

## LA DINÁMICA ATMOSFÉRICA EN LA *PHYSISCHE GEOGRAPHIE* (1756) DE KANT<sup>1</sup>

DAVID CARRAMOLINO

UNED, Becario de Investigación del Dpto. de Lógica

Las grandes aportaciones de Immanuel Kant (1724-1804) a la constitución del idealismo trascendental han eclipsado sus significativas contribuciones a la historia del pensamiento científico. No debemos, sin embargo, perder de vista que el célebre filósofo de Königsberg no obtuvo la cátedra de Lógica y de Metafísica de la Universidad de dicha ciudad hasta 1770, cuando contaba ya con 46 años, y que su acceso a la docencia universitaria como Privatdozent en 1755 vino de la mano de la Física, la Geografía y las Matemáticas, disciplinas que conocía bien, dada la excelente formación científica que recibió con Martín Knutzen (1713-1751) en esa misma universidad, entre 1740 y 1746. Por otra parte, en la Ilustración hubiera sido inconcebible el cultivo de la filosofía al margen de las ciencias y de éstas al margen de aquella. Los saberes científicos no habían entrado todavía en la fase de especialización y profesionalización actual, y un mismo individuo podía cultivar a lo largo de su vida diferentes disciplinas. Tal es el caso de Kant, representante paradigmático del sabio ilustrado.

El problema que quiero tratar en este artículo, la teoría kantiana de la circulación atmosférica, viene precisamente recogida en la *Physische Geographie* (1756), apuntes que Kant redactó para las clases de Geografía Física que impartió durante el semestre de verano de 1756, siendo dicha asignatura una novedad en el curriculum de la universidad de Königsberg. La principal innovación de la teoría de los vientos de Kant es el haber introducido la idea de la influencia de la rotación terrestre sobre el movimiento del aire en la atmósfera independientemente del inglés George Hadley (1685-1768), capitán de la marina británica, quien en 1735 había

---

<sup>1</sup> Este trabajo se ha realizado dentro del marco del *Proyecto de Investigación PB.DGiCYT 89/0200: La consolidación de la Meteorología como disciplina científica.*

concebido una idea similar<sup>2</sup>. Podríamos sentirnos tentados a pensar que Kant no conocía el trabajo de Hadley dado el aislamiento de la vida científica de Königsberg, ciudad situada en el norte de Prusia oriental, y alejada del principal centro científico alemán del momento, la Academia de ciencias de Berlín, pero, en realidad, la teoría de Hadley permaneció también ignorada por sus compatriotas hasta que John Dalton (1766-1844), fundador de la teoría atómica moderna, la recuperó en 1793<sup>3</sup>. La influyente teoría del astrónomo Edmond Halley (1656-1743) puede explicar que la teoría de Hadley cayera en el olvido. Halley había formulado en 1686 una teoría de los vientos alisios y de los monzones que se fundaba en lo que hoy conocemos como "convección térmica", es decir, el ascenso de aire caliente en las regiones más cálidas del planeta, próximas al cinturón ecuatorial, donde la irradiación solar es máxima, que crea un desequilibrio térmico y un gradiente de presión causando el movimiento de las masa de aire, es decir, los vientos<sup>4</sup>. Halley pensó acertadamente que la atmósfera gira con la Tierra, y que sin una distribución desigual del calor sobre su superficie no existirían vientos. Esto permitía explicar los vientos occidentales de la costa del Golfo de Guinea y la alternancia de los monzones por la alternancia de temperaturas relativas en la Tierra y el mar en la India. Según esta hipótesis, los vientos alisios habrían de dirigirse del Ecuador hacia el Polo Norte en el hemisferio Norte, y del Ecuador hacia el Polo Sur en el hemisferio Sur, pero de hecho, sus direcciones son Noreste, y Sureste respectivamente. Halley se limitó a señalar que el viento posee una tendencia a seguir el movimiento diurno del Sol del Este al Oeste sin aclararlo más. Fue Hadley quien intuyó la explicación correcta. Por una

---

<sup>2</sup> G.HADLEY, "Concerning the Cause of The General Trade Winds", *Philosophical Transactions* 39 (1735): 58-62. Sobre las primeras teorías de circulación atmosférica consúltense H.L.BURSTYN, "Early Explanations of the Role of the Earth's Rotation in the Circulation of the Atmosphere and the Ocean", *Ists* 57 (1966): 167-187, y E.N.LORENZ, "A History of Prevailing Ideas about the General Circulation of the Atmosphere", *Bulletin of the American Meteorological Society* 64 (1983): 730-734.

<sup>3</sup> Dalton descubrió la obra de Hadley después de que él mismo ideara una teoría de la circulación atmosférica muy similar que inicialmente consideró como enteramente original y novedosa. Con una honestidad infrecuente reconoció la prioridad de Hadley en el descubrimiento. En el prefacio a sus *Meteorological Observations* escribió: "The second essay, containing the theory of the trade-winds, was, as I conceived when it was printed off, original; but I find since, that they are explained on the very same principles, and in the same manner, in the *Philosophical Transactions* for 1735, by George Hadley..." (J.DALTON, "Preface", *Meteorological Observations and Essays*, W.Richardson, London, 1793, pg.V).

<sup>4</sup> E.HALLEY, "An historical Account of the trade-winds and monsoons", *Philosophical Transactions* 26 (1686): 153-168.

parte, siguió a Halley en atribuir la causa física de la circulación atmosférica al calentamiento desigual de la atmósfera por el Sol<sup>5</sup>. El aire calentado, más ligero asciende dejando un vacío que se llena por una masa de aire frío, más denso y pesado. La desviación de los vientos alisios de sus direcciones originales Norte en el hemisferio Norte y Sur en el hemisferio Sur - si la Tierra estuviese en reposo - al Noreste y Sureste respectivamente son atribuibles a la rotación diaria de la Tierra sobre su eje. Los paralelos poseen diferente diámetro, aumentando de los Polos al Ecuador, pero cada punto de la superficie terrestre da una vuelta cada 24 horas de forma que la velocidad de los puntos de la superficie terrestre aumenta de los Polos al Ecuador. Una masa de aire frío que se dirige de los Trópicos al Ecuador irá perdiendo progresivamente velocidad con respecto a la superficie terrestre en dirección Oeste-Este, y reteniendo su momento angular absoluto, adquirirá una componente en el sentido opuesto, hacia el Este:

"Los paralelos aumentan de tamaño a medida que se aproximan al Ecuador y el Ecuador es mayor que los Trópicos... y la superficie de la Tierra en el Ecuador se mueve más deprisa que la superficie de la Tierra con su aire en los Trópicos. De donde se sigue que el aire, a medida que se mueve de los Trópicos hacia el Ecuador, teniendo una menor velocidad que las partes de la Tierra a las que llega, poseerá un movimiento relativo contrario al movimiento diurno de la Tierra en aquellas partes, que se combina con el movimiento hacia el Ecuador..."<sup>6</sup>.

