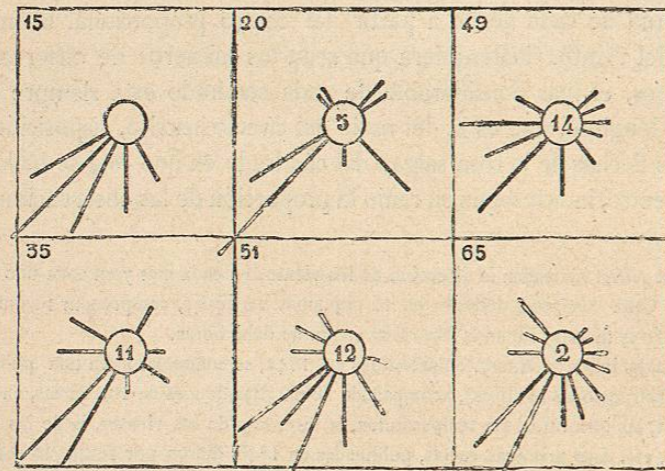
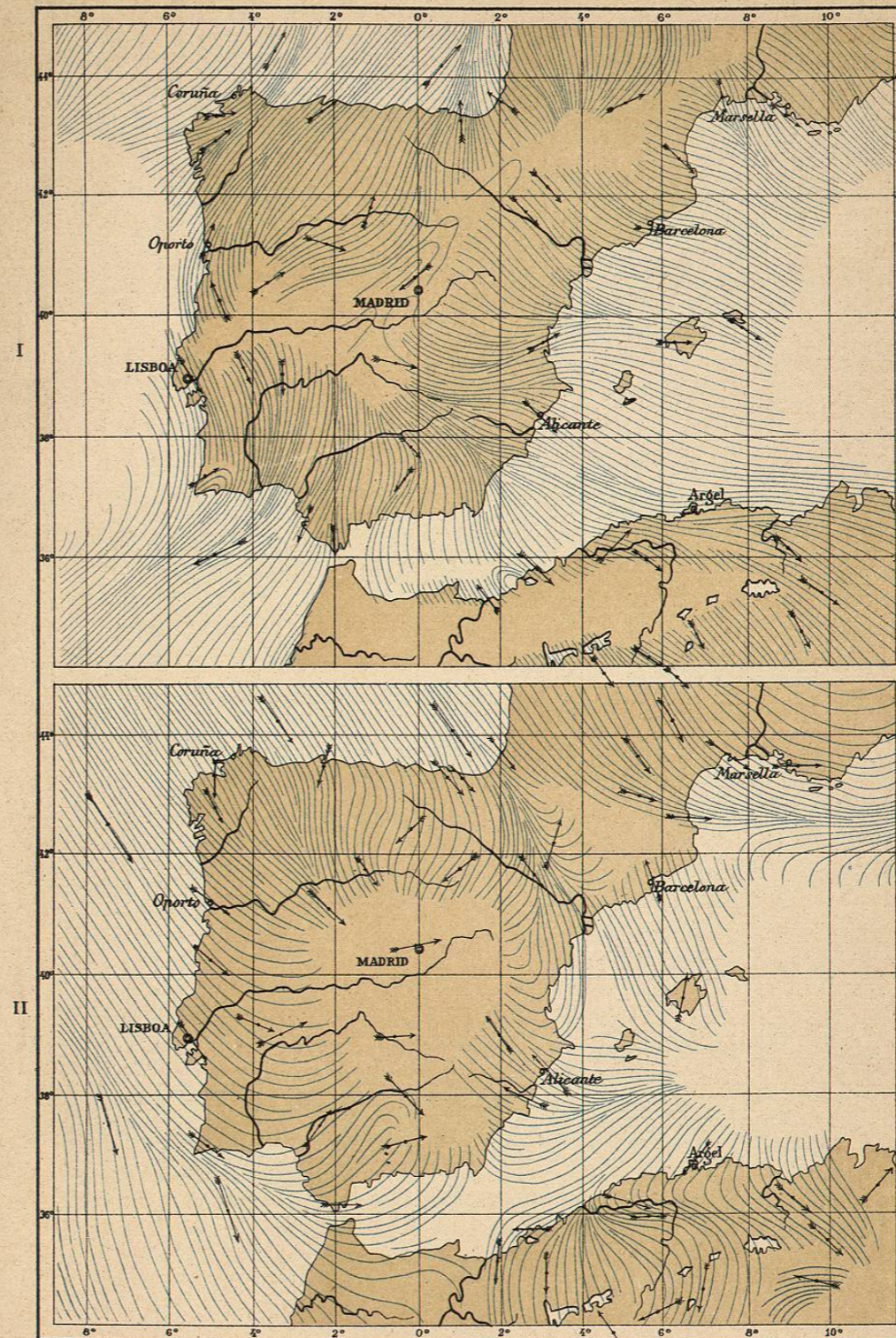


