

jos y reflujos cotidianos de las masas atmosféricas han recibido en los Alpes y en el Jura varias denominaciones, según las localidades, como *thalwind*, *pontias*, *vesine*, *solore*, *vauderou*, *rebas*, *viento del monte Blanco*, *aloup del viento*, etc. M. Fournet, que ha hecho un estudio profundo de estas brisas de montaña, da los siguientes detalles acerca de las circunstancias en que tienen origen.

Se desarrollan principalmente y en alto grado en las concavidades de los valles, aunque no dejan de aparecer en todas las cuestas, y la corriente de los valles no es más que el resultado de las ascensiones de las masas aéreas y de sus cascadas laterales y parciales (valles de Cogne, de Aosta, del Quarazza, llano de San Sinforiano, Pilat, Chessy). El paso del flujo al reflujó y recíprocamente es rápido en los valles angostos que después de un corto trecho van á parar á cumbres elevadas (valles de Anzasca, del Sesia, del Visbach, del Trient, del Cogne, de Val-Megnier, de Martigny, del Simplón); es más tardío en las cuencas generales, en las cuales no se presenta manifiestamente el flujo hasta las diez de la mañana ni empieza el reflujó á regularizarse hasta las nueve de la noche (valles del Gier, de Azergue, del Brevanne, del Arc, de Aosta, del Foccia y del Ródano superior).

Estos vientos, regulares en los valles, están sujetos á varias irregularidades que afectan lo mismo al período diurno que al nocturno; ocurriendo estos accidentes en los puntos de enlace de los valles y según su modo de reunirse. La configuración de las partes superiores de éstos influye también en la intensidad de las brisas, á veces más fuertes de día que de noche, y otras veces al contrario, según las horas y las estaciones. Los temporales de nieve del invierno son favorables á los vientos nocturnos, y las bonanzas del verano á las brisas diurnas. "Sería curioso examinar por tal concepto, dice M. Fournet, la influencia de los circos elípticos que forman las partes superiores y terminales de los valles jurásicos y subalpinos, comparativamente á las terminaciones suaves é insensibles de las montañas primordiales. Por ejemplo, en el valle de Joux son tan bruscas las alternativas de calor y frío, que en pocas horas se experimentan á veces variaciones de 20 grados, y se ha dado el caso de que los segadores cortaran por la mañana el hielo con sus hoces, mientras que pocas horas después el termómetro marcaba 38 grados al sol; es pues imposible que semejantes diferencias de temperatura no produzcan corrientes extraordinarias.,

El efecto de estas mareas atmosféricas, más marcado en los valles anchos, es menor en sus ramificaciones laterales; con todo, si en el valle del Ródano la cuenca se ensancha hasta el punto de convertirse en una verdadera llanura capaz de subvenir á un gran consumo ó de absorber masas de aire considerables, se aminoran sus efectos. Por esto es por lo que el *pontias* llega muy rara vez á la corriente del Rhin.

Las mareas atmosféricas desempeñan un papel importante en la formación de las nubes y en la distribución de las lluvias y de las tormentas, pues arrastran consigo los vapores de los valles para condensarlos alrededor de las altas cumbres. Elevándose todo el día el aire caliente de los llanos, tiende á caldear los valles y las cimas; pero este efecto está contrabalanceado en parte por la evaporación que ocasiona, de suerte que puede desecar y enfriar; por otra parte, la brisa nocturna propende á enfriar los valles llevando á ellos el frío de las regiones superiores, y esto explica la frescura súbita ocasionada por el *aloup de vent*, las congelaciones de vapor de agua causadas por el *pontias* y las heladas primaverales, que á igualdad de la radiación, afectan más particularmente á los vegetales de los valles.

