Climatología dinámica, sinóptica o sintética. Origen y desarrollo

por **L. M. ALBENTOSA**

Como sucede en otras muchas ciencias, la incorporación de nuevos conocimientos y técnicas lleva consigo una complejidad terminológica que se manifiesta con la adición de adjetivos aclarativos. De esta manera, si en el pasado siglo todos los problemas del tiempo tratados retrospectivamente quedaban englobados en una ciencia unitaria denominada Climatología, con el desarrollo de ésta y, sobre todo, con la evolución de los métodos de investigación han ido apareciendo una serie de expresiones que matizan la orientación de los estudios. En términos generales las designaciones utilizadas se alinean en dos grandes grupos; por una parte, se habla de Climatología analítica, separativa, tradicional; por otra, de Climatología dinámica, sinóptica, sintética, moderna. Los puntos de partida, métodos de trabajo e incluso objetivos de las tendencias que representan cada uno de los grupos distan fuertemente el uno del otro. Mientras que los estudios comprendidos en el primer grupo se basan en el análisis estadístico de los caracteres que se consideran más significativos del clima —normalmente, temperaturas, precipitaciones y vientos—, los trabajos del segundo grupo se apoyan en el análisis de las manifestaciones cambiantes que se registran en la atmósfera, considerándose ésta como una unidad física. La diferenciación metodológica de ambas tendencias resulta, por tanto, de la distinta concepción del clima y, en última instancia, de la misma atmósfera.

El método analítico se apoya en una consideración horizontal de los climas. Pero si se parte de la base del reconocimiento de la atmósfera como unidad física, el estudio se ha de complementar con un análisis en sentido vertical, como propugna Carl Troll en sus ideas sobre la Geografía tridimensional. No cabe duda de que la Climatología moderna requiere el conocimiento de dos grandes grupos de procesos meteorológicos: por una parte, la circulación general de la atmósfera, que gobierna el elemento advectivo del clima local o regional; por otra, los intercambios turbulentos de la radiación en un sentido vertical, que rigen el equilibrio calorífico y de la humedad.

* Por motivos de espacio, el trabajo ha sido dividido en dos partes. En esta primera analizamos el origen y formulación de las bases de la ciencia, así como el proceso de sistematización y desarrollo reciente. En la segunda parte, que se presentará en el siguiente volumen, estudiaremos el estado actual de las investigaciones.

Ahora bien, a pesar de que las primeras ascensiones tienen lugar a comienzos del siglo XIX, las capas altas de la atmósfera no se conocen hasta que a partir de la segunda guerra mundial se desarrolla la aviación y, en función de ésta, se intensifican los sondeos. Además, se ha de tener presente que los métodos que identificamos con los seguidos por la Climatología moderna sólo se pueden aplicar en aquellas regiones que cuentan con una adecuada red de observatorios de superficie y altura. No se puede olvidar que la atmósfera constituye un medio gaseoso, y que, aunque encierra pequeñas discontinuidades, no presenta una compartimentación; es más, la experiencia muestra que con frecuencia los caracteres del tiempo sobre un lugar determinado tienen su origen en regiones lejanas. Estos dos hechos —distinta concepción del objeto de estudio y la necesidad de una mayor información en sentido horizontal y vertical— justifican sobradamente el retraso con que se desarrollan y aplican los nuevos métodos.

Pero mientras que los contenidos y medios utilizados por los estudios correspondientes al primer grupo —Climatología analítica, separativa o tradicional— son idénticos, y las diferencias terminológicas responden únicamente a un intento de matización en la titulación por parte de los autores que las utilizan, no sucede lo mismo con las exposiciones del segundo grupo. Evidentemente, el uso de los adjetivos «moderna» o «nueva» responde a un cambio en el sentido del objeto de estudio y, por consiguiente, a unos métodos diferentes de investigación; representa una innovación respecto de la Climatología analítica o tradicional. En cuanto al explicativo «sintética», a nuestro entender bastante afortunado por razones que posteriormente aclararemos, supone la concepción del clima como resultado del conjunto de procesos que se registran en la atmósfera. Esta se nos presenta como un sistema estrechamente relacionado, constituye una realidad física; la conducta de las capas inferiores —en las cuales se desarrollan los climas— es gobernada por las corrientes de altura, y particularmente por las corrientes en chorro; constituye lo que los anglosajones denominan «*principle of steering*».

