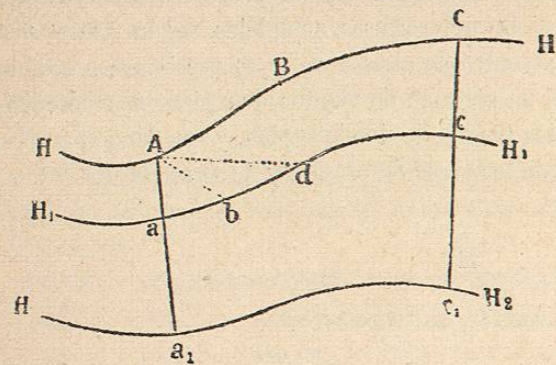


sión de dos isobaras vecinas por la distancia más corta de un punto de la una á la otra, el cociente que resulta expresa el número de milímetros en que disminuye la presión respecto de la unidad de distancia en esta dirección. Esto es lo que se llama *gradiente barométrico*, ó simplemente *gradiente*. Cuando conoce el valor y la dirección del gradiente en un punto y para una época dada, sábase cuál es en tal momento la



distribución de la presión alrededor de este punto. Por el contrario, si las isobaras están trazadas en una región, fácil es deducir de ella la dirección y valor del gradiente barométrico en cada punto de la región. Según lo que acabamos de ver, los centros de fuertes ó bajas presiones son puntos de convergencia ó de divergencia para los vientos, que siempre soplan de los puntos en que la presión es mayor hacia aquellos en que es menor; de suerte que si no interviniese ninguna causa extraña, la dirección de las isobaras permitiría conocer la de los vientos reinantes en una región cualquiera, siendo siempre la segunda normal á la primera; la intensidad relativa de estos vientos se calcularía también según el valor de los gradientes barométricos. Pero no ocurren las cosas tan sencillamente. Hay varias influencias que modifican el movimiento atmosférico; en primer lugar, la rotación de la Tierra, luego la acción de la fuerza centrífuga y por último las resistencias variables que sufre el movimiento de las capas del aire, ya por su frotamiento recíproco, ya por el que experimentan contra los relieves del suelo.

El movimiento de rotación de la Tierra tiene por efecto desviar la dirección del viento á la derecha en el hemisferio boreal, y á la izquierda en el austral, de lo cual es fácil darse cuenta. Consideremos el movimiento de un punto del hemisferio Norte que propende á acercarse al Ecuador, en cuyo caso se encuentran todos los vientos que soplan de la región del Norte, entre el Este y el Oeste. Una molécula de aire A (fig. 201) que en virtud de su solo movimiento llegaría á *f* en dirección del meridiano, sufrirá una desviación al Oeste como si procediese de un punto situado entre el Norte y el Este. En efecto, en el momento de su partida participa del movimiento de rotación de Oeste á Este de todos los puntos de su paralelo; pero como su velocidad en este sentido es menor que la de los puntos cuya latitud lo es también, se irá retrasando más y más á medida que se acerque al Ecuador. Para conocer su posición en un momento cualquiera, será preciso componer su velocidad propia en la dirección del meridiano con la diferencia de velocidad del paralelo de partida y la del paralelo de llegada, dirigida

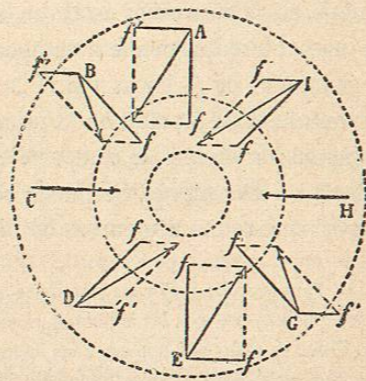


Fig. 201.—Desviación en la dirección ocasionada por el movimiento de rotación de la Tierra

en sentido contrario al del movimiento de la Tierra, es decir, hacia el Oeste. La diagonal del paralelogramo así construído dará la dirección aparente de la molécula de aire, ó la desviación de la dirección del viento. Dos moléculas B, I, procedentes la primera del Noroeste y la segunda del Nordeste, parecerán desviadas en el mismo sentido, es decir, hacia el Este, pero su desviación será menor, por cuanto la diferencia de velocidad de rotación de los paralelos va disminuyendo á medida que se consideran vientos que se aproximan más á soplar del Este ó del Oeste. Para estos últimos rum-