"Los vientos generales superiores, dice M. Fournet al terminar, pueden alterar en

ciertas circunstancias el flujo y reflujó aéreo (Maurienne, Aosta, Ossola, Martigny, monte Cenís), ó bien complicarlos (Cogne); pero su efecto no siempre es bastante enérgico para destruirlos enteramente (monte Thabor, valle del Sesia), y á veces producen una calma chicha (Tarentesa). De aquí se sigue que los pronósticos de buen tiempo, deducidos de la regularidad de la marcha de las brisas, tienen con frecuencia en su contra la experiencia (valle del Brevanne, Cherry, Bex). Puede decirse sin embargo que por lo general la inversión de las corrientes va seguida de lluvia (Maurienne). Por último, las circunstancias de temperatura local pueden anular también las brisas montañesas, y por ello cesa el *pontias* de soplar cuando, en el corto intervalo de las noches calurosas del verano, la tierra, caldeada por un sol abrasador, no tiene tiempo de enfriarse lo bastante.,

En cuanto á la explicación de las brisas de montaña, el autor que acabamos de citar la ve en el caldeo de las cumbres por el sol levante, del cual resulta una corriente ascendente, y al mediodía, en el caldeo del suelo de las llanuras, más fuerte á esta hora que el de las alturas, de lo cual procede la corriente descendente de la tarde.

### CAPÍTULO III

#### CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA GENERAL

##### I

#### LA PRESIÓN, LA TEMPERATURA Y LOS VIENTOS. — ISOTERMAS É ISOBARAS

Los cambios que acabamos de estudiar en la dirección y la fuerza de los vientos están limitados de dos modos: primeramente, en el espacio, por cuanto no interesan más que á una porción muy restringida de la superficie del globo: son fenómenos locales; lo están también en el tiempo, puesto que manifiestan su periodicidad en el intervalo de un día y una noche. Ofrecen sin embargo gran interés al meteorologista, en cuanto le permiten reconocer la causa que los produce, por las relaciones que presentan sus fases de máxima y mínima con los fenómenos meteorológicos á cuya observación está acostumbrado.

Aparte de esto, hemos indicado ya las diferentes relaciones que existen entre los vientos de distintas direcciones y la temperatura, la presión barométrica y el estado de sequedad ó de humedad del aire; verdad es que nunca hemos considerado á la vez más que una localidad determinada, ni comentado las cosas sino desde el punto de vista del equilibrio actual y local, haciendo *meteorología estática*, según la expresión consagrada, punto de partida obligado de una ciencia que ha adquirido gran desarrollo en nuestros días, la *meteorología dinámica*.

Trátase ahora de pasar de lo particular á lo general, de considerar los fenómenos meteorológicos en su conjunto, y de procurar ver, mediante un estudio á la vez simultáneo y sucesivo, cómo se engendran unos y otros y cómo se modifican los movimientos locales por los movimientos generales, de los cuales dependen las más de las veces. En una palabra, se necesita seguir el ejemplo de los meteorologistas contemporáneos

para lograr descubrir las leyes de la circulación atmosférica en los continentes y en los mares.

Esta circulación general se compone, en primer lugar, de vientos que en su intensidad y en su dirección presentan cierta regularidad, una periodicidad ó una constancia bastante para que se los comprenda bajo la denominación de *vientos regulares*. Tales son los vientos *alisios* de los océanos Atlántico y Pacífico, los *monzones* de los mares de la China y de la India y los vientos *etesios* del Mediterráneo. Además de estos movimientos generales de la atmósfera, que según veremos en breve tienen la misma explicación que las brisas periódicas anteriormente estudiadas, y que separan zonas ó centros de calma, sobrevienen de vez en cuando grandes movimientos giratorios que se propagan á grandes distancias desde las regiones comprendidas entre el Ecuador y los trópicos hasta los confines de las dos zonas templadas. Estos fenómenos perturbadores del equilibrio atmosférico, conocidos con los nombres de *temporales*, *ciclones*, *tornados* y *tifones*, desempeñan un papel de importancia suma en los cambios de tiempo que caracterizan á nuestras estaciones y nuestros climas.

Pero ya se trate de vientos regulares ó bien de huracanes, está desde luego probado que los movimientos de la atmósfera dependen, en diferentes grados, de la distribución en la superficie del globo, ya en una época dada ó bien en épocas sucesivas, de la temperatura así como de la presión barométrica; y por consiguiente importa conocer cómo tiene lugar esta distribución en el globo terráqueo, y completar lo que acerca de ella hemos dicho en el Libro primero de este tomo.