El efecto que Hadley describe es lo que hoy conocemos como componente Este-Oeste de la fuerza de Coriolis<sup>7</sup>.

---

<sup>5</sup> "...the Action of the Sun is the original Cause of these Winds" (G.HADLEY, *Op.cit.*, pg.58).

<sup>6</sup> "The Parallels are each of them bigger than the other, as they approached to the Equator and the Equator is bigger than the Tropicks... and the Surface of the Earth at the Equator moves so much faster than the Surface of the Earth with its Air at the Tropicks. From which it follows, that the Air, as it moves from the Tropicks towards the Equator, having a less Velocity than the Parts of the Earth it arrives at, will have a relative Motion contrary to that of the diurnal Motion of the Earth in those Parts, which being combined with the Motion towards the Equator..." (G.HADLEY, *Op.cit.*, pg.60).

<sup>7</sup> El matemático francés Gaspard Gustave de Coriolis (1792-1843) publicó en 1835 un trabajo en el que analizaba la aceleración en el movimiento compuesto al que estaban sometidos los puntos de la superficie terrestre (*Journal de l'École Polytechnique* 15 (1835): 93-125, 142-154).

No era la primera vez que Kant formulaba una teoría previamente enunciada. En su obra científica más célebre la *Allgemetne Naturgeschichte und Theorie des Himmels* (Königsberg y Leipzig, 1755) introdujo el concepto de Via Láctea, intuyendo que las estrellas fijas podían estar organizadas, en analogía con los planetas, en un sistema moviéndose en torno a un centro común en un mismo plano ignorando que una concepción similar, en un plano más teológico que físico, había sido ya presentada por Thomas Wright de Durham pocos años antes en *Original Theory or New Hypothesis of the Universe* (London, 1750). Durham asignaba al centro del universo un carácter divino. La mala fortuna no sólo afectó a la formulación de la teoría de los vientos y a la hipótesis de la Via Láctea sino también a su difusión y recepción: el editor de la *Theorie des Himmels*, Johann Friedrich Petersen, entró en bancarrota en el justo momento en que la obra era publicada de forma que su almacén fue confiscado y el principal destinatario de la obra, Federico el Grande, a quien estaba dedicada, nunca la llegó a tener entre sus manos<sup>8</sup>. En cuanto a la *Physische Geographie*, que circuló en la Universidad de Königsberg a manera de apuntes de clase, no fue publicada hasta 1802, poco antes de la muerte del filósofo. Dalton, por ello, la ignoró, en su reformulación de 1793, y hubo que esperar a los trabajos del principal meteorólogo alemán del s.XIX, Heinrich Wilhelm Dove (1803-79), quien en 1846 la rescató del olvido<sup>9</sup>.

Además del apartado de la *Physische Geographie* dedicado a la meteorología, Kant escribió otros dos opúsculos sobre esta disciplina<sup>10</sup>. Uno apareció en abril de 1756 como anuncio de la teoría de los vientos que

---

<sup>8</sup> M.K.MUNITZ, "Introduction" a I.KANT (1755), *Universal history and theory of the heavens*, Ann Arbor Paperbacks. The University of Michigan Press, 1969, pg.vii.

<sup>9</sup> H.W.DOVE, "Ueber directe Prüfungen des Drehungsgesetzes auf der nördlichen Erdhalbe, und über Wahrnehmungen derselben auf der südlichen", *Annalen der Physik und Chemie* 67 (1846), pp.305-318; H.W.DOVE, "Über die Stürme der gemäßigten Zone", *Monatsberichte der preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin* 1872, pg.374.

<sup>10</sup> Sobre las aportaciones de Kant a la meteorología consúltense H.G.KÖRBER, "Meteorologische Anschauungen bei Immanuel Kant", *Ntm-Schriftenreihe für die Geschichte der Naturwissenschaften, der Technik und der Medizin* 14 (1977): 29-36; M.JACOBI, "Immanuel Kant und die Lehre von den Winden", *Meteorologische Zeitschrift* 20 (1903): 419-421; F.DORSCH, "Kant und die Meteorologie", *Meteorologische Zeitschrift* 41 (1924): 280-282.

sería recogida poco después en la *Geographie*<sup>11</sup>. No se publicó, circulando entre sus alumnos de Königsberg, a manera de apuntes. Su contenido es análogo al del apartado correspondiente de la *Geographie*. La otra obra es "Etwas über den Einfluß des Mondes auf die Witterung" (1794) - "Sobre la influencia de la Luna sobre el tiempo atmosférico" - y fue publicada en la *Berlinsche Monatschrift*<sup>12</sup>. En este artículo, Kant considera que no es demostrable la influencia de la atracción y de la luz de la Luna sobre la atmósfera, y el tiempo atmosférico. Dicha idea no era infrecuente en la época. En 1747 Jean D'Alembert (1717-1783) había publicado un ensayo, *Réflexion sur la cause générale des vents* (Berlín, 1747) a resultados del premio que la Academia de Ciencias de Berlín convocó para 1746, y que el sabio francés ganó. D'Alembert rechazó la teoría de Halley por pensar que el calentamiento de la Tierra por la irradiación solar sólo afectaba a los primeros metros de la atmósfera, y no podía suponer la causa física de los vientos. Estableciendo un paralelismo con la teoría de las mareas, que pocos años antes fuera ya sugerido por el escocés Colin McLaurin (1698-1746)<sup>13</sup>, D'Alembert asumió que los vientos son el resultado de fuerzas atractivas del Sol y de la Luna, desarrollando modelos matemáticos cuantitativos bajo diferentes supuestos sobre la elasticidad de la Tierra y de su atmósfera, sobre la perpendicularidad de las fuerzas con respecto al eje de rotación terrestre y sobre el efecto de las montañas sobre los vientos.