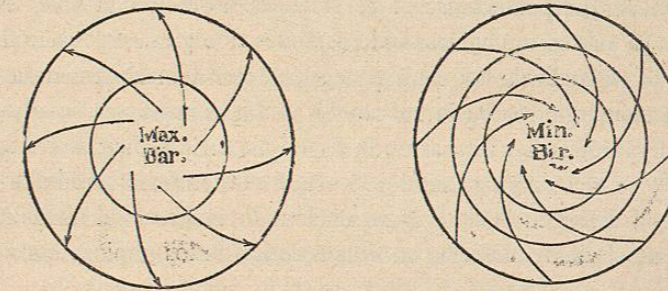


Fig. 202.—Trayectorias del viento en el hemisferio boreal

bos la desviación debe ser nula. Si consideramos ahora una molécula de aire arrastrada por un viento procedente de la región del Sur, y por consiguiente, alejándose del Ecuador, su velocidad de rotación, mayor á la partida que á la llegada, le dará cierto avance en el sentido del movimiento de la Tierra, de lo cual resultará una desviación hacia el Este, es decir, hacia la derecha en el sentido del movimiento del viento, conforme puede comprenderse examinando en el grabado los paralelogramos que han servido

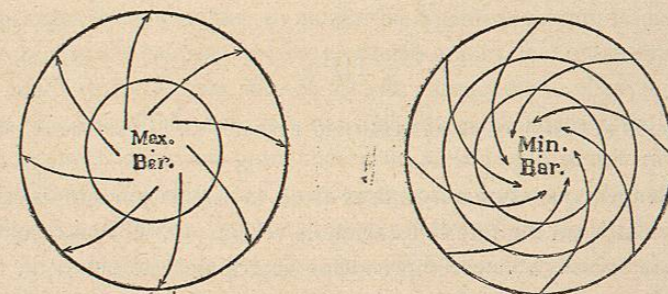


Fig. 203.—Trayectorias del viento en el hemisferio austral

para la composición de las velocidades de la molécula. En una palabra, todos los vientos de la región Sur parecerán soplar más ó menos del Oeste al Este.

Si del hemisferio boreal pasamos al austral, y repetimos el mismo razonamiento y la figura demostrativa que acabamos de presentar al lector, se verá fácilmente que la desviación causada por el movimiento de rotación ocurre allí hacia la izquierda. Todos los vientos de la región Norte de la rosa se desvían hacia el Este, y todos los del Sur que soplan hacia el Ecuador, al Oeste.

Apliquemos ahora estos resultados á los movimientos de divergencia ó de convergencia de los vientos alrededor de los centros fuertes ó bajas presiones.

Hemos visto antes que las isobaras forman alrededor de estos centros curvas que

se circunscriben unas á otras; la forma más simple de estos sistemas es la de círculos equidistantes, teniendo por lo tanto el mismo gradiente en cada uno de sus puntos. Si el movimiento de aire tuviese únicamente por origen las diferencias de presión de una isobara á otra, las trayectorias del viento serían en todas partes perpendiculares, es decir, radios de círculos concéntricos, convergirían hacia los centros de presiones mínima y divergirían, por el contrario, hacia los de presiones máxima, lo mismo en un hemisferio que en otro. Pero las desviaciones producidas en la dirección del viento por efecto del movimiento de rotación de la Tierra no consienten que así sea. Dichas trayectorias, en lugar de ser perpendiculares á las isobaras, forman con ellas ángulos más ó menos abiertos. El aire se mueve trazando espirales que giran en el sentido de las agujas de un reloj divergiendo de los centros de alta presión en el hemisferio boreal, y en sentido opuesto convergiendo hacia los centros de bajas presiones en el mismo hemisferio, como lo demuestran las flechas de la figura 202. En el hemisferio austral, el movimiento del aire se efectúa en un sentido precisamente inverso; alrededor de un centro de alta presión, la divergencia tiene lugar en sentido contrario al de las agujas de un reloj, al paso que el viento describe en él, alrededor de los mínima barométricos, espirales convergentes que giran en el mismo sentido que las agujas.

