

“Cuando Keplero estableció sus inmortales proposiciones, dice M. de Tastes, no se limitó á acumular cifras sobre cifras y aguardar que la verdad se desprendiera por sí sola de su contemplación. Las duraciones de las revoluciones ¿son proporcionales á las distancias medias de los planetas al Sol? Consulta cifras, y las cifras responden negativamente; prueba otra relación sin mejor éxito, y á fuerza de pasar diez y siete años probando y tanteando consigue por fin su objeto. ¿Por qué no se ha de imitar este método? Partiendo de cierto número de hechos perfectamente averiguados, como la existencia de los vientos regulares, de los alisios y de los monzones, de las corrientes oceánicas, de la distribución de los climas templados ó extremados, de su relación con la de los continentes y de los mares, y de lo que sabemos acerca de la hidrodinámica de los fluidos elásticos, ¿no podemos lanzarnos audazmente en el terreno de las hipótesis é idear un sistema de circulación atmosférica que nos explique los hechos comunes? Creado ya este sistema, veamos si los hechos nuevos que las observaciones posteriores nos revelarán confirman la hipótesis ó propenden á modificarla. Si los hechos la condenan, desechémosla y busquemos otra teoría. El único inconveniente que presenta este método es ceder á una complacencia paternal para con nuestras propias ideas, y querer obligar á los hechos á que se presten de bueno ó mal grado á nuestra doctrina; pero si podemos hacer caso omiso de nuestro amor propio de autores, fácil nos ha de ser el no dejarnos arrastrar por tan peligrosa y anticientífica pendiente.

„Otro punto vulnerable tiene este método, y es la carencia de datos exactos sobre los hechos meteorológicos que sobrevienen en dilatadas regiones, inexploradas todavía, y cuya extensión, siquiera disminuya á la verdad de día en día, no deja aún de ser harto considerable. Crear por completo un sistema general de circulación atmosférica en la superficie del globo cuando todavía se ignora casi totalmente lo que ocurre en el centro de Africa, en el de la América del Sur, en el de Australia y en los dos casquetes polares, y cuando en la inmensa extensión de los mares no se tiene más recurso que los diarios de á bordo de los buques, en los cuales sólo se consigna la dirección de los vientos inferiores, parece una obra por demás temeraria y que forzosamente ha de adolecer de grandes vacíos. Pero esta no es una razón suficiente para hacernos desistir de la empresa; para penetrar los misterios de un laberinto, vale más seguir una marcha basada en una idea preconcebida, aun cuando se tenga que retroceder (y aquí la retirada es siempre posible) y que empezar de nuevo con arreglo á otro plan, que caminar á tientas dejándolo todo al azar.,,

Como se ve, M. de Tastes no se hace ilusiones con respecto á las dificultades de la obra que se ha de realizar. En su tiempo y lugar haremos una ligera reseña de la teoría que propone. En esta Introducción nos hemos propuesto solamente, después de trazar un ligero bosquejo del objeto de la Meteorología, de sus métodos y del estado actual de la ciencia, insistir en la extensión de sus vacíos. Fuera de esto, antes de entrar en materia, parécenos conveniente advertir al lector que en este tomo del MUNDO FÍSICO no espere encontrar un tratado metódico y completo: nuestra ambición es más modesta. La descripción de los hechos, tan clara y sencilla como nos sea posible; unida á la de los instrumentos, aparatos ó métodos con auxilio de los cuales se les observa y mide; el enunciado de las leyes ó de las relaciones que la observación ha descubierto entre ellos; la exposición de las teorías propuestas para explicar, ya sea la producción ó ya la sucesión de los fenómenos, relacionándolos con sus causas físicas ó mecánicas, constituirá en este tomo, como en los ya publicados, el programa que procuraremos desarrollar con toda la conciencia de que somos capaces.



VÍCTOR REGNAULT

## NOCIONES PRELIMINARES

### I

#### FORMA Y DIMENSIONES DE LA TIERRA

La atmósfera es el asiento principal de los fenómenos meteorológicos. Los movimientos incesantes, las oscilaciones perpetuas de este océano fluido con todos los cambios físicos á ellos inherentes, forman el objeto de estudio de la rama de la física terrestre conocida con el nombre de Meteorología. El agente especial de los movimientos de que hablamos es el *calor*, cuya distribución desigual varía á cada instante en la superficie del globo, en razón de los períodos de su rotación y revolución, y que está en lucha continua con las fuerzas de gravitación y de atracción molecular de los elementos materiales del aire y del suelo.