Fig. 205.—Rosas de vientos de las cartas holandesas por cuadrados de un grado

drado. Su suma total es constante como en el sistema holandés, pero solamente igual al radio del círculo, lo cual es necesario para evitar su superposición. Por lo general son muy cortas, y como no parten de un mismo punto, es más difícil juzgar de sus valores relativos.

Pasemos ya al método adoptado por M. Brault para las cartas de navegación francesa. El procedimiento gráfico era en un principio el de las cartas inglesas, pero el polígono formado por las rectas que reunían las flechas estaba dado de color para hacerlo más visible. En el centro del círculo una cifra indicaba el número total de las obser-

LOS VIENTOS DE LA PENÍNSULA IBÉRICA



EL MUNDO FÍSICO

MONTANER & SIMÓN

I.—Circulación atmosférica en enero
II.—Circulación atmosférica en julio

vaciones correspondientes al cuadrado, y el de las calmas estaba marcado por el espesor del anillo formado por el círculo central y por otro círculo concéntrico al primero.

Más adelante, queriendo indicar al mismo tiempo que la dirección la intensidad del viento en cada rumbo, M. Brault substituyó las flechas ó líneas ordinarias de un solo trazo con las combinaciones de líneas que se ven en la figura 205, y que indican los diferentes grados de intensidad del viento. La longitud de la flecha mayor es la del radio inscrito; marca el rumbo del viento más frecuente, y las longitudes de las demás son proporcionales á la frecuencia relativa de los vientos correspondientes. Cada una está formada, si á ello hay lugar, de partes compuestas de los trazados precedentes, y las longitudes de estas partes son á su vez proporcionales á la frecuencia de los vientos de cada intensidad en esta dirección misma.

En las cartas del Atlántico Norte, publicadas en 1880 por la *Oficina central meteorológica* de Francia, M. Brault ha modificado del modo siguiente el sistema de representación de la intensidad media de los vientos en cada dirección. Las flechas

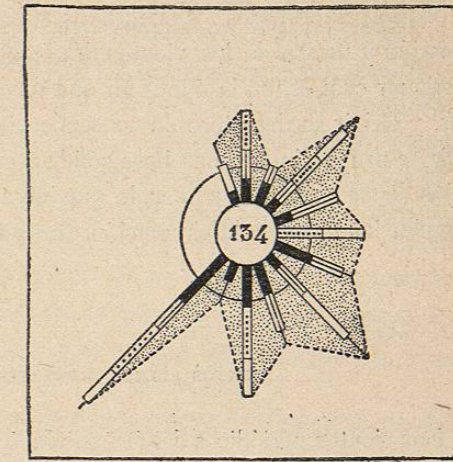


Fig. 206. — Rosas de vientos de las cartas náuticas francesas. Dirección é intensidad, según el método de Brault.

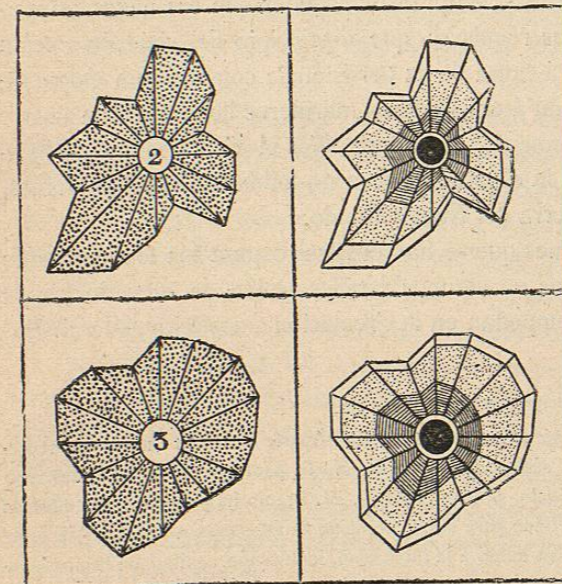


Fig. 207. — Polígonos de colores representando la dirección y la fuerza del viento en las rosas de las cartas náuticas del Atlántico Norte, de M. Brault.