Por último, hemos de abordar dos expresiones —Climatología dinámica y Climatología sinóptica— entre las que sí se distinguen unas diferencias de concepción del clima y de los métodos empleados. La primera de ellas se propone la explicación matemática de la atmósfera por las leyes de la mecánica de los fluidos y de la termodinámica. Se basa en las frecuencias e intensidades medias de los sistemas de circulación, de donde resultan una serie de configuraciones-promedio. Estos modelos de circulación —muy empleados por los meteorólogos y por algunos geógrafos alemanes— pueden ser válidos para aquellas regiones donde el ritmo de tiempo presenta una notable uniformidad en el curso del año, es decir, cuando se distinguen unas «singularidades»; pero pierden interés en aquellas regiones, como las nuestras, donde no se aprecia una evolución más o menos constante, e incluso donde con frecuencia la sustitución predomina sobre la evolución. La Climatología sinóptica procede, por el contrario, de una manera experimental. Traza el mapa de elementos atmosféricos referido a un espacio limitado por tres dimensiones: espacio sinóptico que cubre, por ejemplo, el Atlántico y Europa sobre un espesor de 10 km y a unas horas precisas, llama-

das horas sinópticas (0, 6, 12 y 18 h. TU, por ejemplo). De la evolución de los fenómenos durante un período más o menos largo se obtienen unas leyes empíricas. La Climatología sinóptica descansa en la consideración de la atmósfera como realidad física, en los tipos de tiempo; en este sentido el clima es el resultado de una sucesión de procesos dinámicos continuamente cambiantes que, evidentemente, están en relación con la circulación general.

Tanto la Climatología dinámica como la sinóptica, al descansar en fenómenos pasados, son *abstractas*. Sin embargo, la segunda, en cuanto se basa en situaciones observadas, se aproxima más a la realidad. Con esto no pretendemos adoptar una postura excluyente; es más, pensamos que se complementan, aunque es obvio que por sus objetivos el geógrafo debe pretender un conocimiento lo más real posible del medio atmosférico en el que queda inmerso su campo de estudio. Los procesos que experimenta la circulación atmosférica en el curso del año o modelos de circulación —base de la Climatología dinámica—, junto con los caracteres geográficos, constituyen los factores fundamentales que configuran el clima de una región. Por otra parte, el análisis de los tipos de tiempo —realidades físicas—, su sucesión, frecuencia y permanencia —material de base de la Climatología sinóptica—, supone abordar los caracteres verdaderos del clima, aparte de que constituyen las pruebas sinópticas de los mecanismos de la circulación atmosférica. Esta complementación que se observa entre las dos tendencias y el hecho de que ambas hayan adquirido una clara singularidad nos inclinan a pensar que la utilización de la expresión «Climatología sintética» podría salvar la exclusión de una u otra aportación —ambas necesarias para el geógrafo— en el significado de la titulación del trabajo. También se le podría denominar Climatología física, en cuanto que ambas tendencias se basan en la física del aire.

El material de base para una y otra tendencia es el mismo. Ahora bien, el carácter más esquemático que presenta la Climatología dinámica —aspecto muy importante en la primera etapa, de escasez en información— y el hecho de que la ciencia haya sido desarrollada sobre todo por meteorólogos predictores, explican su mayor desarrollo y profusión de trabajos. En este estudio no pretendemos establecer una diferenciación entre los trabajos de una y otra tendencias; ello complicaría considerablemente la lectura, aparte de que algunos autores utilizan indistintamente ambas expresiones. El objetivo fundamental consiste en plantear la evolución de estos nuevos métodos, incidiendo en las investigaciones que consideramos más representativas de cada una de las etapas seguidas. En este sentido se pueden distinguir dos períodos claramente singularizados, situándose la bisagra de unión en los años de la Segunda Guerra Mundial y siguientes. Durante el primero se inicia la nueva concepción y se establecen las bases fundamentales. El segundo representa la consolidación y desarrollo de los nuevos métodos.

ORIGEN DE LA CLIMATOLOGIA SINTETICA Y FORMULACION DE LAS BASES METODOLOGICAS

Como sucede en otras ciencias, la primera etapa de la Climatología sintética se caracteriza por una particular atención a los problemas teóricos generales.

En el caso que nos ocupa se ha de tener presente que la nueva concepción del clima, basada en la sucesión de las situaciones atmosféricas, lleva consigo una dependencia de estas situaciones respecto de la circulación atmosférica, que se convierte en el eje de las condiciones climáticas regionales. Por ello resulta evidente el hecho de que durante esta primera etapa las mayores preocupaciones se centren fundamentalmente en la formulación de hipótesis acerca de los grandes sistemas de vientos.