Hemos visto que Humboldt tuvo en 1817 la idea de representar en el mapa, con líneas á las que dió el nombre de *isotermas*, la serie de los sitios que tienen la misma temperatura media durante el año. Gracias á este modo ingenioso de representación gráfica, se puede ver á la primera ojeada cómo se distribuyen en la superficie del globo los efectos del calor que la Tierra recibe del Sol. El ilustre autor del *Cosmos* extendió este método á las estaciones extremas, de modo que descompuso el promedio anual en dos promedios semestrales, con lo cual tuvo las isotermas de verano, á las que llamó *isoteras*, y las isotermas de invierno, á las que dió nombre de *isoquimenas* (1). Discutiendo y agrupando todas las observaciones termométricas recogidas hasta entonces en varias regiones del globo, Humboldt pudo construir las isotermas de nuestro hemisferio. Posteriormente, Kaemtz, Mahlmann, y después de éstos un gran número de sabios, han emprendido el mismo trabajo relativamente al globo entero, basándose en la estadística térmica de muchos centenares de estaciones situadas en todas las partes del mundo. Del examen de las curvas termométricas, resultado de los trabajos de los físicos, se desprenden dos hechos generales que las caracterizan: primero, la falta de paralelismo que debería existir en todas partes si la distribución del calor no tuviera más causa que la influencia puramente astronómica; segundo, el ascenso casi general de las curvas isoteras en las partes continentales del hemisferio Norte, siendo así que las isoquimenas descienden en las mismas regiones al pasar de los océanos á las tierras: este carácter es menos marcado en el hemisferio Sur, en donde, como es sabido, las partes continentales atravesadas son más estrechas. También es de notar que en las partes marítimas de los dos hemisferios, especialmente en el Océano Pacífico, en el Atlántico

(1) Isotera, del griego *isos*, igual, y *theros*, verano; isoquimena, de *keimon*, invierno.

austral y en el mar de las Indias, es donde las isotermas se aproximan más en su dirección á los paralelos geográficos. Estas observaciones generales, que requerirían mayor precisión si se tratase del estudio comparado de los diferentes climas, bastan para que se comprendan los papeles opuestos que desempeñan los continentes y los mares en la distribución del calor en la superficie del planeta. Las grandes extensiones líquidas igualan y atemperan las cantidades desiguales de calor que reciben en las estaciones extremas; las tierras, por el contrario, se caldean más en verano y se enfrían más en invierno, presentando así, de una estación á otra, diferencias de temperatura que serían mucho más marcadas si se trazara, en lugar de las isotermas medias de invierno y verano, las de cada mes del año, como lo han hecho algunos meteorologistas contemporáneos.

El examen de las isotermas tiene además gran interés en cuanto concierne á la circulación atmosférica general, puesto que, según hemos visto anteriormente, la causa primordial de los vientos está en las desigualdades de temperatura del aire en regiones más ó menos próximas entre sí. Como estas diferencias de temperatura producen diferencias de presión de las capas del mismo nivel, claro es que no será posible descubrir las leyes de la circulación sin conocer la relación que á cada momento existe en la superficie del globo entre la distribución de la temperatura y la de la presión atmosférica. En este artículo nos ocupamos de las isotermas desde este punto de vista únicamente, pero entonces importa consignar aquí una observación esencial. Hemos visto que la temperatura del aire en un lugar dado no es la misma á diferentes alturas sobre el suelo, sino que por lo común decrece con la altitud. Así, pues, la de cada punto de observación influye en las temperaturas de las diferentes partes de los continentes y de las islas, siendo estas temperaturas las que hay que considerar cuando se quiere comparar los climas desde el punto de vista del calor; pero no son ya comparables si se las quiere utilizar para resolver la cuestión de la conservación ó de la ruptura de equilibrio de las capas de aire que hay sobre cierto número de estaciones más ó menos inmediatas entre sí. Para que puedan proporcionar por tal concepto indicaciones útiles, hay que referirlas ante todo á un nivel común, en cuyo caso se reducen las observaciones termométricas al nivel del mar, del propio modo que se hace, según hemos visto, con las observaciones barométricas. Las isotermas así obtenidas serán las que deban compararse con las *isobaras*.