Kant escribió sobre meteorología en un momento en el que todavía no se habían organizado con éxito redes de observación meteorológica que habrían podido suministrar valiosos registros sobre los que fundar una teoría meteorológica de la circulación atmosférica<sup>14</sup>. La información con

---

<sup>11</sup> "Immanuel Kants neue Anmerkungen zur Erläuterung der Theorie der Winde wodurch er zugleich zu seinen Vorlesungen einladet", en KÖNIGLICHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN (ed.), *Kant's Werke I. Vorkritische Schriften I. 1747-1756*, Druck und Verlag von Georg Reimer, 1910, pp.491-503.

<sup>12</sup> I.KANT, "Etwas über den Einfluß des Mondes auf die Witterung", *Berlinsche Monatschrift* 23 (1794): 392-407.

<sup>13</sup> C.McLAURIN, "De causa physica fluxus et refluxus maris", *Pièces qui ont remporté le prix de l'Académie Royale des Sciences en 1740* (1741): 195-234. McLaurin aplicó a las corrientes marinas el principio de influencia de rotación de la Tierra y sugirió que el estudio de las corrientes de aire podía establecerse en analogía con el de las mareas, proponiendo también el principio de influencia de la rotación de la Tierra a las corrientes de aire atmosféricas.

<sup>14</sup> Las primeras redes de observación meteorológica que tuvieron éxito a través de la estandarización de la instrumentación y las observaciones y la publicación periódica de los registros fueron las creadas por la Société Royale de Médecine de Paris en 1778, y por la Societas Meteorologica Palatina en Mannheim en 1780. Sobre el papel de estas sociedades en la configuración científica de la meteorología

la que el filósofo de Königsberg, que no fue precisamente un trotamundos, contó debió proceder en buena medida de los numerosos relatos y leyendas de los viajeros y marinos, filtrados por sus propias especulaciones. El conocimiento de la meteorología y en particular de la circulación atmosférica tenía un innegable interés para la navegación, el comercio y la sanidad pública. Por ello, a mediados del siglo XVIII estaban descritas gran parte de las costas habitables, pero grandes regiones del interior de los continentes africano, asiático y americano permanecían todavía inexploradas. Esto podría explicar que Kant recurra en ocasiones a la teoría aristotélica de los vientos como producidos por los vapores y exhalaciones fermentados que proceden de las entrañas de la Tierra para dar cuenta de los vientos o de los tifones del mar de la China, o que avale la leyenda del Samiel abrasador, viento de Persia que envenena, al mezclarse el ácido de la sal que porta con la nafta del suelo del desierto, a hombres y animales. La reflexión científica y la leyenda se funden todavía en una ciencia notablemente retrasada con relación a otras como la teoría de la electricidad o la óptica. No obstante, Kant se funda también en las fuentes científicas del momento. En concreto cita la *Geographia generalis* (London, 1712) del alemán Bernhard Varenius (1622-1650), publicada por James Jurin (1684-1750), uno de los pioneros en los intentos de creación de redes meteorológicas<sup>15</sup>, y el *Essai de Physique* (London, 1739) de Peter van Musschenbroek (1692-1761). A través de estas obras Kant conocería la teoría de Halley, y su célebre mapa de distribución oceánica de los vientos al que hace referencia<sup>16</sup> (véase la ilustración). En lo que Kant pretendía ser realmente innova-

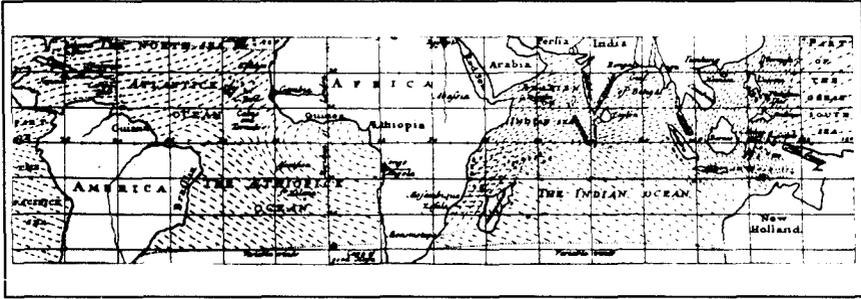
---

consúltense los artículos de J.A.KINGTON, "A late Eighteenth Century Source of Meteorological Data", *Weather* 25 (1970): 169-175, y "The Societas Meteorologica Palatina: an Eighteenth-Century Meteorological Society", *Weather* 29 (1974): 416-426.

<sup>15</sup> James Jurin propuso en 1721 la creación de una red meteorológica en la que invitaba a diferentes científicos a realizar observaciones sujetándose a un formato común (J.JURIN, "Invitatio ad Observationem Meteorologicarum communi consilio instituendas", *Philosophical Transactions* 32 (1723): 422-427). La empresa fracasó dada la falta de estandarización de la instrumentación - Jurin no suministró los instrumentos - y la irregularidad en la publicación de los registros.

<sup>16</sup> "Man sehe nur die Karte an, die Jurin bei des Varenius allgemeiner Geographie oder Musschenbroek seiner Physik beigelegt hat, so wird man in einem Augenblick, wenn man den natürlichen allgemeinen Ostwind und diese Regel zugleich vor Augen hat, alle Richtungen des in dem Meere bei Guinea wehenden Windes, die Tornaden und alles übrige völlig einsehen und erklären können" ("Immanuel Kants neue Anmerkungen zur Erläuterung der Theorie der Winde", en PREUSSISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN (ed.), *Kant's Werke I. Vorkritische Schriften I*, Druck und Verlag von Georg Reimer, Berlin, 1910, pg.493).

dor era en la introducción de la idea de la influencia de la rotación terrestre



**Mapa de distribución oceánica de los vientos (E. HALLEY, 1686).**

daría sobre la circulación atmosférica lo que formulaba en términos de la siguiente regla, contemplada como la clave para una teoría general de los vientos:

"Un viento que sopla del Ecuador al Polo es tanto más occidental cuanto más tiempo dure, y uno que sople del Polo al Ecuador cambia su dirección en un movimiento colateral al Este.

Esta regla, que me es tan conocida, no ha sido todavía observada por nadie, y puede ser considerada como la clave para una teoría general de los vientos"<sup>17</sup>.