Teniendo presente estas consideraciones, resulta difícil precisar el origen de estas tendencias o los trabajos que precedieron al desarrollo de los nuevos métodos. No cabe duda de que las teorías sobre la circulación general formuladas por Halley (1686), Hadley (1735) y Ferrel (1856), basadas todas ellas en principios fundamentalmente térmicos, constituyeron los primeros intentos. Sin embargo, estos estudios no tuvieron una continuidad y, con el tiempo, se revelaron inexactos. Tampoco tuvieron una continuidad los ensayos de mapas sinópticos realizados por Brandes (1820) y Leverrier (1854), aunque sobre todo los realizados por este último despertaron una ola de optimismo que repercutió positivamente en una mayor atención a los servicios de observación. Estos estudios, como la teoría sobre las tempestades formulada por Dove (1840) y los modelos de circulación de Buys-Ballot (1860) y de Guldeberg-Mohn (1877), aunque analizados retrospectivamente constituyeron aportaciones importantes, en la mayoría de los casos quedaron reducidos a esfuerzos aislados sin continuidad. Por tanto, pensamos que se trata de los primeros latidos de una nueva ciencia naciente, es decir, constituyen unos antecedentes lejanos.

La preocupación por los problemas de la atmósfera en relación con el clima alcanza una gran difusión durante los dos últimos decenios del siglo XIX; de ahí el que hayamos elegido este período como base cronológica de las nuevas tendencias. Además, es precisamente en estos años cuando se realizan los primeros estudios de Climatología basados en el análisis de los tipos de tiempo. En el primer quinquenio de los años ochenta, el francés Teisserenc de Bort estudia el régimen y caracteres del tiempo atmosférico en relación con la posición de los centros de acción. Siguiendo esta tendencia, Teisserenc de Bort realiza dos trabajos, ambos referidos a Francia; en uno de ellos analiza la posición de los grandes centros de acción que gobiernan el clima durante la primavera (1); en el otro estudia, también en relación con los centros de acción, los caracteres anormales de un invierno rigurosamente frío, el de 1879-1889 (2). Esta línea de investigación se difunde rápidamente y, antes de que finalice el siglo, es aplicada, entre otros, por Van Bebber en Alemania, R. Abercromby en las Islas Británicas, W. Moore en Estados Unidos y A. Hunt en Australia. Como precedente de estos estudios se puede considerar el trabajo de W. Köppen sobre los efectos del flujo del viento de superficie en el tiempo de San Petersburgo; este análisis, publicado en 1870, se basa en los mapas diarios correspondientes a un período de dos años.

(1) TEISSERENC DE BORT: *Etude sur la position des grandes centres d'action de l'atmosphère au printemps*, París, 1883, pp. 31-56.

(2) TEISSERENC DE BORT: *Etude sur l'hiver de 1879-1880 et recherches sur la position des centres d'action de l'atmosphère dans les hivers anormaux*, París, 1884, pp. 17-62.

Pero si importantes fueron estos estudios en cuanto que representan el comienzo de un camino en las investigaciones climatológicas, la aportación más sobresaliente de la época fue sin duda la determinación por Van Bebbber de las grandes vías de penetración en Europa de las corrientes perturbadas (3). Este estudio, aunque clásico, todavía es utilizado —con pequeñas modificaciones, o más bien adaptaciones—, en los trabajos de Climatología sinóptica. Por tanto, las aportaciones de Teisserenc de Bort y Van Bebbber justifican la elección del penúltimo decenio del siglo XIX como punto de partida de la nueva ciencia, sobre todo si se tiene en cuenta la influencia y continuidad que alcanzaron.

Las aportaciones en el campo de la circulación general de la atmósfera

Durante los dos últimos decenios del siglo XIX se replantean las teorías sobre la circulación general atmosférica, incorporándose a la ciencia nuevas hipótesis, entre las que cabe destacar las formuladas por J. Prune (1885), Helmholtz (1888) y Ferrel (1889). Todavía fue mayor la importancia de los principios de termodinámica de la atmósfera formulados por Hertz (1884), Bezold (1889) y, sobre todo, los incluidos en el modelo de Helmholtz. Sin embargo, a pesar del valor de estos últimos estudios, llama la atención el escaso interés que despertaron. Concretamente, no se explica la reducida influencia que tuvo el estudio de Helmholtz en los análisis de los movimientos de la atmósfera, puesto que enuncia magistralmente una serie de principios fundamentales que todavía hoy no han sido correctamente evaluados.