Dase el nombre de *isobaras* á las curvas trazadas en el mapa de modo que se enlacen con una línea continua todos los puntos del globo, todas las estaciones que en una época dada tienen la misma presión barométrica. Si se considera el promedio de las presiones barométricas anuales, se obtienen *las isobaras medias del año*. De igual suerte se construyen, según el objeto propuesto, las isobaras medias de julio, de enero, ó en general de cualquier mes del año. En fin, cuando se trata de conocer día por día la distribución de las presiones en el globo, ó en una comarca particular, así como sus variaciones, se construyen las isobaras cotidianas, en vista de todas las observaciones reunidas diariamente á la misma hora en suficiente número de estaciones meteorológicas.

Estudiando la distribución de la presión atmosférica en una misma capa de nivel en toda la atmósfera, llama desde luego la atención una circunstancia y es que las isobaras, así como las isotermas, no siguen en general la dirección de los paralelos. Sin embargo, en enero se observa este paralelismo en algunas regiones, primeramente en una zona algo al Norte del Ecuador, entre los 10° y los 25° de latitud, y luego en el hemis-

ferio Sur, debajo del paralelo 40. En todas las demás partes las isobaras forman sistemas de curvas concéntricas que tienen sus centros, ora en los continentes, ó en alta mar. En julio el paralelismo de las isobaras y de los círculos de latitud ha desaparecido al Norte del Ecuador, quedando cierto indicio de él entre Africa y Australia, en la zona comprendida entre los  $0^{\circ}$  y  $15^{\circ}$  de latitud austral; mas, aparte de algunas inflexiones hacia la punta de la América meridional, se vuelven á encontrar en el Sur las líneas de las isobaras de las altas latitudes australes. En cuanto á los sistemas concéntricos de que acabamos de hablar, se los observa en los dos hemisferios, pero con posiciones y significaciones enteramente distintas.

Veamos ahora si existe, como puede suponerse *á priori*, alguna relación entre la distribución de las temperaturas y la de las depresiones barométricas. Para darse cuenta de ello, no hay más que comparar las isotermas con las isobaras construídas para una misma época.

De esta comparación resulta en efecto que las regiones en que reina la temperatura más baja son también aquellas en que la presión barométrica llega á su máximo, y que, por el contrario, á las temperaturas más altas corresponden en general las presiones menos fuertes. Citemos algunos ejemplos.

En enero vemos en el antiguo continente una serie de isobaras que indican una serie de presiones crecientes, desde las costas occidentales de Europa por una parte y desde las costas meridionales y orientales de Asia por otra, hasta un punto comprendido entre los  $105^{\circ}$  y  $120^{\circ}$  de longitud E. y los paralelos 50 y 60. La presión llega entonces á 780 milímetros; es un centro de presión máxima de los mejor caracterizados. Pues bien, las curvas isotérmicas dan para la región considerada temperaturas medias de  $-25^{\circ}$  á  $-35^{\circ}$ . A poca distancia al Nordeste y siempre en el continente asiático, hay un centro de temperatura mínima, en donde el promedio termométrico llega á  $48^{\circ}$  bajo cero. En la misma época la temperatura varía entre  $0^{\circ}$  y  $+10^{\circ}$  en las costas occidentales de Europa, entre  $-5^{\circ}$  y  $+20^{\circ}$  en las orientales de Asia, para pasar de  $+25^{\circ}$  en el litoral del mar de las Indias.

En la América del Norte existe otro centro de presión máxima, hacia el centro de los Estados Unidos. Pero las isotermas que atraviesan el continente americano presentan en esta misma región una inflexión marcada hacia el Sur, indicando un descenso en la temperatura media en enero. A los  $45^{\circ}$  de latitud, poco más ó menos en el punto en que existe el centro de presión máxima, la temperatura varía entre  $-5^{\circ}$  y  $-10^{\circ}$ , es decir, es tan baja como en la península de Alaska ó como en la punta Sur de Groenlandia, ó sea hacia el paralelo 60.

En el hemisferio austral hay dos centros en que la presión es mínima, uno en el Africa del Sur y otro en el continente australiano. Ambos están caracterizados por la elevación de temperatura, que llega á 30 grados.