Kant enunciaba esta regla como algo novedoso, y muestra que no conocía la teoría de Hadley. Por lo demás, las ideas fundamentales de Kant en meteorología dinámica entraban dentro de los esquemas aceptados en su época. Kant dividió la atmósfera en tres capas<sup>18</sup>:

(1) una primera capa que se extiende desde la superficie del mar hasta la región de las nieves perpétuas. Su altura es máxima en el Ecuador,

---

<sup>17</sup> "Ein Wind, der vom Equator nach dem Pole hinweht, wird immer je länger desto mehr westlich, und der vom der Pole zum Äquator hinzieht, verändert seine Richtung in eine Collateralbewegung aus Osten.

Diese Regel, welche, so viel mir wissend ist, noch niemals angemerkt worden, kann als ein Schlüssel zur allgemeinen Theorie der Winde angesehen werden" (*Ibid.*, pg.494).

<sup>18</sup> "Immanuel Kants Physische Geographie", Theil 1, Abschnitt 3 en KÖNIGLICHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN (ed.), *Kant's Werke* 9, Walter de Gruenter & Co., Berlín und Leipzig, 1923, pp.282-283.

alrededor de 3/4 de milla alemana - unos 5,5 Km - y desciende progresivamente hacia los polos donde el nivel del mar coincide con el de las nieves perpetuas;

(2) una segunda capa que comienza en la región de las nieves perpétuas hasta la altura máxima a la que ascienden las nubes, que considera de alrededor de 1 milla alemana - 7,5 Km - sobre el nivel del mar, aunque si se considera que en esta capa es donde tienen lugar los meteoros luminosos, como las auroras boreales, entonces su altura habría de ser de varias millas;

(3) finalmente la última capa, donde tiene lugar el crepúsculo y extendida hasta el límite superior de la atmósfera de 9,5 millas, unos 71 Km, sobre el nivel del mar.

Kant considera aplicables a la atmósfera las leyes de los fluidos, de la misma forma que éstas se aplican en teoría de las mareas. Como causas fundamentales del movimiento de las masas de aire en la atmósfera, Kant indica el calentamiento diferencial de las masas de aire, algo que ya había sido señalado, entre otros, por Halley, cuya teoría Kant conocía, y las exhalaciones y vapores de las entrañas de la Tierra que fermentados en vientos preexistentes podían producir violentas tormentas, concepción aristotélica. Kant refiere la clasificación clásica de la rosa de 32 vientos de los marinos, y analiza los diferentes vientos según sus propiedades de humedad, temperatura y salubridad. Esta última propiedad, la influencia de los meteoros para la sanidad pública, impulsó durante la Ilustración las investigaciones meteorológicas, como muestra que la primera gran red meteorológica fuera fundada en 1778 por la Sociedad Médica de París. Kant relaciona las propiedades de humedad y temperatura de los vientos con la climatología. Habitualmente los vientos que proceden del océano llegan a los continentes cargados de humedad, mientras que los aires que llegan del continente son secos.

Las tormentas resultan del encuentro de dos vientos, a menudo cargados de electricidades de distinta naturaleza que se mezclan produciendo el aparato eléctrico característico de las mismas. Esta idea fue popularizada posteriormente por Heinrich Wilhelm Dove, principal meteorólogo alemán del siglo XIX, quien utilizó el concepto de dos corrientes opuestas, polar y ecuatorial, para explicar las formaciones tormentosas en la zona templada<sup>19</sup>. Con particular detalle analiza Kant la formación del "Norte", tipo particular de huracán característico del golfo de Méjico.

---

<sup>19</sup> Véase H.W.DOVE. "Über das Gewitter". *Annalen der Physik* (1828): 419-433.

Los alisios son una consecuencia de lo que Kant denomina viento general del Este - *allgemeine Ostwind* -, que se origina por el calentamiento diferencial de las masas de aire por el Sol. El aire fluye siempre hacia la zona más calentada por el Sol, es decir, siguiendo la trayectoria diurna del astro rey de Este a Oeste. Este viento es sobradamente conocido desde los inicios de las primeras navegaciones oceánicas en el siglo XV, y rige en los océanos Atlántico, Índico, Pacífico, y Etiópico - Atlántico Sur en la actualidad. Kant pone el ejemplo de los navegantes que desde el Cabo de Buena Esperanza pretenden retornar a Europa a través del Atlántico, y deben cuidar de calcular con precisión la posición de la isla Santa Elena, ya que una vez que la han dejado atrás no pueden volver a ella y debe esperar hasta la isla Ascensión para volver a aprovisionarse de agua y alimentos. La dirección de los alisios no coincide siempre con la del viento general del Este, ya que está sometida a modificaciones secundarias derivadas de la posición de las cordilleras, entre otros factores.

La alternancia en la dirección del viento entre el día y la noche en las brisas es atribuida a que durante el día el aire de tierra firme se calienta más deprisa que el aire de mar, y el viento fluye del océano a tierra firme. Durante la noche el aire de tierra se enfría más deprisa que el de mar, y esta dirección se invierte.

Kant aprovecha el análisis de los monzones tropicales, consistentes en una alternancia de vientos Sudoeste en verano, y Noreste en invierno, para establecer la teoría general de los vientos, similar a la de Halley. Dado el diferente diámetro de los paralelos terrestres, que aumenta de los Polos al Ecuador, la velocidad de giro de los puntos de la superficie terrestre aumenta de los Polos al Ecuador, ya que todos los puntos de la superficie del planeta describen una vuelta completa cada 24 horas. Como la atmósfera se mueve con el globo terráqueo, el razonamiento es igualmente aplicable a todos sus puntos. Cuando un viento se desplaza del Ecuador hacia el Polo Norte recibe un impulso adicional de la rotación terrestre hacia el Este que se hace cada vez mayor, convirtiéndose en un viento del Sudoeste. Si la masa de aire se desplaza del Ecuador al Polo Sur, el viento del Norte se convertirá progresivamente en viento Noroeste. Por el contrario, si el viento se dirige del polo Norte al Ecuador, adquirirá una componente del Este, convirtiéndose en Nordeste. Y si se mueve del Polo Sur al Ecuador adquirirá esa misma componente convirtiéndose de Sur en Sudeste.