Durante los primeros decenios del siglo XX no sólo se continúa en la línea de investigación iniciada, sino que progresivamente aumenta la frecuencia en la aparición de trabajos; esto, unido a las mejoras técnicas y de información, favorece el rápido desarrollo que experimenta la nueva Climatología en esta época. Muchos autores continúan centrando sus esfuerzos en el estudio de la circulación general de la atmósfera y elaboran nuevos modelos de la misma; la mayoría de ellos presentan unos mismos caracteres básicos: se apoyan en esquemas tricelulares en los que es fundamental el intercambio término meridiano. Entre éstos habría que destacar los modelos formulados por Nargules (1903), Ekman (1905), Hasselberg y Sverdrup (1914), Ekner (1917), Bergeron (1928) y, sobre todo, los de Bjerkness (1898 y 1912) y Rossby (1941).

En el teorema de J. Bjerkness se describen los mecanismos del desplazamiento de los ciclones, la estructura de los mismos y los cambios de tiempo que determinan. El autor observa que el origen y evolución de los ciclones templados que atraviesan el Atlántico de América a Europa están en relación con la banda de contacto entre dos masas de aire de propiedades físicas contrastadas, a las que llama «aire tropical» y «aire polar», y «frente polar» a la discontinuidad (4).

(3) VAN BEBBBER, W. J.: *Die Hauptwetterlagen in Europa*, Stuttgart, 1898, 219 pp. (1.ª edición, 1896).

(4) BJERKNES, J.: *L'évolution des cyclones et la circulation atmosphérique, d'après la théorie du front polaire*, París, 1923, (1.ª ed., 1919).

Se ha de tener presente, para evaluar correctamente la importancia del trabajo de Bjerkness, que el concepto de heterogeneidad física del aire en sentido horizontal no se plantea hasta el tercer decenio del siglo xx, y que sólo a partir de este momento se establecen un cierto número de masas de aire susceptibles de ser cartografiadas.

Por su parte, C. G. Rossby, en su primera hipótesis sobre la circulación formulada en 1941, analiza los efectos de la rotación de la Tierra sobre el doble flujo meridiano que resulta del contraste de las temperaturas y presiones en superficie y en altura entre los polos y el ecuador, de cuyo análisis resulta el esquema tricelular (5).

El modelo de Rossby tiene el mérito de ser una minuciosa síntesis de los movimientos zonales y meridianos, los cuales se explican por combinaciones y compensaciones de fuerzas.

El primer ensayo que se realiza para explicar la circulación general de la atmósfera por procesos exclusivamente mecánicos se debe a los franceses G. Deдебant y Ph. Wehre, quienes, a comienzos del cuarto decenio, formularon la teoría de la «rotación diferenciada» (6). Estos autores basan su hipótesis en que la circulación de la atmósfera consiste en un desplazamiento zonal de oeste a este; ahora bien, como la atmósfera es un medio gaseoso, se subdivide en varias bandas de velocidad diferente según la latitud y la altura. Esta tesis ha sido rechazada por los físicos.

Estudios acerca de las masas de aire y discontinuidades atmosféricas

Una vez conocidos los trabajos sobre la circulación general de la atmósfera recogidos en el apartado anterior, y, sobre todo, a continuación del planteamiento del esquema celular descrito por J. Bjerkness, se acepta la existencia en la atmósfera de discontinuidades que separan cuerpos de gran homogeneidad o masas de aire.

La primera clasificación sistemática de las masas de aire aparece en 1928, y se debe al noruego T. Bergeron (7). En ella el autor distingue tres grandes grupos de masas en relación con la situación de las fuentes (A, P y T); cada una de éstas, a su vez, se subdivide en dos tipos —marítima y continental—, según la posición de la fuente y la trayectoria seguida, resultando, por tanto, seis tipos (Am y Ac, Pm y Pc, Tm y Tc); finalmente, en la masa Pm distingue dos categorías, según se haya elaborado al norte o sur del paralelo 50° (Pm fría y Pm cálida, tropicalizada o de retorno respectivamente). Esta clasificación alcanzó rápidamente una gran difusión, utilizándose todavía hoy en la mayor parte de

(5) ROSSBY, C. G.: *Climate and Man, Yearbook of Agriculture*, Nueva York, 1941, pp. 599-655.

(6) DEDEBANT, G. y WEHRLE, PH.: *La circulation générale de l'atmosphère sur une globe uniforme déduite d'un principe de moindre dissipation*, París 1935, p. 181 (1.ª ed., Lisboa 1933).