Pero si las masas aéreas son las que desempeñan el principal papel en los fenómenos meteorológicos, fácil es comprender que las partes sólidas y líquidas de la superficie terrestre no les ceden en influencia. Hablando con más precisión, diremos que es imposible separar sus acciones y reacciones simultáneas. El aire ó la atmósfera, las aguas de los ríos, de los lagos ó de los mares, y finalmente las capas del suelo, por lo

menos hasta cierta profundidad, son por consiguiente los elementos en cuyo seno ocurren todos los hechos que vamos ahora á estudiar. En tan vasto teatro se desarrollan las múltiples escenas cuyo cuadro procuraremos trazar en este tomo del MUNDO FISICO. Mas, para entrar en materia, nos parece indispensable que preceda á nuestra descripción la del cuadro mismo que debe contenerla.

Es sabido que la Tierra tiene la forma de un elipsoide, aplanado en los polos de rotación, ó lo que es lo mismo, dilatado en el ecuador. No es absolutamente un sólido de revolución, aun cuando se haga abstracción de las desigualdades del suelo de los continentes ó de las islas, ó se reduzca mentalmente la superficie del globo á lo que sería si el nivel de los mares se prolongara por todas partes por encima de las masas sólidas que constituyen el relieve de este mismo suelo. Las irregularidades que se oponen á la posibilidad de esta asimilación á una forma geométrica perfecta son de varias clases. En primer lugar, los meridianos, de los que los geodestas han medido algunos arcos parciales más ó menos largos, no tienen en todos sus puntos curvaturas que indiquen que pertenecen á elipses perfectas. Así resulta de las medidas mismas, las cuales, para los diversos puntos de un meridiano, no dan las longitudes correspondientes á la amplitud del arco medido en la hipótesis de una elipse regular. Además, tampoco parece que los diferentes meridianos sean curvas iguales entre sí, y si se consideran los arcos de los paralelos, se advierten las mismas irregularidades. Cada una de estas curvas, considerada como el sitio de las verticales que forman el mismo ángulo con el eje del mundo, no es un círculo, como debería serlo en el caso de que la Tierra tuviese la forma de un sólido de revolución; sucediendo lo propio con el ecuador, que parece afectar casi la forma de una elipse, mucho menos aplanada que las curvas meridianas.

Finalmente, hay otra clase de irregularidades que consiste en que los dos hemisferios terrestres no son simétricos, pues el aplanamiento del polo Sur es mucho mayor que el del polo Norte.

No se debe sin embargo exagerar la importancia de las anomalías que presenta la forma del globo terráqueo: parecen bien poca cosa si se las compara con sus verdaderas dimensiones. Las cifras que vamos á consignar y algunas comparaciones familiares permitirán formarse una idea exacta de ellas. Pero si se considera las irregularidades en cuestión desde otro punto de vista, el de las causas que han podido producirlas, son, por el contrario, de capital importancia, por cuanto intervienen en la teoría de la constitución física del globo, de la historia de su formación, de la consolidación de su corteza, de los levantamientos y hundimientos que han producido, aquí los continentes, allí los mares. Aparte de esto, nada se opone á que admitamos que estas causas persisten aún y que ciertos cambios de extraordinaria lentitud continúan modificando la forma exterior del planeta, bajo la influencia combinada de las causas exteriores ó astronómicas y de las internas, es decir, de las reacciones del núcleo. Pero este no es el momento oportuno de entrar acerca de este punto en detalles que nos harían salir además de los límites de nuestro programa.

Volvamos á nuestro elipsoide y á su forma. Una cifra caracteriza esta forma: la que expresa su aplanamiento medio (1). Su valor, según las medidas más recientes, está

(1) El semieje menor ó radio polar es más corto que el semieje mayor ó radio ecuatorial. Lo que se llama *aplanamiento* es la diferencia de longitud entre uno y otro radio, referida al radio ecuatorial. El *Anuario de la Oficina de longitudes* para 1884 da los valores siguientes para esta fracción:

\*Basándose en las medidas de los arcos de meridiano siguientes, á saber: arcos ruso-sueco, anglo-francés,

comprendido entre las fracciones  $\frac{1}{292}$  y  $\frac{1}{293}$ , es decir que la depresión en cada polo equivale á la 292.<sup>a</sup> ó 293.<sup>a</sup> parte del radio del ecuador.