Los monzones se originan por una alteración de los alisios permanentes en las zonas Tropicales. En el hemisferio Norte domina en la zona Tropical el alisio de origen Noreste. Durante el verano, desde marzo hasta septiembre, el Sol calienta preferentemente la zona tropical del hemisferio

Norte, creando una corriente ecuatorial del Sudoeste. El mismo fenómeno tiene lugar en la zona tropical del hemisferio Sur en invierno.

Finalmente, Kant deja caer una idea que será nuclear para la meteorología del s.XIX: en el hemisferio Norte, los vientos que cambian de dirección Norte a dirección Noreste realizan siempre el giro de izquierda a derecha, siendo en el hemisferio Sur, el giro en sentido inverso. La generalización de esta constatación se convertirá en la "ley de giro" del viento -*Drehungsgesetz*-, modelo mecánico de circulación atmosférica que el meteorólogo Dove enunció en 1827<sup>20</sup>, y que mantendrá su vigencia en la meteorología europea hasta la aplicación de la Termodinámica al movimiento de masas de aire atmosféricas a finales de siglo. Dove correlacionó las regularidades en los "giros" o cambios de dirección del viento con observaciones barométricas, higrométricas y pluviométricas, fundando su teoría en una amplia base empírica, gracias a la acumulación de registros de las diferentes sociedades meteorológicas desde las dos últimas décadas del siglo XVIII. Kant no contó con esa información pero no le podemos negar el mérito de haber aportado una serie de conceptos e ideas fundamentales para la constitución de la meteorología dinámica como ciencia.

1.KANT, *Geografía Física*, Parte 1, Capítulo 3, §§.64-71<sup>21</sup>.

"§. 64. De los vientos

El viento es con respecto al aire lo que una corriente con respecto al agua. Está limitado como el mar por la dirección de la tierra firme y las montañas. De la misma forma que dos corrientes, opuestas la una a la otra, producen un remolino en el mar, dos vientos, que obran en distintas direcciones, producen torbellinos.

Las causas principales de los vientos permanentes son las siguientes:

Primero, si una zona atmosférica es calentada más que otra, por ejemplo, la que se encuentra sobre la tierra más que la que se encuentra sobre el mar, aquella

---

<sup>20</sup> H.W.DOVE, "Einige meteorologischen Untersuchungen über den Wind", *Annalen der Physik* 11 (1827): 545-590.

<sup>21</sup> He traducido los parágrafos §63-§71, Theil 1, Abschnitt 3 de la edición alemana "Immanuel Kant's physische Geographie", en KÖNIGLICHE PREUSSISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN (ed.), *Kant's gesammelte Schriften IX*, Berlin und Leipzig, 1923, 284-293. La primera edición de la obra apareció en 1802: *Immanuel Kants physische Geographie. Auf Verlangen des Verfassers aus seiner Handschrift herausgegeben und zum Theil bearbeitet von D.Friedrich Theodor Rink*, 2 vols., Göbbels und Unzer, Königsberg, 1802. Otra versión de estos pasajes, análoga en contenidos, puede encontrarse en "Immanuel Kants neue Anmerkungen zur Erläuterung der Theorie der Winde wodurch er zugleich zu seinen Vorlesungen einladet", en KÖNIGLICHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN (ed.), *Kant's Werke I. Vorkritische Schriften I. 1747-1756*, Druck und Verlag von Georg Reimer, 1910, pp.491-503.

cede a ésta, porque es más ligera que la del aire frío y se genera un viento hacia la zona calentada, y éste se mantiene tanto como dure el calentamiento predominante del lugar<sup>22</sup>.

Segundo, si una zona de la atmósfera se enfría poco a poco, se contrae, pierde su distensión y hace sitio al aire calentado, que sopla hacia ella. Cuando al principio del otoño en pleno Norte empieza el frío, el aire caliente se traslada hacia el Norte, en la medida en que dure el aumento del calor, y después retorna.

Tercero, con tormentas repentinas que no duran mucho, son vomitados de la Tierra vapores sulfurosos y minerales, que debilitan la elasticidad del aire o llegan a fermentar, por distintas causas, en otros vientos activados que al principio permanecen en calma, pero despues soplan con fuerza y provocan espantosas lluvias torrenciales y tormentas furiosas<sup>23</sup>. Igualmente los aguaceros fuertes o el granizo provocan un viento que puede llegar a ser muy violento.

La clasificación, que hacen los marineros de los vientos es la siguiente: toman las cuatro direcciones principales, Norte, Este, Sur y Oeste. Entonces dividen cada arco del horizonte situado entre dos direcciones principales, en dos partes iguales a las que llaman Noreste, Sudeste, Noroeste y Sudoeste. Las letras son compuestas de forma que las del Norte o Sur siempre son las primeras. Después se dividen en cuartos de arco, y delante de la anterior denominación se indica siempre la dirección principal de la que son más próximos, como Nortenoreste, Estenoreste, Estesudeste, Sursudoeste, Oestesudoeste, Oestenoroeste, Nortenoroeste. Los vientos de cuarto orden se originan en el anterior arco dividido nuevamente, manteniendo las anteriores denominaciones e indicando solamente de cual de las anteriores direcciones se encuentran más próximos mediante el término 'hacia'. Por ejemplo, Oestenoroeste hacia el Oeste, Estenoreste hacia el Este. Todas estas clasificaciones distinguen veintitrés vientos.

§. 65. Clasificación de los vientos según sus propiedades, humedad, sequedad, calor, frío y salubridad.

Los vientos de Poniente son húmedos en la mayoría de las regiones de todo el mundo, excepto cuando pasan por un suelo quemante como el viento de Poniente en Persia que sopla hacia Arabia.

Un viento del Oeste es siempre húmedo si pasa por un mar próximo o remoto. Por el contrario, el viento del Este cuando de manera semejante llega a un gran mar es seco la mayoría de las veces.

En las islas Filipinas gobiernan al año dos vientos cambiantes, un viento Noreste que sopla durante los meses de otoño y de invierno, y otro Sudoeste que

---

<sup>22</sup> Kant propone el calentamiento diferencial de las masas de aire como causa del desequilibrio que origina los vientos.

<sup>23</sup> Kant refiere aquí la doctrina aristotélica que sitúa el origen de los vientos en exhalaciones secas y calientes emanadas del interior de la Tierra. Las exhalaciones se elevan verticalmente, pero luego tienden a moverse siguiendo el movimiento de rotación de los cielos alrededor de la Tierra (ARISTÓTELES, *Meteorológicas*, libro I,4). No olvidemos que el universo aristotélico es geocéntrico.

sopla el resto del año. Aquel que sopla sobre el mar del Sur es seco. Se observa uno igual en la India oriental y occidental, por ejemplo en la zona de Nueva Cartagena.