(7) BERGERON, T.: *Über die dreidimensional verknüpfende wetteranalyse*, Oslo, 1928, pp. 1-11.

los trabajos de Climatología sinóptica y dinámica. Como observa P. Pédélaborde, esta clasificación sintetiza las combinaciones geográficas completas e interesa más al geógrafo que otras más recientes, como la segunda realizada por el propio Bergeron, que se basa en la termodinámica de las masas de aire en función de la temperatura relativa del substrato (8).

El método elaborado por T. Bergeron fue inmediatamente aplicado, aunque con algunas modificaciones, por F. Linke y su discípulo E. Dinies en los trabajos que ambos realizaron acerca de Europa central. Ahora bien, éstos consideraron una serie de unidades, a las que denominaron «cuerpos de aire», y que identificaban con un conjunto de elementos climáticos observados en las capas bajas de la atmósfera. Evidentemente, este método es más sencillo que el formulado por T. Bergeron, que requiere un conocimiento de los niveles elevados de la atmósfera. Esta simplificación del análisis tuvo una notable importancia en aquella época en que las estaciones aerológicas continuaban siendo escasas. Por ello tuvo una buena acogida, sobre todo entre los colegas alemanes. Todavía en 1950, el alemán P. Kunow, en su estudio sobre el clima de Valencia y Baleares, mantiene que «es más apropiado para investigaciones climatológicas el estudio de los «cuerpos de aire» (sistema de Linke) que el de las masas de aire realizados por Bergeron, Schinze y otros siguiendo a Bjerkness, que no pueden identificarse por completo» (9). El mismo P. Kunow, que sigue la línea de investigación marcada por su maestro H. Lautensach, piensa que los «cuerpos de aire» pueden definirse mejor por la experiencia adquirida en el lugar de estudio que a través de los mapas sinópticos.

Ahora bien, la clasificación de Linke prácticamente no traspasó las fronteras de Alemania, e incluso en este estado la siguieron casi exclusivamente los geógrafos, mientras que los meteorólogos continuaron empleando el sistema de Schinze y, sobre todo, el de Bergeron, que acabó por imponerse.

Después de la formulación por Bergeron del concepto de masa de aire, se realizaron numerosos trabajos sobre regiones muy diversas y distantes, incidiendo en la frecuencia alcanzada por las masas de aire. Entre estos estudios, cuyas citas recogemos en la bibliografía general, cabe destacar los de Willet (1933) y Showalter (1939) en América del Norte, Tu (1939) y Lu (1945) en China), Arakawa en Japón (1937), Roy en la India (1949), Schamp (1939) y Serra (1949) sobre el Mediterráneo, y Gentili acerca del hemisferio Sur (1949). Algunos de estos trabajos fueron aprovechados por S. Petterssen en la síntesis que realizó acerca del hemisferio Norte (10).

En el cuarto decenio del siglo se plantea también la existencia de algunas masas de aire que presentan una singularidad respecto de los modelos incluidos en las clasificaciones anteriormente citadas. En este sentido cabe destacar, por el

(8) PÉDELABORDE, P.: *Le climat du bassin parisien*, París, 1958, p. 134.

(9) KUNOW, P.: *El clima de Valencia y Baleares*, Valencia, 1966, p. 64 (edición alemana, 1950).

(10) PETERSSEN, S.: *Weather analysis and forecasting*, Nueva York, McGraw-Hill, 1940, cap. III.

interés que tiene para nosotros, el planteamiento de la formación de la masa mediterránea. El primer estudio que trata de su existencia aparece en 1935 y se debe a C. Fabris (11). El autor, siguiendo la clasificación de Schinze, se limita a señalar las diferencias que se observan en las características físicas de las masas de aire a su paso por Europa central en comparación con las que manifiestan a su llegada al Mediterráneo; pero se refiere a corriente frescas y activas, es decir, recién llegadas, que continúan siendo masas polares o subtropicales pero que todavía no pueden ser clasificadas como específicamente mediterráneas. Posteriormente se encuentran muy pocas referencias acerca de esta cuestión, tendiendo los autores a prescindir de esta masa de aire y volver a la clasificación tradicional de T. Bergeron. Sin embargo, hemos de destacar los trabajos de dos meteorólogos españoles —I. Font Tullot y J. M. Jansá— que han clarificado notablemente esta cuestión. El primero de ellos estudió, siguiendo el método de Schinze, los sondeos termodinámicos efectuados en Palma entre 1938 y 1940 (12). Este autor, al igual que C. Fabris, analiza la alteración que experimentan las masas de aire extramediterráneas por el hecho de haber alcanzado la región; una vez construidas las curvas características de Schinze, observa importantes diferencias con relación a los resultados obtenidos por este autor para Alemania, aunque no aclara si las transformaciones son lo suficientemente importantes para alcanzar la categoría de nuevas masas. El trabajo de J. M. Jansá es muy posterior a todos los anteriormente citados; el incluirlo en este apartado responde únicamente al hecho de que en los años anteriores apenas existen referencias de otros autores y el meteorólogo español obtiene unas conclusiones del problema planteado. Piensa que efectivamente en la cuenca occidental del Mediterráneo se forma una masa específica, y que ésta resulta de las transformaciones que durante un cierto tiempo de estancamiento pueden sufrir tanto las masas subtropicales como las polares. Llega a la conclusión de que la hipotética masa de aire mediterránea sólo tiene un espesor de 2.000 m, y que por encima de dicho nivel no se diferencia del aire atlántico subtropical en su región de origen (13).