En julio los fenómenos térmicos y barométricos ofrecen una fisonomía inversa de la que acabamos de comprobar con respecto á la estación opuesta; sin embargo, se presenta la misma relación entre los máxima de presión y los mínima de temperatura, y entre los mínima de aquélla y los máxima de ésta. Todo el antiguo continente es asiento de presiones tanto más débiles, cuanto más elevado es el promedio termométrico; las isobaras marcan una depresión que tiene su centro hacia la India, en donde el barómetro baja á 748 milímetros, al paso que el termómetro sube allí por término medio hasta  $30^{\circ}$ . Lo propio sucede en el continente americano, en donde coincide una temperatura de  $+35^{\circ}$ , con un minimum de presión de 756 milímetros, en California y

en México. En cambio las presiones máxima han desaparecido de los continentes del hemisferio Norte, para trasladarse al Atlántico y al Pacífico por una parte, y á los países australes de América, Africa y Australia por otra, es decir, á regiones en que reinan temperaturas más bajas en esta época del año.

Sin embargo, no deben considerarse estas coincidencias como consecuencias necesarias de una ley general que enlace las temperaturas y las presiones. La distribución de estas últimas en la superficie del globo tiene causas complejas, según hemos visto, y por otra parte, tan luego como un centro de altas ó de bajas presiones se establece en una región, al punto resulta de él un régimen de vientos que giran á su alrededor, llevando consigo la temperatura de los puntos de donde soplan, y quedando por consiguiente alterada la posición relativa de las áreas de presión y de temperatura (1).

## II

### LAS ISOBARAS Y LOS VIENTOS

Lleguemos ahora á la cuestión que teníamos á la vista al principio de este capítulo, y veamos qué consecuencias se pueden deducir, en cuanto á la circulación atmosférica, del estudio de las isotermas y de las isobaras. ¿Qué relación hay entre la dirección y la fuerza del viento en un punto dado, y las áreas de alta ó baja presión cuya existencia á mayor ó menor distancia de este punto indican los sistemas de isobaras?

Entre dos puntos A y B pertenecientes á una misma isobara, la diferencia de presión es nula; las moléculas de aire situadas al mismo nivel están en ellos en equilibrio, y por lo tanto de A á B no hay ninguna causa de movimiento ó de viento. Pero no sucede ya lo mismo si se consideran dos puntos A y *a* pertenecientes á dos isobaras distintas; en A la presión es H, en *a* es  $H_1$ , más fuerte ó más floja que la primera. En este caso el aire propende á escaparse del sitio en que la presión es mayor al otro en que es menor, de A hacia *a* si  $H > H_1$ . Pero entre todas las direcciones A*a*, A*b*, A*d*, que una molécula situada en la primera isobara puede seguir para llegar á un punto de la segunda, fácilmente se comprende que seguirá la más corta, es decir, la de una perpendicular á dos curvas. Se puede comparar esta dirección A*a* á la línea de mayor inclinación que reúne dos curvas de nivel en el terreno. Si se divide la diferencia de pre-

(1) Para apreciar mejor las relaciones que existen entre las presiones y las temperaturas, en lugar de comparar las isobaras con las isotermas, como acabamos de hacerlo, se pueden sustituir éstas con las *isonomas*. Dove ha dado este nombre á las líneas que unen los puntos del globo cuya temperatura presenta la misma diferencia sobre y bajo el promedio á igual latitud. Procediendo de este modo ha formulado Teisserenc de Bort las dos proposiciones siguientes, tan aplicables á los océanos como á los continentes.

„1.<sup>a</sup> Cuando una región de cierta extensión presenta un exceso de temperatura, ya sea absoluto, ó bien relativo á la temperatura de los puntos situados á la misma latitud, hay tendencia en la formación de un minimum en este punto y coincidencia casi completa entre el minimum barométrico y el maximum de temperatura, existiendo además cierta proporcionalidad entre ellos. Esta tendencia se hace ostensible, ya por la existencia de un minimum cerrado, ó ya tan sólo por una inflexión de las isobaras.

„2.<sup>a</sup> Los máxima barométricos, puntos de los que se escapa el aire divirgiendo, tienen cierta tendencia á establecerse con preferencia en la proximidad de las regiones en que la temperatura es baja, ya de un modo absoluto, ó ya relativamente á su latitud.

Sin embargo, el sabio meteorologista hace observar que hay que tener en cuenta la influencia de los vientos, según hemos dicho antes, y también la de los obstáculos materiales, como relieves del terreno, corrientes generales, etc., que interceptan las corrientes de aire capaces de anular las diferencias de presión barométrica.