Verdad es que no todo ocurre con esta regularidad; si las isobaras tienen á menudo la forma de curvas envolventes concéntricas, á menudo también no se parecen á un círculo y distan mucho de ser equidistantes. Por último, las trayectorias desarrollan, precisamente á causa de su curvatura, una nueva fuerza de desvío, la fuerza centrífuga, á la vez que están sujetas á la influencia de varias resistencias, motivadas por los relieves del suelo, al movimiento de las capas aéreas. Así como todas las leyes físicas, las que acabamos de definir experimentan perturbaciones numerosas que á veces impiden ver sus efectos. Vamos sin embargo á verlas en algunos casos sencillos, tal como las dan las observaciones.

### III

#### CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA EN EL ATLÁNTICO BOREAL Y EN LA PENÍNSULA IBÉRICA

El primer ejemplo que vamos á citar es el de la circulación atmosférica media en el Atlántico septentrional durante la estación de verano (1), tal cual resulta de las eruditas y laboriosas investigaciones emprendidas acerca de este punto de meteorología por el teniente de navío Brault, de la marina francesa. Empezando de nuevo y con datos más completos la inmensa tarea que Maury había acometido con el objeto de deducir de las observaciones el régimen de los vientos en la superficie de los mares, y limitándose en un principio á la región del Atlántico septentrional, Brault reunió más

(1) "Cuando se quiere estudiar la circulación general atmosférica en una de las grandes cuencas oceánicas, la carta de verano de esta cuenca es la que debe consultarse con preferencia, porque en efecto, en las cartas de verano las curvas son más claras, más sencillas, más continuas, y por tanto más expresivas. Para esto hay una razón muy natural: las cartas sinópticas demuestran la existencia de torbellinos que, en las latitudes medias del Atlántico boreal, por ejemplo, atraviesan el Océano de Oeste á Este; estos torbellinos son mucho más numerosos en invierno que en verano, y como arrastran en torno suyo vientos en todas direcciones, estos vientos llegan á perturbar los *promedios* y á hacer imposible que se consigne en la carta el movimiento general. Por esto se comprenderá que la carta de verano sea mejor que la de invierno cuando se tiene empeño en considerar el fenómeno de la circulación en toda su generalidad, hecha abstracción de los accidentes que puedan perturbarla." (Brault, *Estudios sobre la circulación atmosférica del Atlántico Norte.*)

de 650.000 observaciones allí donde el sabio meteorologista americano no había podido reunir más que unas 200.000. Lo que se proponía era determinar, para cada cuadrado de 5° por ejemplo, tomado en el Atlántico Norte, cuál es en cada estación la dirección probable del viento, la ley de intensidad y de sucesión probable, y proporcionar así á los marinos cartas de navegación á propósito para guiarles y abreviar su derrotero. Tal era ya el objeto de Maury, y el mismo que persiguen hoy varias sociedades meteorológicas extranjeras y los Institutos ó Asociaciones que publican cartas náuticas de los principales mares del globo. Pero Brault introdujo una innovación importante en su trabajo, pues no se limitó á indicar como Maury y sus sucesores la dirección probable del viento, sino también su intensidad probable, elemento cuya importancia no es menor para el marino que para el meteorologista. Más adelante nos ocuparemos del modo de representación adoptado; por ahora indicaremos los resultados que han dado á Brault los documentos por él examinados, y cómo deduce de ellos la circulación atmosférica del Atlántico Norte durante el verano.

En la región comprendida entre la Europa y el Africa occidental por una parte y las costas orientales del continente americano por otra, Brault distingue cuatro puntos meteorológicos principales, á saber: al Oeste y al Este el golfo de México y el Sahara, al Norte y al Sur el grupo insular de las Azores y una región del Atlántico que denomina *región maximum de las calmas* y que está situado entre Africa y la América del Sur, un poco más cerca de ésta (entre 5° y 10° de latitud Norte y 32° y 42° de longitud occidental). Los dos primeros puntos son centros de convergencia de los vientos. Siguiendo el movimiento general de los alisios del Nordeste (ya del lado del golfo de México, ó ya cerca de la costa de Africa) ó bien los alisios del Sudeste, se ve que unos y otros se dirigen siempre, ora hacia el Sahara, ora hacia México. Pues bien, las curvas de isobaras y de isotermas concuerdan en indicar estas dos regiones como centros de bajas presiones y de máxima térmicos. De estos dos movimientos convergentes de direcciones opuestas debía resultar, en medio del Atlántico y cerca del Ecuador, la existencia de una región de calmas, que es el cuarto punto, la *región maximum de las calmas*. "En cuanto á las Azores, dice M. Brault, alrededor de ellas se ve un inmenso torbellino que gira en sentido directo y del cual surge, al Noroeste de las islas y bastante lejos del centro, como un gran chorro de viento, que siendo primero Sudsuroeste, se torna Sudoeste y después Oessudoeste, para formar en breve los vientos de Oeste de las latitudes elevadas. Junto al centro del torbellino, los vientos que son Oeste encima de él, forman una curva y se hacen sucesivamente á la derecha Oesuroeste, Noroeste, Nornoroeste, y luego Norte á la altura del cabo Finisterre. A partir de aquí, al paso que cerca de las Azores y debajo de ellas los vientos continúan su movimiento de rotación Nordeste, Este, Sudeste, Sur, se ve como otro chorro inmenso, que desprendiéndose del torbellino, no lejos del mismo cabo de Finisterre, se encorva insensiblemente, pero con tanta regularidad como una curva matemática de las más sencillas, y atravesando el Atlántico para pasar al golfo de México, forma en su camino lo que se ha convenido en llamar *vientos alisios*. Tal es el cuadro de la circulación general de los vientos de verano en el Atlántico Norte."