Adoptando la primera de estas cifras, resulta lo siguiente para las dimensiones del globo:

Semieje menor ó radio polar. . . . .	6.356,550	metros
Semieje mayor ó radio ecuatorial. . . . .	6.378,394	—
Longitud de un meridiano. . . . .	40.008,032	—
— de la circunferencia ecuatorial. . . . .	40.076,630	—
— del arco meridiano de 1°. . . . .	111,133,4	—
Depresión polar media. . . . .	21,844	—

Hemos dicho antes que el hemisferio austral está un poco más deprimido que el boreal. Su aplanamiento debe ser de  $\frac{1}{286}$ . Refiriéndolo al mismo radio ecuatorial, resultará entonces para la longitud del radio polar austral 6.356,091 metros y para la depresión del polo Sur 22,303, excediendo así en 459 metros de la depresión del polo Norte.

Por último, si se tuviera en cuenta la forma elíptica reconocida en el ecuador, habría lugar á distinguir entre el semieje mayor y el semieje menor de la elipse ecuatorial. Calculándose el aplanamiento particular de esta región de la Tierra (1) en  $\frac{1}{4252}$ , es decir, siendo catorce veces menor que el aplanamiento medio de los polos, se deduce como diferencia de los radios extremos del ecuador 1 kilómetro y medio próximamente.

Tales son las dimensiones y forma de nuestra Tierra, según las medidas más recientes. ¿Sería fácil hacer esta forma perceptible á la vista mediante una representación exacta de la misma? Júzguese por lo siguiente. Para figurar el globo terráqueo, tómese una bola que tenga un metro de diámetro en el ecuador. El diámetro de los polos debería medir 996<sup>mm</sup>,43; la depresión de cada polo no llegará á 2 milímetros (1<sup>mm</sup>,7), es decir, imposible de determinar, como no se tomen medidas minuciosas y exactísimas. En los globos terráqueos usuales que sirven para los estudios geográficos, ó en los mapamundis que por término medio suelen tener 30 centímetros de diámetro, el aplanamiento será cuando más igual á medio milímetro en cada polo, pudiendo desde luego

de las Indias, del Perú y del Cabo, y agregando un arco de paralelo medido en la India, M. Clarke deduce para el aplanamiento medio  $\frac{1}{293'5 \pm 1}$ .

„Por otra parte, uniendo á los arcos de meridiano mencionados el de Prusia, el de Dinamarca y el de Hannover, y haciendo caso omiso del medido en la India, M. Faye deduce  $\frac{1}{292 \pm 1}$ .”

Por último, según las observaciones del péndulo, se encuentra actualmente como valor del aplanamiento  $\frac{1}{292'2 \pm 1'5}$ . Las investigaciones anteriores daban un aplanamiento menor. El *Anuario* de 1866 daba todavía  $\frac{1}{300}$ , y los años siguientes  $\frac{1}{294}$ . Cuantas más mediciones se efectúan, mayor va siendo también la probabilidad de la exactitud de los resultados.

(1) Los extremos del eje menor del ecuador, considerándolo elíptico, están situados, uno en el archipiélago de la Sonda (á 102° long. E. del meridiano de París) y el otro en un punto de la República del Ecuador, á los 78° longitud occidental. Los extremos del eje mayor corresponden, el uno al continente africano (129,1 long. E.), y el otro á la Polinesia, entre las islas Fidji y las Sandwich (167°57).

asegurarse que la forma elíptica de un globo de tales dimensiones será invisible hasta para la vista más ejercitada.

La Tierra, comparada por este concepto con los demás planetas del sistema solar, debería clasificarse en la categoría de los que, como Venus (1), no tienen achatamiento visible.

El de Marte, según las medidas menos favorables, es por lo menos dos veces y media tan grande como el de nuestro planeta.

Júpiter y Saturno, tal como se los ve en los telescopios, presentan discos cuya elipticidad llama desde luego la atención; pero sus aplanamientos son 32 y 20 veces respectivamente mayores que el de la Tierra.