indican también con sus longitudes la frecuencia relativa en cada rumbo, pero cada una de ellas está dividida en tres partes, y los puntos de división unidos por otros tantos contornos poligonales, limitando espacios dados desigualmente de color, como se puede ver en las dos rosas de la derecha de la figura 207. El color central, que es el más oscuro, representa de este modo el conjunto de los vientos frescos y de las brisas fuertes del cuadrado; la tinta media, el conjunto de las brisas frescas y de las brisas pequeñas, y la más clara, las brisas leves y las calmas. “Si todas las flechas de un polígono, dice M. Brault, están cortadas por las tres tintas ó colores (á partir del circulito blanco interior) en la

relación de 25 á 40 y á 35 por ejemplo, esto significa que en el cuadrado en que se encuentra el polígono considerado, hay 25 por 100 de vientos frescos y de brisas fuertes, 40 por 100 de brisas frescas y regulares, y 35 por 100 de brisas leves y de

calmas. Además, en el círculo interior de los polígonos, de donde salen las flechas y que en todas partes es el mismo, hay un circulito negro concéntrico cuyo diámetro varía para cada polígono. El diámetro de estos circulitos negros es proporcional á la fuerza ó más bien á la velocidad media de los vientos en cada polígono,, (1).

Comparando todos los cuadrados sucesivos de un mismo océano, y estudiando la dirección y fuerza de los vientos dominantes en cada uno de ellos, puede el marino averiguar cuál es, en la época en que navega, el rumbo más favorable que puede seguir, y dirigir su derrotero en consecuencia. En cuanto al meteorologista, el mismo estudio le proporcionará una base sólida para desentrañar, entre los fenómenos tan complejos de las corrientes aéreas, lo que haya de regular y constante en su sucesión, y para formular las leyes de la circulación atmosférica general.

V

VIENTOS ALISIOS, MONZONES; CIRCULACIÓN INTERTROPICAL

Los vientos periódicos del Océano Indico, conocidos con el nombre de *monzones*, no eran ignorados de los antiguos y de los navegantes griegos, que en lugar de navegar costeano, se aventuraban por el mar de las Indias y dieron á dichos vientos el nombre de *hippalos* (2). Pero los *alisios*, que soplan entre los trópicos y principalmente en el Océano Atlántico y el Pacífico, no los observaron por primera vez los europeos hasta 1492. Cuando el primer viaje de Cristóbal Colón, á mediados del mes de septiembre, asustados los compañeros de este grande hombre de la continuidad de las brisas que soplaban constantemente del Este, empezaron á temer que sus naves no podrían volver á España; y estos vientos regulares, que al principio del viaje favorecían los proyectos de Colón, amenazaban á causa de su persistencia con darle un golpe funesto, por cuanto inducían á la sedición á unos pobres marineros llenos de toda suerte de terrores supersticiosos. Afortunadamente, á los pocos días el viento roló al Sudoeste, devolviéndose momentáneamente la esperanza. Aun no había transcurrido un mes, cuando Colón descubrió la primera tierra del Nuevo Mundo.

Antes de transcribir las explicaciones que se han propuesto para los fenómenos de las monzones y de los alisios, entremos en algunos detalles acerca de estas dos clases de corrientes que tan gran papel desempeñan en la circulación atmosférica general. Hablemos primeramente de los alisios.