Brault añade una observación importante y es que aquí se trata de equilibrio dinámico. "El equilibrio de la atmósfera es inestable; el centro de rotación de las Azores y la región maximum de las calmas tienen un movimiento de vaivén."

Pasemos ahora á nuestro segundo ejemplo, el cual nos lo proporciona el estudio completo é interesante de la circulación atmosférica en la Península ibérica: hecho por

M. L. Teisserenc de Bort, es en cierto modo una introducción al estudio de la misma circulación general en los continentes.

La posición particular que ocupa España en la punta Sudoeste de Europa, da á esta región limitada una gran ventaja sobre las otras regiones, que es "la de poseer de una manera marcada, dice el erudito meteorologista, los caracteres de la temperatura, de la presión y de la circulación del aire en los continentes; en una superficie limitada presenta la imagen reducida de los fenómenos de Asia y América, y su posición en el globo la exime en gran parte de los efectos de la circulación de conjunto, de suerte que los diferentes elementos, como temperatura, presión, viento, ejercen cierta reacción unos sobre otros sin que los grandes centros de acción que presenta la atmósfera influyan gran cosa en ellos. Además, España está rodeada de agua casi por todas partes y presenta una forma próximamente cuadrangular, de suerte que los fenómenos tienen en ella gran simetría."