Se puede por tanto tener la seguridad de que si nuestro planeta estuviese relegado en el espacio á la distancia á que vemos á Marte, por ejemplo, en la época de sus oposiciones, les sería difícil á los astrónomos que le apestasen sus telescopios sospechar y con mayor motivo medir la longitud de sus depresiones polares. Podría aducirse sin duda como una probabilidad el testimonio del estado fluido primitivo de nuestro planeta y de la influencia de su movimiento de rotación, movimiento que las manchas del disco terrestre darían á conocer, pero jamás podría invocarse en apoyo de la exactitud de las mismas leyes.

Partiendo de los datos que acabamos de resumir en algunas cifras, y teniendo en cuenta, cual conviene, la forma elipsoidal del globo, se deducen fácilmente por el cálculo los números que representan su volumen y su superficie. El kilómetro cúbico y el kilómetro cuadrado son las unidades que deben adoptarse para esta valuación; y aun así y todo sólo se han de retener las centenas de millar ó mejor aún los millones, para no recargar la memoria con cifras sobre cuya exactitud no se puede afirmar absolutamente nada.

He aquí los números que entonces resultan:

Superficie del hemisferio boreal. . . . .	254.315,000 kilóm. cuadrados
— del hemisferio austral. . . . .	254.285,000 — —
Superficie total de la Tierra (2). . . . .	508.600,000 kilóm. cuadrados
Volumen del hemisferio boreal. . . . .	540,037.000,000 kilóm. cúbicos
— del hemisferio austral. . . . .	539,503.000,000 — —
Volumen total de la Tierra. . . . .	1.079,540.000,000 kilóm. cúbicos

Hemos distinguido entre los dos hemisferios Norte y Sur, teniendo en cuenta la diferencia, más bien supuesta que demostrada, del aplanamiento de los dos polos, lo cual hace al hemisferio boreal más voluminoso que el austral una 1200.<sup>a</sup> parte de este último.

En el primer tomo del MUNDO FÍSICO hemos visto que los sabios, valiéndose de di-

(1) Un solo observador, M. Tennant, ha creído observar un achatamiento en el disco de Venus que, según parece, es igual á  $\frac{1}{260}$  y por consiguiente mayor que el de la Tierra.

(2) No teniendo en cuenta esta diferencia entre las superficies de los dos hemisferios, y considerando la Tierra como una esfera que tiene por radio medio 6,371 kilómetros, resultan 510 millones de kilómetros cuadrados para su superficie total. Esta cantidad redonda será la que adoptemos, como más fácil de retener en la memoria.

ferentes métodos, han llegado á valuar el promedio de la densidad de la materia de que la Tierra está formada; que esta densidad, referida á la del agua, es 5,56; lo que equivale á decir que el peso del globo terráqueo es igual á 5,56 veces el de una esfera de agua destilada del mismo volumen, cuya temperatura fuese, en todos los puntos de su masa, de 4° centígrados sobre el cero del hielo fundente. Calculado el peso de la Tierra entera en toneladas de mil kilogramos, sería éste por consiguiente lo menos de 6,112.000,000.000,000,000 toneladas, ó sean 6,112 trillones de toneladas!

En esta enorme cifra, que excede á cuanto nuestra imaginación puede concebir, no se ha tenido en cuenta la corta cantidad de peso que le agregaría la masa del relieve de los continentes que sobresalen del nivel del Océano, pues el volumen que dejamos calculado es el de la Tierra considerada como si estuviese reducida á este

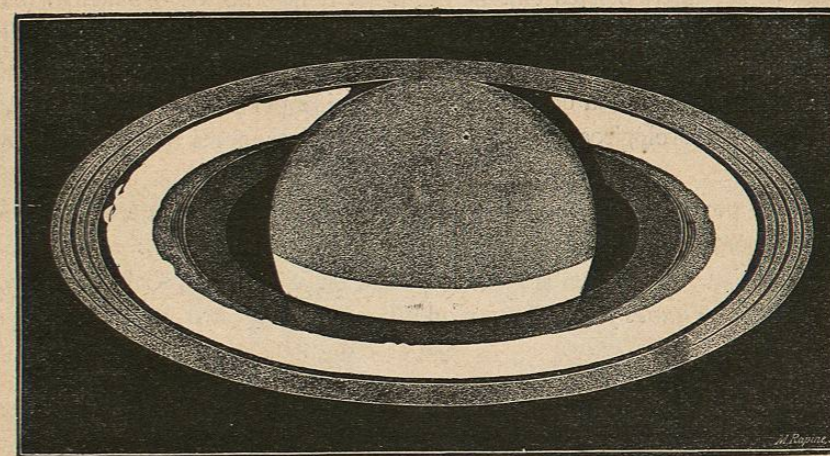


Figura 1.—Aplanamiento de Saturno, visto con el telescopio

nivel. Muy luego diremos algo más acerca de este asunto; pero antes hablemos de la atmósfera.

