



BIBLIOTECA

QC21

68

V.3



FONDO  
A. B. PUBLICA DEL ESTADO

7743

Es propiedad de los editores y queda hecho el depósito que marca la ley

Inta. Prof. Josefa de la Cerna

## LA METEOROLOGÍA

### INTRODUCCIÓN

Dilatadísimo es el campo de los estudios que componen el programa de la METEOROLOGÍA, constituido por las fuerzas físicas en acción, en lucha continua en la superficie del planeta, en su atmósfera, en su suelo, en el seno de las masas líquidas que forman los mares y hasta en las profundidades de las capas sólidas de su corteza ó de las capas, probablemente líquidas, de su núcleo; fuerzas que son, por una parte, la gravedad que ejerce por doquiera, á cada instante de la duración y en las partículas más ínfimas de materia, su influencia propendiente á aproximarlas al centro común, aunque perturbada por la atracción del Sol, de la Luna y de los planetas, cuyos efectos visibles dan especialmente lugar al fenómeno de las mareas; por otra parte, todo el grupo de fuerzas que, emanando de centros de radiación y propagándose á cualquier distancia por medio del éter, obran en un sentido opuesto al de las fuerzas atractivas y se manifiestan en forma de luz, de calor, de fenómenos químicos; finalmente, por otra, el grupo de las fuerzas eléctricas y magnéticas, unidas á las primeras por vínculos aún mal definidos, pero que como ellas actúan sin cesar en la superficie del globo terrestre.

Verdad es que semejante programa comprende en su generalidad, no tan sólo los fenómenos á los cuales se designa en especial con el nombre de *meteoros*, sean atmosféricos, acuosos, luminosos, magnéticos ó eléctricos, sino que también todos cuantos forman por cualquier concepto el objeto de la ciencia á que se da comúnmente el nombre de *Física del globo* (1). La Tierra, considerada como cuerpo celeste, estudiada en sus movimientos de conjunto y en sus relaciones con los demás astros, es del dominio de la Astronomía. Mas tan luego como se deja de observar el espacio, no bien se contempla lo que ocurre en la superficie del suelo, cuando, por ejemplo, se estudian los efectos reales que resultan de la rotación y de la traslación de la Tierra, las alternativas de luz y obscuridad, las variaciones de temperatura, de todo lo cual proviene la sucesión de los días y las noches así como la de las estaciones; cuando se estudian, decimos, no ya en su regularidad y en su periodicidad, tal como podría deducírseles del raciocinio, sino en la variedad infinita que presentan en las diferentes regiones de la Tierra, entonces los fenómenos dejan de ser astronómicos; entonces dependen de la Física propiamente dicha, é incumben á la Física del globo, á la Meteorología.

En los dos tomos anteriores hemos descrito todo cuanto se refiere más particularmente, por tal concepto, á la gravedad ó gravitación, á la luz, al magnetismo y á la

(1) La etimología rigurosa de la palabra *meteoros* (elevado, que sucede en el aire) limitaría el sistema de los fenómenos que estudia la Meteorología á los que ocurren en las regiones superiores de la atmósfera. La Meteorología es en realidad la ciencia de todos los fenómenos atmosféricos; pero es imposible separar su estudio del estudio del suelo y de las aguas, cuya influencia en la envoltura gaseosa es tan grande y continua.

electricidad. Réstanos describir los fenómenos que dependen especialmente del calor.

Hablando en rigor, no existen en la Naturaleza todas esas distinciones, todas esas clasificaciones de que nos valemos para analizar los hechos de observación y para desentrañar sus múltiples causas. Cuando ocurre un fenómeno cualquiera, suele acontecer que nos llama más la atención este ó el otro aspecto con el cual se ofrece á nuestra vista, y que en razón de este aparente predominio de uno de los agentes que han contribuído á producirlo, nos inclinamos á clasificarlo en la categoría correspondiente, no siendo menos cierto que confundimos en un fenómeno único los efectos de estas diferentes acciones. Pues el objeto de la ciencia es precisamente determinar hasta qué punto ha intervenido cada una de las fuerzas puestas en acción, y en ello estriba por lo común toda la dificultad de la solución del problema. Con esta dificultad hemos tropezado al investigar ciertas leyes de la Física general. Todavía tropezaremos más con ella en Meteorología, por la sencilla razón de que el físico tiene la facultad de modificar las condiciones de sus observaciones y experimentos; pero el meteorologista se halla en la imposibilidad casi absoluta de cambiar, por poco que sea, los fenómenos que estudia, viéndose reducido á la observación más estricta, al paso que el físico puede valerse también del método experimental.