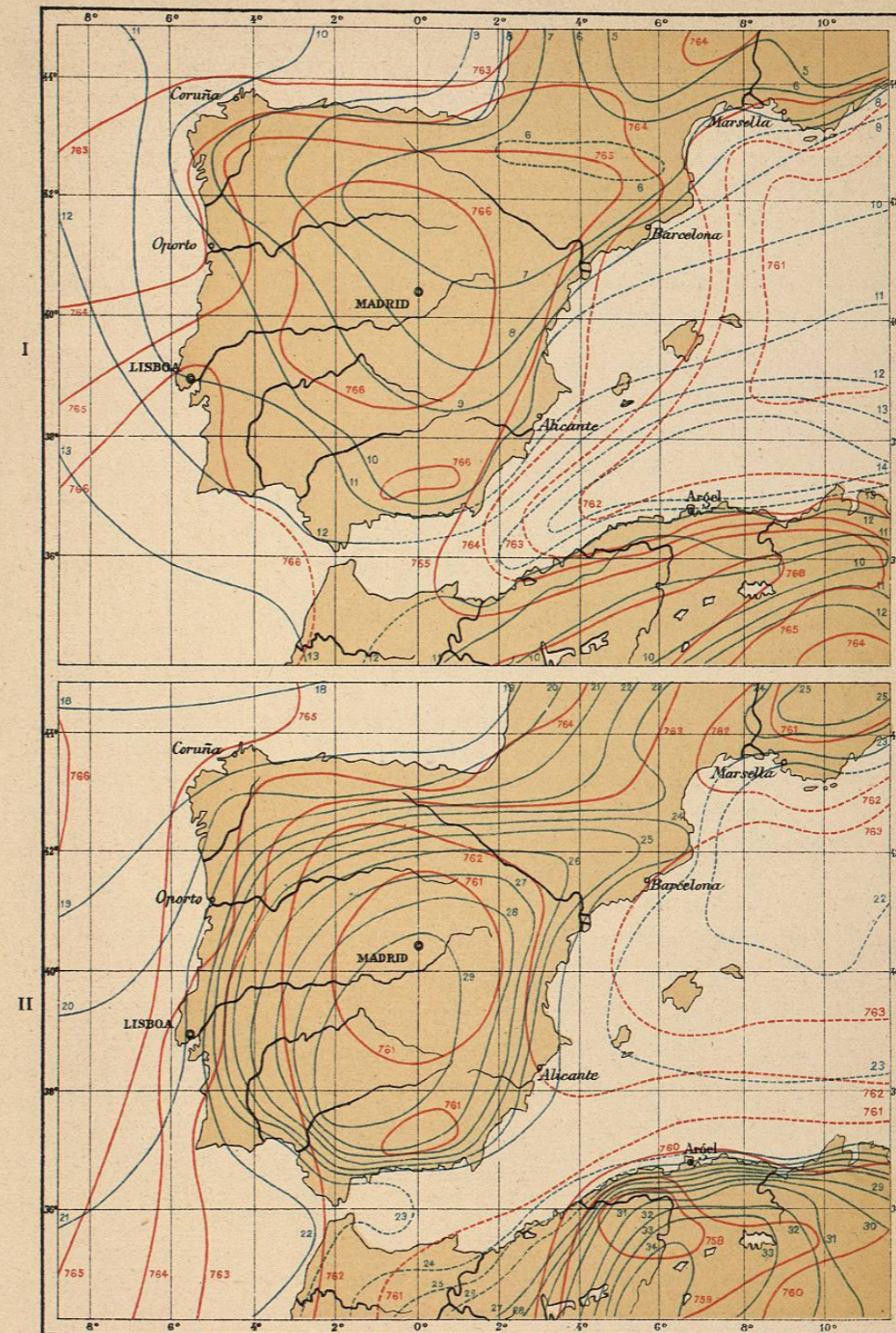
En las cartas de la región ibérica en que ha trazado M. Teisserenc las isobaras y las isotermas de los meses de enero y julio, tanto en la península como en los mares circunvecinos y en las regiones vecinas de Francia y Argelia, se nota desde luego el enlace que hemos observado á menudo entre la distribución de las temperaturas y la de las presiones.

En enero, es decir, en el período de la estación fría, las temperaturas más bajas se encuentran en las partes continentales; las isotermas pasan, bajando, del Atlántico á la Península para elevarse en el Mediterráneo; los mínima térmicos están hacia los Pirineos en España y en la región de las mesetas del Atlas en Africa, viéndose un máximo á la altura de Argel en el Mediterráneo. Por su parte las isobaras indican la existencia de un centro de altas presiones hacia la mitad de España, y en Argelia, en la región del mínimo térmico, se ve otro máximo barométrico.

Considerando las curvas de presión y de temperatura de julio y la circulación atmosférica media del mismo mes, resultan las mismas conclusiones, á saber: que generalmente y salvo los accidentes locales, los centros de bajas presiones son puntos de convergencia para los vientos; los de altas presiones, puntos de divergencia, y por fin, que las presiones y las temperaturas varían en sentido contrario, coincidiendo las temperaturas más elevadas con las presiones mínima. Hacia el centro de la Península, la temperatura llega al máximo de 29°, y la misma región está rodeada por la isobara de 761 milímetros, que indica un centro de baja presión. "La circulación atmosférica de la Península en julio, dice M. Teisserenc, presenta claramente la imagen de una monzón regular que penetra en ella por todas las costas y hasta por el istmo pirenaico." Y en efecto, en su mapa citado, las flechas que indican la dirección del viento en dicho mes convergen casi de toda la periferia de la Península. En términos generales puede decirse que se ve marchar el aire hacia las bajas presiones.

Los dos casos particulares que acabamos de examinar, al poner en evidencia las relaciones que enlazan el movimiento del aire, ya sea en el océano ó ya en los continentes, con la distribución de la temperatura y con la de la presión barométrica, nos llevan naturalmente á tratar de los vientos regulares, alisios, monzones, etesios, los unos constantes, los otros periódicos, pero teniendo unos y otros su explicación en los mismos principios y dependiendo de la misma teoría. Mas antes de entrar en la descripción de estas corrientes que tan gran papel desempeñan en la circulación atmosférica general, ocupémonos de un punto del cual hemos tratado ligeramente, el de la representación gráfica de los elementos del viento.