Puédese conocer su peso ignorando cuál es su volumen y sin haber resuelto de antemano la interesante cuestión que consiste en medir su altura ó calculado el límite en que existe todavía una capa de aire, la capa que, propiamente hablando, separa á la Tierra del espacio circundante, del espacio celeste. El elemento que nos basta para calcular el peso de la atmósfera es la presión barométrica media, tal como se la observa al nivel del mar, y que, para simplificar, la supondremos igual á 760 milímetros. Este peso es el de una capa de mercurio de 76 centímetros de espesor que cubriera por completo nuestro globo; calculado también en toneladas de mil kilogramos, resulta igual á 5,263.000,000.000,000 toneladas.

Tal es el peso del aire que nos rodea por todas partes, y que soportan la superficie del suelo y la de las aguas del mar. Ese fluido tan tenue, tan leve en la apariencia, y cuya presión es insensible para nuestros órganos porque se ejerce en todos sentidos y hasta en el seno del tejido de que están formados, no por eso deja de constituir alrededor del globo una masa tal, que equivale á más de 460,000 cubos de plomo de un kilómetro de lado, ó á 594,000 kilómetros cúbicos de cobre, ó en fin, á 730,000 kilómetros cúbicos de hierro. Comparado este peso con el de la Tierra entera, no llega á formar su millonésima parte. Pero es tal la movilidad de la atmósfera, á causa de su

escasa densidad y de las rápidas variaciones que esta densidad sufre por efecto de las de calor, que las capas que la componen jamás están en reposo, por decirlo así, ó su equilibrio transitorio es de absoluta inestabilidad.

II

EXTENSIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LAS TIERRAS Y DE LAS AGUAS

Todos los datos que preceden se refieren únicamente á la Tierra considerada en su conjunto: pero no es menos interesante, mejor dicho, es más útil para el estudio que nos proponemos el conocer los concernientes á su configuración general. La extensión relativa de las tierras y de las aguas en su superficie, su distribución en cada hemisferio, la masa de las partes sólidas emergentes ó del relieve de los continentes y de las islas, la masa de las partes líquidas que constituyen los mares, son otras tantas cuestiones sobre las cuales conviene tener datos precisos, sin lo cual se correría el riesgo de formarse una idea equivocada de la influencia ejercida por todos estos elementos en los fenómenos meteorológicos, ó por lo menos, de desconocer la dependencia que tienen entre sí.

Empecemos por decir lo que se sabe acerca de la extensión que ocupan en la superficie del globo, los continentes por una parte, y los océanos y los mares por otra. Véanse las cifras que encontramos á este respecto en la parte geográfica del *Anuario de la oficina de longitudes para 1884*, y que ha reunido nuestro ilustrado compatriota M. Levasseur:

Antiguo continente.	Europa . . . . .	9,980,843 kil. cuadrados
	Asia . . . . .	43,104,000 —
	Africa . . . . .	30,008,000 —
Nuevo continente...	América del Norte. . . . .	24,798,000 —
	América del Sur. . . . .	17,755,000 —
Oceanía (Australia, Malasia, Polinesia). . . . .	11,091,000 —	
Superficie total de los continentes y de las islas. . . . .		136,736,543 kil. cuadrados

Véanse ahora las cifras relativas á la superficie de los mares:

Océano Atlántico. . . . .	100,000,000 kil. cuadrados	
— Indico. . . . .	68,000,000 —	
— Pacífico. . . . .	175,000,000 —	
— Glacial boreal. . . . .	10,000,000 —	
— Glacial austral. . . . .	20,000,000 —	
Superficie total de los océanos. . . . .		373,000,000 kil. cuadrados