Los vientos Sudoeste, que soplan hacia el océano Atlántico y en sentido contrario traen solamente tiempo húmedo, deben provocar tiempo más sereno y seco. Por el contrario, los vientos occidentales son solamente húmedos. Esto mismo sucede también en el Pacífico, donde los vientos del Este producen tiempo sereno, mientras que los occidentales que se mueven sobre el mar, lluvioso. Los motivos deben ser explicados en lo sucesivo.

Cuando un viento trae consigo un aire que es más frío que el cuerpo humano, enfría. Si el aire aportado es más caliente que éste, calienta, tanto más cuanto más rápido se mueve. Tales vientos cálidos se encuentran de vez en cuando en las zonas cálidas, el Chamsin en Egipto, y sobre todo el Samiel en Persia, Arabia y Siria son los peores. Soplan con un calor como si vinieran de un horno. Este viento Samiel tiene aspecto rojizo. Sopla preferentemente desde junio hasta agosto y se percibe especialmente en los golfos de Persia. Los persas creen que toma sus propiedades tóxicas de una hierba, llamada Golbat Samoar, que crece a menudo en el desierto de Kerman<sup>24</sup>, porque el viento que pasa sobre éste acarrea sus ramilletes. La realidad es algo parecido pues, ya que todos estos parajes contienen mucha nafta<sup>25</sup>, especialmente en el suelo, el ácido de las partículas de sal que trae el viento de Persia consigo hierve, se calienta, y adquiere este color rojo. El viento Samiel mata muy rápido, cuando se mueve violentamente. Esta opinión es avalada por la muerte repentina de los israelitas y del ejército de Sanherib<sup>26</sup>.

Hay también vientos en Arabia, como en los desiertos de arena de Egipto, que entierran a los viajeros en la arena. Por este razón se forman momias sin embalsamamiento.

Los vientos que proceden de las cimas de las montañas son todos fríos; por esta misma razón el viento Noreste (Terreno) de Guinea, que procede de la parte interior de la tierra firme de las montañas existentes, trae gran sequedad y frío. Los vientos, cuyas corrientes se empujan mutuamente, traen primero la calma, después tempestad repentina, chubascos y tormenta. Las tormentas se originan preferentemente del encuentro de dos vientos, que mezclan nubes de distinta electricidad, por lo que el viento cambia con frecuencia, y las tormentas se mueven comúnmente con el viento.

---

<sup>24</sup> Desierto en el Sudeste del actual Irán.

<sup>25</sup> Kant alude aquí probablemente a algún alquitrán o producto relacionado con el petróleo. Como, según la teoría aristotélica, a la que el filósofo alemán recurre de vez en cuando, los vientos se forman por vapores emanados del suelo, no tiene nada de particular que vientos preexistentes se mezclen con emanaciones tóxicas.

<sup>26</sup> Kant, hombre religioso, encuentra en el viento venenoso del desierto la causa de la muerte de los ciento ochenta y cinco mil hombres del ejército de Senaquerib, rey de los asirios, alrededor del 700 a.C. cuando se preparaban para asediar Jerusalén (*Isaías 37*<sup>36</sup>).

En los océanos Índico y Etiópico<sup>27</sup> se suceden en los dos semestres del año dos vientos alternantes, que en la época, en que se relevan traen primero calma, despues un soplar en desorden en todas las regiones alrededor del compás, y finalmente tempestad, chubascos y tormenta, los cuales, cuando a lo sumo soplan una media hora reciben el nombre de tornados; cuando soplan unas cuantas horas o incluso días el de travados.

No lejos de la costa de Sierra Leona hacia el Oeste se encuentra una zona, llamada región de los tornados, donde con tempestades, dominan lluvias y tormentas casi permanentes, con calmas alternas.

En los golfos de México con vientos alternos asciende hacia el Noroeste una nube negra y plana unos cuantos grados sobre el horizonte, que recibe el nombre de Banco del Norte; después comienza una tempestad impetuosa del Noroeste, que recibe el nombre de Norte. Todas las nubes bajas se desplazan con gran velocidad, sólo el Banco del Norte queda paralizado, hasta que la tempestad ha pasado. Porque antes de ese viento llamado Norte se origina un viento Sudoeste, y un aire en calma: de esta manera se ve que las dos corrientes de aire opuestas se contienen entre sí, causando entonces un giro en el aire superior, donde los vapores se congregan en una densa nube, de la que se origina el Banco del Norte, que vomita el aire acumulado hacia abajo con gran fuerza. La nube misma, puesto que se encuentra en el punto central del torbellino, debe permanecer inmóvil. Cuando el viento sopla hacia el Sur, el infortunio es el máximo. Estos vientos son propios de los meses de diciembre y junio. Los vientos del Sur, que en junio, julio y agosto son frecuentes, dominan en esta estación, cuando los vientos del Sudoeste soplan preferentemente hacia esta región, y la corriente de retorno del aire del Norte se opone de vez en cuando a ellos.

Los huracanes, precisamente en este mar y en las costas de alrededor, transportan nubes, que presentan aspecto de pompas a diferencia de los Nortes que forman una nube plana. Su color es horrible: 1) color fuego pálido, 2) rojo cobrizo y 3) negro. Primero sopla el viento del Sudeste, después la calma y finalmente sopla el del Sudoeste.

En El Cabo<sup>28</sup> domina el huracán, que parece originarse de una nube llamada ojo de buey. Se cree erróneamente que esta nube no es mayor que el ojo de buey. Parece ser mayor que todo un buey y se extiende preferentemente sobre la meseta elevada sobre una montaña. Se origina cuando un viento Sur sigue a otro Norte, de causas que ya han sido mencionadas. Pero se deben también tener en consideración las montañas contra las que los vientos chocan.

Esto es válido también para otras tormentas repentinas. Dominan, la mayoría de las veces, en los territorios de cabos, estrechos y donde hay muchas islas, y en la época, cuando los vientos cambian con más fuerza, como en el otoño y la primavera, más que en cualquier otra época del año.