(1) *Anales de la Oficina central meteorológica de Francia*, 1880, IV. Aparte de las 14 láminas que representan todos los elementos de las corrientes aéreas del Atlántico Norte, para las estaciones de invierno (diciembre, enero y febrero) y de verano (junio, julio y agosto), M. Brault ha publicado los cuadros de 470.000 observaciones francesas que han servido para la construcción de estas cartas. La mitad de estas observaciones son relativas á la dirección, la otra mitad á la intensidad, innovación capital que hemos indicado ya. Debemos decir que, en opinión de M. Van Heerd, del Observatorio de Utrecht, la representación de la intensidad del viento es prematura; "no podrá ser útil á los marinos hasta que se haya inventado un buen instrumento para observar la fuerza del viento en el mar." Debemos hacer votos por que este deseo se realice cuanto antes; pero de todos modos M. Brault es digno de encomio por haber sabido utilizar mientras tanto las observaciones de los marinos, por imperfectas que sean.

(2) *Monzun*, dice Humboldt (en malayo *musim*, el *hippalus* de los griegos), procede del árabe *mausim*, época fija, estación, época de la reunión de los que van en peregrinación á la Meca. Se ha aplicado esta palabra á la estación de los vientos regulares, los cuales sacan su nombre específico de los países de donde soplan; así se dice el *mausim* de Adén, el *mausim* de Guzerate, de Malabar, etc.,

La observación demuestra que estos vientos ocupan á uno y otro lado del Ecuador una zona que varía de 28 á 30 grados en latitud; pero el Ecuador no divide esta zona en dos partes iguales, pues mientras los alisios del Nordeste no llegan por término medio hasta dicha línea, los del Sudeste la traspasan, y se sienten hasta los 3° de latitud boreal (á lo menos en el Océano Atlántico). En el Pacífico, el alisio del Nordeste sopla de una manera tan regular, que los antiguos galeones españoles que hacían la travesía de las costas occidentales de México á las islas Filipinas, cruzaban sin desviarse de su rumbo los 150 grados de longitud que hay entre Acapulco y Manila. En cuanto á la dirección de los alisios del hemisferio boreal, varía entre el paralelo 30 y el Ecuador desde el Nornordeste hasta el Esnordeste, desviándose más y más hacia el Este conforme se van acercando á su límite meridional.

La extensión y el límite de los alisios varían con las estaciones. Avanzan hacia el Norte durante el verano del hemisferio boreal, retrocediendo por el contrario hacia el Sur durante la estación de invierno, y este movimiento, que coincide con el del sol, afecta á los alisios del Nordeste lo mismo que á los del Sudeste.

Entre las dos zonas de alisios, y por consiguiente á escasa distancia del Ecuador, hay en toda la extensión del Pacífico una zona ó faja de calmas llamadas *calmas ecuatoriales*. En el Atlántico hay otra región semejante, pero cambia de lugar con las estaciones, ora cerca del continente americano meridional, ó bien más inmediata al continente africano y al mismo tiempo al Ecuador. Caracterizanse estas regiones, ó bien por las calmas chichas, como lo indica su nombre, ó por los vientos variables, llamados *brisas locas*, según las designan los marinos. En cada hemisferio y á una y otra parte de los alisios se observan también dos zonas de calmas, que cambian de lugar juntamente con sus límites; pero como están inmediatas á los trópicos, se las conoce con los nombres de *calmas del trópico de Cáncer* y *calmas del trópico de Capricornio*.

Los alisios del Nordeste y del Sudeste no tienen toda su regularidad, ni su constancia de fuerza y de dirección, sino en pleno océano. La influencia de las masas continentales es notoria en el Pacífico, por cuanto no se perciben los alisios hasta cierta distancia de las costas occidentales de América, siendo mucho más notable esta influencia en la cuenca del Atlántico, por ser más reducida que la del otro Océano.

El mar de las Indias está rodeado por tres partes, al Norte, al Oeste y al Este, de grandes extensiones continentales, y únicamente al Sur, está enteramente libre y exento de las influencias de las variaciones de temperatura y de presión que no pueden menos de modificar el régimen de los vientos alisios. En enero, es decir, á mediados del verano del hemisferio austral, dos máximas térmicas que coinciden con dos depresiones barométricas, ocupan la Australia por un lado y el Africa austral por otro. Al Norte de Asia existe un centro de presión máxima, juntamente con un minimum de temperatura. En tales condiciones, la parte del mar de las Indias situada al Norte del Ecuador está sujeta al régimen de los alisios del Nordeste, que toman allí el nombre de *monzón del Nordeste*; mas hacia la parte oriental, en el mar de la Sonda, son los vientos de Oeste los que soplan con el nombre de *monzón del Oeste*, lo cual se explica por la influencia ó atracción del minimum australiano. En cambio los alisios del Sudeste reinan en la parte austral del Océano Indico. Entre los alisios y las monzones reina una región de calmas, casi debajo del Ecuador.