En resumen, al paso que la extensión de los continentes ocupa unos 137 millones de kilómetros cuadrados, la de las aguas llega á 373 millones, lo que da el total de 510 millones de kilómetros cuadrados para la superficie del globo que ya indicamos anteriormente. De 1,000 partes de esta superficie, unas 268 son sólidas, ó por lo menos forman la parte sólida emergente; las otras 732 corresponden á la masa líquida. Así pues, las tierras constituyen poco más de la cuarta parte, y las aguas algo menos de las tres cuar-

tas partes de la superficie total (1). Conviene advertir que esta valuación está sujeta á rectificación, porque no todos los contornos de las costas están determinados con la misma precisión en todas partes, y las medidas geodésicas tan sólo comprenden una parte limitada de los continentes ó de las islas. Pero la aproximación es suficiente para considerar la cuestión desde el punto de vista en que aquí nos colocamos.

Si la proporción relativa de las aguas y de las tierras es un dato que la Meteorología debe tener en cuenta, á causa de la diversidad de influencia que estas dos partes constitutivas de la superficie terrestre ejercen sin duda alguna en los fenómenos atmosféricos, es también interesante por una razón análoga saber cómo están distribuidas en los dos hemisferios. Aquí sólo nos referimos á esta distribución bajo el punto de vista de las grandes masas; pero ya tendremos ocasión de ver cuán necesario es entrar en el detalle de las configuraciones cuando tratemos de explicar la infinita variedad de los climas.

Según dice Humboldt, "la palabra *clima* designa una constitución particular de la

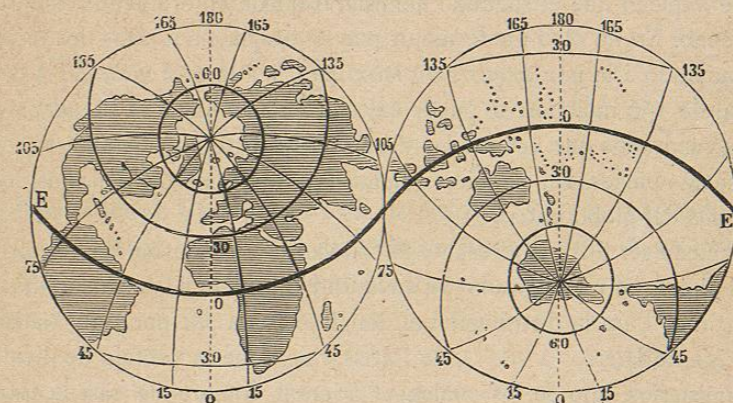


Fig. 2.—Hemisferios continental y marítimo

atmósfera; pero esta constitución está sujeta á la doble influencia del *mar*, surcado en su superficie y en sus profundidades de corrientes dotadas de distintas temperaturas, y de la *tierra firme*, cuya accidentada superficie, colorada de mil modos, ora desnuda, ora cubierta de selvas ó de prados, irradia el calórico con intensidad sumamente variable., (*Cosmos*, tomo I, pág. 336.)

Basta echar una ojeada á cualquier mapa que represente el hemisferio boreal y el austral de nuestro globo, para notar desde luego la desigual distribución de las aguas y de las tierras en cada uno de ellos. Casi todo el antiguo continente (pues sólo falta en él la tercera parte de Africa), toda la América septentrional y central con una parte de la meridional, están al Norte del ecuador; al paso que el Africa austral, es decir como un tercio del continente africano, el resto de la América del Sur, y la Australia con una

(1) "En el estado actual de la superficie de nuestro planeta, dice Humboldt en su *Cosmos*, la superficie de la tierra firme está con la del elemento líquido en la relación de 1 á 2,8, ó según Rigaud, en la de 100 á 270." Las cifras consignadas más arriba dan 1:2,84. Se tienen nociones muy poco exactas sobre la extensión relativa de las tierras y de los mares próximos á los dos polos; pero los datos que se podrán reunir ulteriormente acerca de este punto variarán muy poco los números actuales, que distan mucho de confirmar la creencia en que se estaba en la Edad media de que los mares sólo formaban la séptima parte de la superficie de la Tierra, si bien es verdad que entonces apenas se conocía la mitad de esta superficie, y que casi no se tenía noticia alguna de la inmensa llanura líquida que forma el Océano Pacífico, y cuando Cristóbal Colón llegó á San Salvador, creyó haber abordado á las costas orientales del continente asiático.