Los principales métodos de análisis frontal aparecen descritos en los textos de Pettersen (14) y Godske-Bergeron-Bjerkness-Bundgaard (15). También es un estudio excelente, en el que se sintetiza el desarrollo y estado de la problemática, el capítulo que dedican Palmen y Newton en su obra *Atmospheric circulation systems: their structure and physical interpretation* (16). Se puede decir que entre 1930 y 1940 las masas de aire y los frentes constituyeron conceptos inseparables en la práctica del análisis sinóptico.

(11) FABRIS, C.: *Masse d'aria nel Mediterraneo*, Venecia, 1935.

(12) FONT TULLOT, I.: *Primeros resultados de los sondeos termodinámicos de la troposfera en Baleares*, Serv. Met. Nac., Madrid, 1943.

(13) JANSA, J. M.: *La masa de aire mediterránea*, Geofísica, Madrid, 1959, pp. 35-55.

(14) PETERSSEN, S.: *Weather analysis and forecasting*, McGraw-Hill, Nueva York, 1956.

(15) GODSKE, C. L., BERGERON, T., BJERKNES, J. y BUNDEGAARD, R. C.: *Dynamic meteorology and weather forecasting*, Amer. Met. Soc., Boston, 1957.

(16) PALMEN, E., y NEWTON, C. W.: *Atmospheric circulation systems: their structure and physical interpretation*, Academic Press, Nueva York, 1969, cap. VII.

Por tanto, a principios del tercer decenio del siglo se habían formulado ya las bases fundamentales de la nueva Climatología (masas de aire, frentes, tipos de tiempo y vías de penetración de los mismos), en buena parte debidas a las aportaciones de los meteorólogos de la escuela noruega de Bergen. Se puede decir que en estos momentos están ya sentadas las bases de la moderna concepción de la Climatología y, por consiguiente, de los métodos de investigación. Esta situación da lugar a las primeras manifestaciones de apoyo a las nuevas tendencias. Así, ya a principios del segundo decenio, A. Hettner dice que «el clima depende de la circulación general de la atmósfera y no de la radiación solar» (17). Y, unos años más tarde, el también alemán W. R. Eckard escribe que «el estudio de los ciclones y anticiclones es el que nos permite comprender el conjunto de los factores climáticos; el cambio de alta o baja presión o las transformaciones en la distribución de la presión atmosférica condicionan el clima de un país» (18).

Los estudios de Climatología sintética regional

Partiendo de los principios apuntados en los apartados anteriores, se realizaron numerosos trabajos de Climatología regional. Esta nueva tendencia se aplicó a regiones climáticamente diferentes, aunque su aceptación en un primer momento por parte de las escuelas de investigadores fue muy distinta. Estos nuevos métodos de trabajo tuvieron rápidamente mucho éxito en Alemania, donde los climatólogos, a mediados del cuarto decenio de siglo, habían realizado cerca de medio centenar de estudios. Entre éstos habría que destacar, por la importancia que tienen para nosotros, los elaborados por H. Lautensach y sus discípulos —Müller, Freymann, Wrobel, Kunow, etc.— acerca de la península Ibérica (19). Anteriormente, H. Lautensach y R. Freymann habían construido un sistema de clasificación de los tipos de tiempo que serviría de base para los estudios regionales realizados por el grupo; distinguieron seis situaciones fundamentales, de las que, una vez subdivididas, resultaban treinta y seis tipos de tiempo (20). En realidad, este sistema considera, más que unos tipos de tiempo, unos modelos de circulación regional deducidos de los mapas de presiones medias; con ellos pre-

(17) HETTNER, A.: *Die Klimate der Erde*, Leipzig, 1911 (cita recogida de P. PÉDÉLABORDE: *Le climat du bassin parisien*, op. cit., p. 58, nota 2).