Hacia el equinoccio de primavera sucede á las monzones regulares, en el Norte del Océano Indico, un período de vientos variables, con calmas chichas y huracanes, al paso

que los alisios del Sudeste continúan reinando, como todo el año, en la parte austral del mismo mar. En julio los máximos térmicos y los centros de depresión han subido con el sol hacia el Norte; los vientos soplan del Sudoeste hasta octubre en toda la parte septentrional del mar de las Indias; es la *monzón del Sudoeste*. Luego, después de una transición marcada por vientos variables, calmas y tempestades, la monzón recobra poco á poco su dirección primera del Nordeste. Por lo demás, en la parte oriental del Océano Indico, en los mares que bañan el gran archipiélago de la Malasia y las costas orientales del Asia hasta China, las direcciones de las monzones y las épocas de su regreso varían notablemente, lo cual consiste en las influencias locales, en la de las tierras insulares ó continentales, donde la distribución de las presiones y de las temperaturas varía hasta lo infinito.

En resumen, el carácter distintivo de las monzones comparadas con los alisios es que éstos son vientos regulares de dirección casi constante, mientras que las monzones, aparte de la regularidad de sus períodos, están sujetas á cambios alternativos, á inversiones de dirección. La influencia de las estaciones que no produce en los alisios del Atlántico, del Pacífico y del Océano Indico austral más que un movimiento de oscilación en sus límites boreales ó australes, paralelo al de la declinación del Sol, ocasiona en las monzones del Norte del mar de las Indias y en las de los mares de la China y de la Sonda grandes desviaciones en su dirección. Y como la diferencia entre estas dilatadas extensiones marítimas parece depender sobre todo de la mayor ó menor proximidad de los continentes, y la regularidad, la constancia de los vientos alisios es tanto más marcada cuanto más vastos y despejados son los espacios marítimos en que soplan, será permitido deducir de aquí que esta regularidad y esta constancia serían generales en toda la periferia del globo si los mares se extendieran en todos sentidos. Los continentes, las islas, por la desigualdad de su distribución, las irregularidades de su forma y de su posición, y la disparidad de temperaturas y presiones, son las causas de las perturbaciones que sufren los vientos regulares y que la observación comprueba principalmente en los océanos tan rodeados de tierras como el mar de las Indias.

Y en efecto, se ha conseguido dar una explicación racional de los alisios y de las monzones prescindiendo desde luego de las anomalías que estas corrientes presentan. La teoría adoptada hasta aquí es la que dieron uno tras otro dos sabios de los siglos XVII y XVIII, Halley y Hadley. He aquí en qué consiste:

Bajo la acción incesante de los rayos solares que tienen en la zona ecuatorial una incidencia meridiana que dista muy poco de la vertical, las capas de aire inmediatas al suelo se caldean mucho, no tanto por efecto de la radiación directa como por la del calor que refleja el suelo mismo. El enrarecimiento que resulta de este caldeo produce una corriente ascendente que lleva el aire de las regiones inferiores á los límites de la atmósfera, en donde se desparrama y se escapa, en parte hacia el Norte y en parte hacia el Sur del Ecuador. Este efecto, máximo en las regiones que el Sol hiere verticalmente, disminuye de intensidad á medida que el observador se aleja de él; por consiguiente, debe haber dos corrientes aéreas superiores, una que se dirige al Norte, y otra al Sur. Muy luego veremos cómo se ha comprobado la existencia de esta doble corriente.

Pero á medida que el aire caldeado y enrarecido se escapa así por la parte superior de las zonas ecuatoriales hacia latitudes más elevadas, el aire más frío y más denso de estas últimas regiones viene á reemplazarlo, resultando de aquí dos corrientes de direcciones opuestas á las de las corrientes superiores, procedentes, una del Norte en el

hemisferio boreal, y otra del Sur en el austral, y ambas engendradas en las capas inferiores de la atmósfera. Estos dos vientos son los que, desviados hacia el Oeste por el movimiento de rotación de la Tierra, se convierten en alisios del Nordeste al Norte del Ecuador, y en alisios del Sudeste en el hemisferio austral.