Acabamos de decir que en este tomo nos proponemos más especialmente describir los fenómenos meteorológicos dependientes del calor, de sus variaciones en el suelo, en el seno del aire y de las aguas; pero el calor, bien considerado, es, juntamente con su fuerza antagónica la gravedad, origen común de todos los meteoros terrestres, causa inmediata ó remota de todos los movimientos que se observan en la Tierra; de suerte que al estudiar la parte de la física del globo que aún no hemos podido tocar, se nos ofrecerá una ocasión á propósito para presentar un cuadro de conjunto de todos los fenómenos cuyas leyes formulará algún día esta ciencia.

Dicho cuadro es sumamente complejo, no tan sólo á causa de la multiplicidad de los hechos que comprende, sino en razón de su extraordinaria movilidad. La parte sólida del globo, esa parte que consideramos, al igual de los poetas, como símbolo de la inmovilidad, de lo inmutable, jamás está en reposo. Sus poderosas hiladas, que á primera vista parecen incommovibles, distan mucho de tener la estabilidad que se les supone. Ya hemos tenido ocasión de decir que en realidad están sometidas á oscilaciones, á movimientos de balancín, que si bien ocurren con extraordinaria lentitud, no dejan á la larga de modificar la forma ó el relieve de la superficie general, así en las partes yacentes debajo de las aguas como en las emergidas. Hemos dicho también que, aparte de estos levantamientos y hundimientos, el suelo experimenta también estremecimientos, sacudidas, ora débiles, ora de violencia tal que siembran ruinas y desolación en las regiones en que sobrevienen con toda su intensidad. Dedicaremos algunos capítulos á la descripción de estos fenómenos, á las veces grandiosos y terribles, con frecuencia también inofensivos, pero siempre interesantes.

Si la costra exterior de la Tierra se halla en un estado de equilibrio inestable, ¿qué diremos de las partes fluidas que sobre ella descansan ó que por encima de ella se extienden, de las aguas del Océano y de los mares, y sobre todo de la envolvente gaseosa que constituye la atmósfera? Allí no existe el reposo en ninguna parte; á cada momento ciertas corrientes más ó menos rápidas surcan la inmensidad de cada uno de esos océanos, por lo menos á notable profundidad por encima ó por debajo del nivel común, y esos movimientos de dos masas fluidas de densidad muy desigual reaccionan también á cada momento una sobre otra. ¿Ni cómo podría ser de otro modo, cómo

podría durar el equilibrio en medios tan movedizos, si tenemos en cuenta que el calor emitido por el Sol á la Tierra varía continuamente de intensidad con la hora del día y de la noche, con la época del año, con la altitud ó latitud del lugar, y que las diferencias procedentes del poder reflejante del suelo, de la evaporación más ó menos activa en su superficie, del estado higrométrico del aire, etc., contribuyen á hacer más marcadas dichas desigualdades; cuando sabemos que cualquier variación de temperatura en un punto de una masa fluida ocasiona en ella cambios de densidad, y por consiguiente, movimientos ascendentes ó descendentes, en oposición con la acción de la gravedad ó de consuno con ella; que la presión atmosférica, finalmente, cambia de continuo y por razones análogas, según la hora y el lugar?

Los efectos de esta movilidad incesante en la superficie del globo, en la del suelo, en la atmósfera, en el seno de los mares, los vientos regulares ó irregulares, las tormentas, los huracanes, las trombas, las corrientes marítimas, con todo el séquito de fenómenos que acompañan á esta circulación, nubes y nieblas, lluvias, nieves, hielos, etc., constituirán el objeto propio de la parte de la Meteorología que más especialmente nos proponemos estudiar aquí. La naturaleza física de estos fenómenos, el orden de su encadenamiento, la causa de su sucesión ó de su periodicidad, en una palabra, sus leyes, son lo que esta rama de la Física del globo debe tratar de conocer, de averiguar mediante observaciones multiplicadas, de formular en enunciados generales, sacando de todo ello, y en cuanto sea posible, reglas que nos permitan deducir del estado presente y dado de las cosas el que probablemente presentarán en una época futura más ó menos inmediata á la primera.

Pero al indicar esta última condición en el número de aquellas cuya realización debe proponerse la Meteorología, no tenemos solamente en consideración la utilidad general que resultaría para la humanidad entera. La utilidad de semejante aplicación es tan palmaria que á cualquiera se le ocurre, no cabiendo duda de que la sola esperanza de obtenerla es uno de los móviles más poderosos de cuantos se hayan podido proponer para favorecer el cultivo de la ciencia meteorológica. Mas al apuntar aquí, como fin ideal de la misma, la predicción más ó menos anticipada del tiempo, nos guía otro propósito; tenemos sobre todo en cuenta la idea que debe formarse de toda ciencia digna del nombre de tal y según la cual puede considerarse esta ciencia como verdaderamente constituida el día que se halle en disposición de prever lo que, en la hipótesis de una situación dada, ocurrirá en la serie de los fenómenos que estudia.