(18) ECHARDT, W. R.: *Gründzüge einer Physioklimatologie der Feslländer*, Berlín, 1922 (cita tomada de P. KUNOW, op. cit., p. 58).

(19) MÜLLER, K.: *Das Klima Neukastiliens auf Grund der spanischen Wetterbeobachtungen 1906-1925*, Giessen 1933. FREYMAN, R.: *Das Klima von Portugal auf Grund der Wetterbeobachtungen 1903-1922*, Giessen, 1935. SCHMITT, R.: *Das Klima von Altkastilien und Aragonien auf Grund der spanischen Wetterbeobachtungen 1906-1925*, Giessen, 1935 (trad. esp.: *El clima de Castilla La Vieja y Aragón*, Est. Geogr. Madrid, 1945, pp. 727-812). WROBEL, J.: *Das Klima von Katalonien und der Provinz Castellón auf Grund der spanischen Wetterbeobachtungen der Jahre 1906-125*, Hamburgo, 1940. KUNOW, P.: op. cit.

(20) LAUTENSACH, H.: *Geografía de España y Portugal*, Barcelona, 1967, pp. 59-68 (1.ª ed. alemana: Munich, 1964).

tenden explicar, sin conseguirlo, la compleja realidad climatológica de la península Ibérica. Mantienen la formación sobre la Península de dos centros de acción específicos —la baja de verano y la alta de invierno— como factores fundamentales del ritmo climatológico, es decir, se observa la idea del desarrollo sobre la Península de un sistema de vientos de carácter monzónico, hipótesis que, aunque alcanzó una notable difusión, fue rechazada por J. García Fernández (21), y, posteriormente, en un excelente trabajo, por A. López Gómez (22).

Particular atención merece el estudio que H. Flohn realiza de las masas de aire y «singularidades climáticas» en su *Neue Wege in der Klimatologie*, publicado en 1936 (23). Al establecer los principios de su «Witterungsklimatologie», el autor parte de la idea de que se produce un encadenamiento regular de los fenómenos atmosféricos en el curso del año. El método puede ser válido para regiones como Gran Bretaña o Alemania, por donde con bastante regularidad se desplazan de oeste a este las borrascas atlánticas; sin embargo, la experiencia sinóptica nos demuestra que, en la península Ibérica, los fenómenos meteorológicos no se suceden con la misma regularidad; es más, a diferencia de las regiones centrales de las latitudes medias, sobre la Península —situada en la banda de transición entre los cinturones de circulación templada y subtropical— se aprecia en la sucesión de los tipos de tiempo un predominio de la sustitución sobre la evolución. Ahora bien, es evidente que en todos los climas se pueden destacar unos rasgos que, con un elevado índice de probabilidad, se repiten todos los años aproximadamente en unas mismas épocas; en el trabajo que realizamos sobre los climas de Cataluña por procedimiento estadístico llegamos a destacar una serie de fenómenos meteorológicos y dinámicos que, por su frecuencia, pueden ser considerados como «singularidades climáticas» (24); sin embargo, no son lo suficientemente numerosos ni estables en el tiempo y en el espacio como para que puedan considerarse básicos en el análisis de los climas regionales.

Esta forma de analizar los climas —en relación con la dinámica atmosférica regional— se vio reforzada a mediados del cuarto decenio del siglo con la definición formulada por M. Sorre; este autor concibe el clima como «el ambiente atmosférico constituido por la serie de estados de la atmósfera sobre un lugar en su sucesión habitual» (25). Esta definición lleva implícita la necesidad de servirse de los conceptos teóricos anteriormente formulados; supone un avance importante en la sistematización de la disciplina. En primer lugar considera los «estados de la atmósfera», es decir, todas las combinaciones que se producen en la atmósfera, lo que equivale a los tipos de tiempos. No se limita a los tipos

(21) GARCÍA FERNÁNDEZ, J.: *El clima de España*, Valladolid, Cátedra de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, 1963, 73 folios policopiados.

(22) LÓPEZ GÓMEZ, A.: *El supuesto monzón de la península Ibérica*, «Aportación española al XXI Congreso Internacional de Geografía», Madrid, 1970, pp. 71-88.

(23) FLOHN, H.: *Neue Wege in der Klimatologie*, Frankfurt, 1936, pp. 12-21.

(24) ALBENTOSA, L. M.: *Los climas de Cataluña* (resumen de la tesis), Barcelona, 1974, pp. 22-29.