---

<sup>27</sup> El océano Etiópico es el océano Atlántico Sur. Véase el mapa de vientos de Halley.

<sup>28</sup> Ciudad de El Cabo, cabo de Buena Esperanza.

En los mares de la China y del Japón predominan los tifones, los cuales acostumbran a formarse de los vapores expulsados con violencia por el mar; en tales casos el mar burbujea y hierve a borbotones en el lugar, el aire se llena de vapores sulfurosos, y el cielo adquiere un color cobrizo. El mar de China es en invierno más cálido que los colindantes, y esto parece corroborar la causa aludida. El tifón se establece en un lugar y no se propaga.

Las trombas de agua tienen un gran parecido con estos. Los mares chinos y el mar rojo presentan más a menudo este fenómeno atmosférico. Se ve que el agua en cierto modo hierve en un lugar, finalmente se eleva a un ple de altura. Ascende un humo con un estrépito tenebroso y siseante, y entonces las nubes parecen hundirse en la zona y adoptar con los tubos la figura de un embudo o una trompeta. El agua se tuerce en este tubo en lo alto, y cae hacia afuera. Los barcos alcanzados por ésta, son despojados de sus velas, y son arrastrados con el viento.

#### §.66. Velocidad del viento

Un viento suave no se mueve más deprisa que una persona, uno considerablemente más fuerte, como un caballo al galope. Un viento de tormenta, que arranca árboles, recorre 24 pies en un segundo<sup>29</sup>. Hay también tormentas que recorren hasta 60 pies en un segundo<sup>30</sup>. Estas echan abajo todo lo que encuentran.

#### §.67. De los alisios

Un viento que atraviesa durante todo el año una zona que le es propia se denomina alisio.

Entre los Trópicos sopla casi permanentemente, cuando se aleja de la tierra, un viento Este en toda la Tierra. Éste no se origina a partir del aire que se retrasa, el que, como la Tierra gira de la tarde a la mañana, queda retrasado y resiste en la dirección opuesta, sino del calentamiento progresivo del día a la tarde por el Sol alrededor de la Tierra; entonces, precisamente como se ha dicho, así el aire fluye siempre hacia la zona que es más calentada por el Sol; en consecuencia debe siempre seguir la trayectoria aparente del Sol. Los navegantes pueden ir mucho más rápido de las Indias orientales hacia Europa, que desde Europa hacia allí porque en el último caso tienen contra sí el viento Este general tanto en el mar Etiópico como en el océano Indico.

Los navegantes deben estar sobre aviso en el viaje desde El Cabo hacia Europa de no dejar atrás la isla Santa Elena, ya que cuando han pasado ésta no pueden retornar porque ella soporta un fuerte viento del Este, y deben aprovisionarse de tortugas y agua en la isla Ascensión.

Esto es válido para todos los océanos que se encuentran entre los Trópicos: el Atlántico, Etiópico, Pacífico e Indico. Cuanto mayor es el alejamiento al Ecuador en dirección a los Trópicos, tanto más se desvía este viento del Este continuamente al Sur y al Norte; cuanto más se interna en el hemisferio Sur o en el Norte, más será un viento Sudeste en aquel y Noroeste en éste. Estos vientos se extienden también fuera de los Trópicos, pero no mucho más allá de los treinta grados [de latitud].

---

<sup>29</sup> Unos 8 metros por segundo.

<sup>30</sup> Unos 20 metros por segundo.

donde se levanta un alisio del Oeste, que predomina hasta los cincuenta grados, se aproxima desde Inglaterra al Trópico, para llegar a América, y encuentra el viento del Este mismo; retorna entre los cuarenta y cincuenta grados de latitud realizando un corto trayecto con un viento del Oeste.

Los vientos alisios pertenecen a la acción de este viento general del Este y son tales que predominan en una zona de la Tierra permanentemente, aunque no tienen la dirección Este. Por ejemplo, en las costas del Perú predomina un viento del Sur que avanza desde cerca de las costas de Chile hasta Panamá, que desde allí se mueve, porque el aire que se encuentra más próximo al polo Sur se traslada hacia el Ecuador, siendo aquí evitada la acción del viento general del Este por causa de las cordilleras.

En la costa de Guinea hay un viento del Oeste casi permanente porque el aire se calienta más sobre Guinea que sobre el mar, y es forzado a pasar por ella en dirección oblicua del Sudoeste al Noreste, porque la mayor distancia de la tierra firme de Africa hacia esta última zona se encuentra allí, de forma que la dirección de la costa convierte al viento en completamente occidental.

#### §.68. De los vientos de mar y tierra.

Todas las tierras de la zona cálida presentan en su costa la alternancia del viento que durante el día sopla del océano a tierra y durante la noche de la tierra al mar. Durante el día el Sol calienta la tierra más que el agua, por lo tanto el aire del mar, que no es calentado hasta ese punto, es más denso que el aire de tierra y es trasladado de su sitio. Por ello el viento del mar toma fuerza hasta las doce o la una del mediodía, desde entonces se debilita y por la tarde se atenúa. Pero después el aire de mar se enfría más deprisa que el aire de tierra, situado sobre un cuerpo calentado, aquel se retira y deja lugar a éste; como consecuencia pasa un viento de tierra sobre el mar.

Estos vientos se encuentran en todas las islas del cinturón cálido, en los golfos mejicanos, en Brasil, en las costas africanas y de la India oriental. Son ocasionalmente aprovechables, no sólo para la refrigeración de estas tierras sino también para la navegación entre muchas islas.

#### §.69. De los monzones o vientos periódicos

En todo el cinturón cálido, donde todas las tierras se extienden desde el Ecuador hacia el Norte o el Sur, predominan en los mares vecinos vientos cambiantes anualmente, los monzones, o como los ingleses los denominan (con una palabra india, que significa estación), Monsuns, que desde abril hasta septiembre son un viento Sudoeste, y el resto de los meses Noreste. Eso ocurre en los golfos de Bengala, los mares persa y arábigo, en archipiélagos de las islas Filipinas, en los golfos de México y en otras partes. En el hemisferio Sur tiene lugar justamente el cambio del viento del oeste sólo en los meses referidos domina el viento Noroeste, en los restantes el Sudoeste.