Tomemos por ejemplo y por término de comparación la astronomía. Gracias á la lentitud relativa de la marcha de los cuerpos celestes, á la periodicidad y á la regularidad de sus movimientos, los astrónomos de la antigüedad y de la Edad media anteriores á Copérnico pudieron calcular con cierta exactitud las futuras posiciones aproximadas de algunos cuerpos celestes, y los eclipses de Sol y Luna. Pero como desconocían las leyes verdaderas de sus movimientos, cuanto más precisas eran las observaciones hechas con aparatos al efecto inventados, menos se hallaban en estado de explicar las anomalías que se notaban entre sus predicciones y las posiciones verdaderas. Cuando Copérnico descubrió el verdadero sistema del mundo, cuando Keplero definió la naturaleza de las curvas descritas y las leyes de los movimientos planetarios, y sobre todo cuando Newton hubo formulado la ley de la gravitación, echando así los cimientos de la mecánica celeste, entonces y sólo entonces pudo considerarse la astronomía como definitivamente constituida. El perfeccionamiento de las teorías exigió sin duda en seguida que se practicaran trabajos considerables; pero la ciencia, por este concepto consi-

derada, estaba ya hecha. Los procedimientos de observación, cada vez más perfectos, revelaban desigualdades, perturbaciones nuevas, todas las cuales encontraban su explicación en el principio mismo de la ciencia, proporcionando á su vez á ésta ocasiones de nuevos progresos, de triunfos nuevos. El descubrimiento de Neptuno, el del satélite de Sirio, que vinieron á justificar las predicciones de la teoría acerca de la necesidad de que hubiese astros perturbadores hasta entonces desconocidos, si se había de poder explicar satisfactoriamente las desigualdades del movimiento de los cuerpos perturbados, confirmaron del modo más brillante la gran ley de la gravitación y demostraron su universalidad en todas las regiones del cielo accesibles al telescopio.

¿Podemos esperar que la Meteorología alcance algún día tal grado de perfección? Lo infinitamente complejo de los fenómenos que estudia ¿permitirá que las predicciones que andando el tiempo se le exijan reúnan un grado de exactitud comparable con el que consienten las efemérides astronómicas? Es tan poco probable, que no vacilamos en decir que nos parece imposible, y no porque la sucesión de dichos fenómenos se regule menos rigurosamente que los movimientos de los astros (1), sino porque es indudable que el trabajo humano jamás podrá acumular la suma de observaciones al efecto necesarias, y porque, aun dado caso que se acumulasen, su discusión y su reducción entrañarían un trabajo más formidable todavía que el de las observaciones mismas. Pero si no debemos formarnos ninguna ilusión por este concepto, si la previsión del tiempo por medio de tablas calculadas de antemano es probablemente una quimera, no es esta una razón para desechar la idea de que, en virtud del conocimiento de las leyes generales de los fenómenos meteorológicos, y de su periodicidad, será posible prever los caracteres que deberán presentar en un porvenir no remoto y en tal ó cual región determinada del globo. Algunos de estos fenómenos, por ejemplo, los temporales que atraviesan el Atlántico, tienen una marcha bastante regular para que desde su punto de partida en el continente americano, ó desde cualquiera otro de su trayecto, se pueda anunciar telegráficamente su dirección y la fecha probable de su llegada á las costas del antiguo mundo. La proporción entre el número de estos anuncios y el de las veces que han salido ciertos es bastante favorable para que se pueda fundar la esperanza más legítima en la extensión de un sistema general de avisos meteorológicos.

No debemos olvidar que la Meteorología, á pesar de los esfuerzos y trabajos de muchas generaciones de hombres ilustrados, es todavía una ciencia naciente. Verdad es que se la puede considerar desde dos puntos de vista, dividir en dos partes bien distintas el objeto de sus investigaciones, y entonces se echa de ver que una de estas partes está mucho más adelantada que la otra, ya por ser menos complejos los fenómenos que comprende, ó ya por tener más eficacia el método de investigación que se les ha aplicado, ó ya también porque los meteorologistas se han dedicado con preferencia á