### LA PRESIÓN Y LA TEMPERATURA EN LA PENÍNSULA IBÉRICA



EL MUNDO FÍSICO

MONTANER & SIMÓN

- I.—Isobaras é isotermas medias de enero  
 II.—Isobaras é isotermas medias de julio

## IV

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS ELEMENTOS DEL VIENTO. — ROSAS DE VIENTOS  
DE LAS CARTAS NÁUTICAS Y METEOROLÓGICAS

Cuando hace cuarenta años Maury, á la sazón simple teniente de navío de la marina americana, emprendió el examen de las observaciones meteorológicas de los diarios de á bordo de los buques de su país, ocurriósele dividir la superficie marítima del planisferio, en el sentido de los meridianos y de los paralelos, en cuadrados iguales (de 5° de lado por ejemplo), y anotar en cada uno de ellos la dirección del viento observada por cada buque. Los números de las observaciones relativas á los diferentes rumbos, comparados entre sí, permitían deducir la dirección del viento en cada cuadrado, y dar de este modo á los marinos indicaciones preciosas para la elección de derrotero en cualquier región marítima. Pero el examen detenido de las cartas y de las cifras que contenían (1) era una tarea tan penosa como prolija, y para evitársela á los marinos, trazó Maury los principales derroteros en sus cartas náuticas. El éxito fué tal (2), que las principales naciones marítimas se apresuraron á seguir el ejemplo del ilustre americano. Hoy, Inglaterra, Francia, Holanda tienen sus cartas náuticas; pero con un perfeccionamiento notable, que consiste en sustituir las indicaciones numéricas con el sistema de representación gráfica, del que vamos á decir algunas palabras.

Las cartas náuticas inglesas fueron las primeras en adoptar este método de figuración de los vientos. En cada cuadrado de 10° construían una rosa que indicaba trimestralmente (las cartas de Maury eran anuales) la dirección de los vientos del cuadrado, siendo la longitud de cada flecha á partir del centro proporcional al número de las observaciones del viento. Cualesquiera que sean los números de observaciones de los diferentes rumbos, el más considerable de cada cuadrado está siempre representado por una misma longitud, que es la del radio del círculo inscrito, disposición cuyo objeto es evitar que las flechas de la rosa salgan del cuadrado en que ésta se halla trazada. Un circulito, en el centro, indica según su radio la proporción de las observaciones de calmas.

(1) Las *Cartas pilotos* indicaban la dirección de los vientos en cada mes y en cada uno de los diez y seis rumbos del viento. Cada cuadrado, dividido en 12 columnas verticales, comprendía 16 líneas horizontales. Las observaciones (tres diarias) daban la dirección media de ocho horas.

(2) Las investigaciones de Maury, emprendidas en 1842, se condensaron en una publicación titulada *Sailing directions* (instrucciones náuticas), acompañada de un atlas de más de 100 cartas, en las que estaban indicadas las lluvias, las tormentas, las temperaturas, la dirección de los vientos, la de las corrientes marinas, los derroteros, etc. Las primeras cartas, publicadas en 1848, dieron por resultado reducir de 41 á 24 días la travesía de Baltimore al Ecuador, cabiendo al capitán americano Jackson el honor de la primera aplicación de un método que debía ser tan fecundo. En 1854, la travesía de Londres á Sydney quedó reducida á un mes; la de los Estados Unidos á California por el cabo de Hornos, que antes era de 180 días por término medio, llegó á ser, merced á las cartas de Maury, de 135, luego de 100 y por último de 90 días solamente. "Yo había anunciado, dice Maury, que la porción de travesía de regreso de Australia, comprendida entre esta tierra y el cabo de Hornos, podría hacerse en menos tiempo del que había invertido el vapor en recorrer igual distancia, y había anunciado además á los barcos que comerciaban con Australia que su viaje de circunnavegación se efectuaría en menos tiempo que la simple travesía de California: ambas predicciones se cumplieron, pues se ha ido de Australia al cabo de Hornos en menos de 25 días, y se ha dado la vuelta al mundo por Australia en menos de 89." Estos maravillosos resultados, que se han multiplicado posteriormente, no son tan sólo resultado del conocimiento de la dirección de los vientos, sino también del de las corrientes del mar, que Maury había estudiado tanto como las aéreas.