Tal es la teoría de los vientos alisios adoptada por la mayor parte de los meteorologistas, sin que haya tenido ninguna modificación de importancia desde la época en que la formuló Hadley (1). Descansa en principios ó hechos que no son controvertibles: 1.º, en la existencia de una zona de temperatura máxima, bastando fijar la vista en las cartas en que están trazadas las isoterms medias, ya sean del año ó ya de las estaciones extremas, para reconocer la existencia de esta zona, que los movimientos del Sol habrían indicado *á priori*, si las observaciones no la hubieran comprobado desde tiempo inmemorial. La atmósfera de esta zona caldeada y dilatada constituye lo que muchos físicos llaman *anillo de aspiración*; 2.º, en el principio físico de que las capas de aire así caldeadas se elevan en virtud de su disminución de densidad, siendo reemplazadas por una absorción de aire más frío y más denso procedente de las zonas más boreales ó más australes, de lo cual se sigue la necesidad de dos corrientes opuestas, una superior y otra inferior, que en la hipótesis de la inmovilidad de la Tierra, tendrían por dirección la de los meridianos; 3.º y último, en la desviación aparente ocasionada por el movimiento de rotación de la Tierra y de las velocidades desiguales de los puntos situados bajo diferentes paralelos. En efecto, hemos demostrado antes que una molécula de aire que avanza hacia el Ecuador, animada en el momento de su partida de una velocidad de rotación que conserva en virtud de la inercia mientras dura su proyecto, se va retrasando cada vez más con respecto á los puntos del meridiano de que se ha separado, y parece por ello desviada al Oeste. Si por el contrario se aleja del Ecuador, parece desviada al Este.

Pero si los hechos y las observaciones están conformes con esta teoría sucinta de

(1) Según hemos dicho antes, se atribuye comúnmente esta teoría á Halley y Hadley; mas el primero no hacía intervenir el movimiento de rotación de la Tierra como causa de desviación de los vientos que soplan del Norte y del Sur hacia el Ecuador. Admitía como viento general un viento de Este, que debía su origen á que el aire caldeado y enrarecido del hemisferio oriental vuelto hacia el sol empuja á occidente, es decir, hacia el hemisferio frío, á causa del aumento de su elasticidad, al aire que le precede, siendo en el Ecuador donde dicho viento de Este reina sin cambiar de dirección. Por otra parte, como el calor es más fuerte en el Ecuador que en los trópicos, este viento general tiene cierta tendencia á girar hacia el Norte en el hemisferio boreal y hacia el Sur en el austral. La combinación de estas dos direcciones con la del viento Sur, debido á la rotación terrestre, produce los alisios del Nordeste y del Sudeste, tales como se los observa en las dos zonas tropicales. Halley elaboraba esta teoría (que reproducimos aquí según el análisis que de ella se hace en el artículo *Vientos* de la Enciclopedia) en 1686. Hadley no formuló hasta 1735 la suya, es decir, la que acabamos de exponer en el texto, en la cual dice claramente que "para explicar los fenómenos de los vientos alisios no es necesario suponer en el aire un movimiento real y general de oriente á occidente, sino que el movimiento diario de la Tierra basta para conseguirlo." En este supuesto, muestra que los vientos del Norte y del Sur, ocasionados por el enrarecimiento del aire cerca del Ecuador, se desvían de esta dirección por efecto de la rotación, cuya velocidad va creciendo á medida que disminuye la latitud. Del mismo modo explica las contracorrientes que nacen de la ascensión del aire del Ecuador enrarecido y que, siendo primeramente corrientes de las regiones superiores, se acercan poco á poco á la superficie de la tierra conforme se van enfriando, para llegar á ser más allá de los trópicos vientos de Oeste inferiores. Parece pues, que á quien corresponde el honor de la verdadera teoría de los alisios es á Hadley, y no á su casi homónimo Halley. El mérito del primero de estos sabios, su parte en la nueva teoría, ha consistido en sustituir la acción calorífica del Sol á la que aducían antes los partidarios de Copérnico para explicar los alisios: éstos atribuían el viento general de Este al retraso que debía sufrir la atmósfera al seguir el movimiento de rotación de la Tierra.