(1) "En medio de la variedad infinita de los fenómenos que ocurren continuamente en los cielos y en la Tierra, dice Laplace, se ha logrado conocer el corto número de leyes generales á que la materia obedece en sus movimientos. Todo está sujeto á ellas en la Naturaleza; todo deriva de ellas tan necesariamente como el regreso periódico de las estaciones; y la curva descrita por el átomo leve que los vientos parecen llevarse al azar está trazada de un modo tan exacto como las órbitas planetarias." (*Explicación del sistema del mundo.*)

Laplace dice además en su *Ensayo filosófico de las probabilidades*: "Debemos considerar el estado presente del Universo como efecto de su estado anterior y como la causa del que seguirá al actual. Suponiendo que una inteligencia que conociese en un momento dado todas las fuerzas de que la Naturaleza está animada, y la situación respectiva de los seres que la componen, fuese tan vasta que sometiese estos datos al análisis, abarcaría en la misma fórmula los movimientos de los mayores cuerpos del Universo y los del más leve átomo, no habría nada incierto para ella, y lo pasado, lo mismo que lo futuro, estaría presente á sus ojos."

su estudio. Todas estas causas han intervenido sin duda para producir el resultado que consignamos. Los fenómenos meteorológicos pueden estudiarse ante todo en sí mismos, en las condiciones físicas en que ocurren, en las relaciones que los unen con los fenómenos ambientes ó concomitantes, pero sin tener al mismo tiempo en cuenta su distribución en la superficie del globo ni las leyes de su sucesión en el tiempo y en el espacio. Por ejemplo, la observación del estado higrométrico del aire, de su presión y de su temperatura á diferentes alturas ha podido dar por resultado el que se conozca la causa de la formación de las nieblas, de las nubes y del rocío; se ha explicado también por razones deducidas de la física general las causas de los vientos, de la lluvia, de las corrientes marinas, etc. Este es el punto de vista puramente físico; así es que la parte de la Meteorología que se ocupa de esta clase de investigaciones ha sido cultivada más especialmente por los físicos; requiere observaciones no interrumpidas, hechas con instrumentos de suma precisión, pero que pueden ser independientes entre sí. Según acabamos de decir, esta es la parte que parece más adelantada.

Puédese asimismo considerar los fenómenos en su conjunto; estudiar las leyes de su sucesión, de su desarrollo en un mismo sitio y de su propagación por la superficie de la Tierra. Pero en este caso ha de cambiar el método según el objeto que se pretende conseguir. Merced á las observaciones hechas de un modo continuo en una estación meteorológica, se podrían conocer las condiciones de lo que se llama el clima de un lugar, y haciendo extensivas estas observaciones á toda una región geográfica durante un período suficientemente prolongado, se lograría definir el estado meteorológico medio de las diferentes partes del globo, resultado de la mayor importancia, que dista mucho de haberse obtenido, pero que, de todos modos, apenas permitiría resolver el problema fundamental de la previsión del tiempo. La Meteorología no habría alcanzado aún el objeto principal que autorizase á considerarla como una ciencia constituida: seguiría siendo Meteorología considerada en estado *estático*, cuando lo que, á partir de los trabajos de los Dove, Maury y Fitz-Roy, y desde la atrevida iniciativa de Le Verrier, lo que debe ser ante todo el objeto de los esfuerzos combinados de todos los sabios que la cultivan es la *Meteorología dinámica*. Sobre todo, se ha de procurar descubrir las leyes de la circulación general, oceánica y atmosférica. El medio más adecuado para conseguirlo consiste en la organización de un sistema completo de observaciones simultáneas, distribuidas en la universalidad del globo terráqueo, en suficiente número de estaciones especialmente escogidas, enlazadas telegráficamente entre sí y que comunicaran diariamente, á una ó á muchas oficinas científicas, todos los elementos del tiempo de que se tomase nota en cada observatorio.

Esta organización se ha realizado ya en parte y va tomando vuelo de día en día. Conforme hemos dicho anteriormente, la ha hecho posible la consideración de la utilidad inmediata que pueden sacar de ella las naciones civilizadas, el comercio, la navegación y la agricultura, reportando de ella preciosos informes sobre la probabilidad del tiempo futuro, á lo menos de no muy larga fecha.

Pero aquí hablamos desde el punto de vista de los progresos de la ciencia, no pareciendo dudoso que la discusión de estas observaciones cotidianas permita formular hipótesis sobre la ley ó las leyes de la circulación universal, y que la Meteorología dinámica reciba en breve un vivo y fecundo impulso. Tal es la opinión de un sabio compatriota nuestro, que no ha temido lanzarse en esta vía, creyendo por nuestra parte que el mejor modo de terminar esta Introducción es reproducir textualmente las consideraciones en que apoya su resolución.

“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