#### §.70. Causa de los monzones.

A la vez que explico la causa de los monzones, doy también una teoría general de todos los vientos permanentes, periódicos y de la mayoría de los cambiantes. Sostengo que un viento que se dirige desde el Ecuador hasta uno o los dos polos,

sufre un cambio de dirección hacia el Oeste, cuando se ha movido a través de una extensión. Por ejemplo, en nuestro hemisferio Norte un viento del Sur debe poco a poco desviarse hacia el Sudoeste, y al Sur del Ecuador un viento que se dirige desde el Ecuador hacia el Polo Sur se convertirá en un viento Noroeste. Como la Tierra rota alrededor de su eje, las partes de su superficie describen mayores paralelos, cuanto más cerca se encuentran del Ecuador, y más pequeños cuanto más cerca del Polo se encuentran, y el aire que cubre la Tierra sufre en todas partes, en ausencia de viento, el mismo movimiento que los elementos de la superficie de la Tierra, sobre los que se mueve. Por lo tanto, el aire del Ecuador se mueve del poniente hacia el levante con mayor velocidad que el que se encuentra entre los Trópicos y éste más deprisa que el que se halla entre los círculos polares etc.

Pero esto en sí mismo no genera viento alguno porque el aire no cambia de lugar en la superficie de la Tierra. Pero tan pronto como el aire ecuatorial se traslada a uno de los polos, por ejemplo, al Polo Norte, se genera en primer lugar un viento del Sur. Sólo este aire desplazado hacia el Norte recibe un impulso de la rotación de la Tierra del poniente al levante que es más rápido cuanto más alejados están los paralelos del Ecuador; por lo tanto se desplazará sobre los lugares a los que llega con el añadido a su velocidad del poniente al levante, por lo que a través de la composición con la dirección Sur compone un viento del Sudoeste.

Por la misma razón se origina un viento Noroeste del movimiento del aire ecuatorial hacia el Polo Sur. En cambio, si fluye aire de una región alejada del Ecuador hacia éste, se generará en nuestro hemisferio primero un viento Noroeste. Pero salido de tales zonas de la Tierra, donde por causa de los pequeños paralelos en los que se encontraba tenía poca velocidad del poniente al levante, como los elementos de la superficie de la Tierra, que se encuentran más próximos al Ecuador, y hacia los cuales se mueve, así será retrasado, porque no tiene un movimiento tan fuerte de Oeste a Este como los lugares a los que llega; entonces parecen moverse del Este hacia el Oeste, lo que unido a la dirección Norte produce en nuestro hemisferio un viento Noreste, será tanto más viento Norte cuanto más se aproxime al Ecuador, desviado en un viento Noreste, y en el hemisferio sur será un viento Sur transformado en uno Sudeste por los mismos motivos.

A partir de esto puede ser explicado el viento general entre los Trópicos, porque allí y sobre todo en la época de los equinoccios el aire es más denso que en otras partes. El aire de los polos y de otras zonas ubicadas entre ellos y el Ecuador se desplaza hacia el Ecuador, el viento Norte se transforma en otro Noreste, y el Sur en otro Sudeste. Estos vientos se encuentran también entre los Trópicos, cada uno en su hemisferio; sólo en el Ecuador son desviados en viento simplemente del Este, donde se encuentran bajo un cierto ángulo. El Sol calienta más en el cinturón cálido de nuestro hemisferio desde marzo hasta septiembre: por eso los territorios, que se encuentran en sus proximidades son extraordinariamente calentados, y el aire situado en la proximidades del Ecuador ocupará el espacio enrarecido sobre éste; se origina entonces un viento que se desvia en un viento Sudoeste según la ley del calentamiento anterior: el Sol provoca esto en el hemisferio Sur solamente en los meses restantes de forma que el aire del hemisferio Norte será desplazado hasta aquí y producirá un viento Noroeste. En la época de alternancia de los monzones predominarán calmas y huracanes.

§.71. Algunas otras leyes de la alternancia de los vientos.

En nuestro hemisferio norte los vientos acostumbran, cuando se mueven del Norte al Noreste, a finalizar todos los giros de izquierda a derecha, a saber a través del Este, Sur y Oeste<sup>31</sup>. Sólo los vientos que de un modo opuesto se mueven del Norte al Oeste etc., no acostumbran jamás a recorrer el círculo entero.

En el hemisferio sur donde el recorrido del Sol es de derecha a izquierda, el giro es inverso, como ha constatado Don Ulloa en el Pacífico<sup>32</sup>.

Esta ley parece proceder del recorrido del Sol, que desvía de una manera natural el viento Norte en otro Noreste; sólo si se le resiste el viento del Sur será completamente del Este; entonces comienza el viento del Sur a regresar y por su combinación con el viento Este se hace Sudeste, después completamente del Sur, entonces Sudoeste según la ley arriba referida, entonces por la resistencia del aire del Norte completamente Oeste.

Los vientos son más variables en la mitad entre un polo y el Ecuador. Tanto en la zona cálida y regiones adyacentes como en el cinturón frío y zonas vecinas son mucho más constantes. Con frecuencia y por lo común, los vientos son distintos en las distintas alturas del aire, pero producen calma y tormentas repentinamente o un viento cambiante en los territorios bajos".

---

<sup>31</sup> Aquí anuncia Kant la que será idea nuclear del meteorólogo alemán Dove: la "ley de giro" - *Drehungsgesetz* - del viento, formulada en 1827. Los cambios en la dirección del viento tienen lugar realizando giros en determinados sentidos que se invierten de un hemisferio a otro, y son correlacionables con las observaciones barométricas e higrométricas (H.W.DOVE, "Einige meteorologischen Untersuchungen über den Wind", *Annalen der Physik* 11 (1827): 545-590). Dove formuló su modelo de circulación atmosférica sin conocer las aportaciones de Kant al respecto. Fue en 1846 cuando redescubrió su obra (H.W.DOVE, "Ueber directe Prüfungen des Drehungsgesetzes auf der nördlichen Erdhalbe, und über Wahrnehmungen derselben auf der südlichen", *Annalen der Physik und Chemie* 67 (1846). pp.305-318).

<sup>32</sup> Se refiere a Antonio de Ulloa (1716-1795), que acompañó a Jorge Juan en la expedición científica enviada a América del Sur por la Academia de Ciencias de París con el fin de medir un arco de meridiano (1736-1745). Publicó con Jorge Juan la *Relación histórica del viaje a la América meridional* (Madrid, 1748), que incluía descripciones geológicas, meteorológicas y mineras.