(25) SORRE, M.: *Sur la conception du climat*, Montpellier, 1936, p. 14.

más frecuentes, como hacen los alemanes, ni excluye los excepcionales en cuanto que pueden tener una importancia fundamental sobre el medio y desde luego afectan a los promedios estadísticos. En segundo lugar tiene en cuenta la «sucesión» de los tipos de tiempo, factor esencial para la caracterización de los climas por su influencia en el mundo viviente; en la definición de M. Sorre se une a la idea de síntesis la de ritmo.

Sin embargo, muchos geógrafos y sobre todo los meteorólogos alemanes continuaron dedicándose al estudio y análisis de situaciones macrosinópticas. En el antiguo *Forschungsinstitut für langfristige Witterungsvorhersage*, que funcionó desde noviembre de 1929 hasta abril de 1945, se estudiaron las situaciones del período 1881-1944, estableciéndose un sistema de los tipos que se repiten con frecuencia. En esta tendencia se pueden catalogar los estudios macrosinópticos de F. Baur. Este, en la introducción de su trabajo sobre las situaciones generales meteorológicas de Europa, define el concepto de «situación meteorológica general» por la distribución media de la presión atmosférica, en el suelo, sobre una región extensa (aproximadamente del tamaño de Europa) durante un período de tiempo —varios días— en el cual la distribución de la presión atmosférica y la «acción directriz» (es decir, las líneas que pasan una tras otra cada veinticuatro horas por las regiones de aumento y disminución de la presión) quedan esencialmente invariables. Baur distingue veinticinco tipos, los cuales están ordenados de tal forma que cada tipo guarda relación con el inmediatamente precedente y siguiente; así, el último tipo enlaza con el primero (26). El mismo autor amplía la información sobre las situaciones meteorológicas generales durante el transcurso del año y sus relaciones con la circulación general de la atmósfera, así como sobre situaciones meteorológicas generales en otras regiones, en sus obras *Einführung in die Grossewetterkunde* (1948) y *Probleme und Ergebnisse der Grosswetterforschung* (1949). Estos estudios, junto con el calendario de los tipos de tiempo a gran escala realizado por P. Hess y H. Nagel bajo la dirección de Baur (27), fueron utilizados en el *Catalogue of European large scale weather types*, traducido por el Centro de Análisis y Predicción del Servicio Meteorológico Nacional (28). Sin pretender desmerecer estos estudios, y concretamente los realizados por F. Baur, hemos de considerar que los modelos obtenidos no pueden servir de base en Climatología. En primer lugar, no se puede aplicar un tipo de tiempo a una región tan extensa, y particularmente, cuando se encuentra en una zona donde la circulación es tan cambiante y compartimentada como la templada; además, no se debe olvidar que los tipos de tiempo resultan de la conjugación de los caracteres de la circulación regional y los de la configuración física de la propia región. En segundo lugar, los veinticinco tipos que distingue F. Baur resultan de la aplicación estadística de un período de cincuenta y dos años, y

(26) BAUR, F.: *Situaciones generales meteorológicas de Europa*, Madrid, 1949, pp. 21-55.

(27) BAUR, F., HESS, P., y NAGEL, H.: *Kalender der Grosswetterlagen Europas vom 1. Januar 1881 bis 31. Dezember 1943*, Bad Homburg, 1944.

(28) CENTRO DE ANÁLISIS Y PREDICCIÓN (Servicio Meteorológico Nacional): *Catálogo de tipos de tiempo a gran escala en Europa*, Madrid, 1970.

por tanto no tienen existencia real. Los modelos de Baur, más que tipos de tiempo, hemos de considerarlos como esquemas de circulación; por consiguiente, pueden constituir un medio interesante para el meteorólogo predictor, pero el geógrafo necesita basar sus estudios en situaciones reales.

En esta misma época, otro alemán, W. Zimmerschied, que colaboró con el Servicio Meteorológico Nacional durante la guerra española siguiendo el método que H. Flohn utiliza en su *Witterung und klima Deutschlands*, lleva a cabo un estudio sobre las situaciones típicas de tiempo en la península Ibérica, insistiendo en las diferencias fundamentales respecto a la evolución del tiempo en Alemania (29). Sorprendentemente, el autor llega a destacar la monotonía de la evolución del tiempo sobre la Península en comparación con Europa continental, cuando en realidad sucede lo contrario. En la Península sólo destaca dos tipos principales, uno llamado de «verano» (corresponde a los Isa, Isb, IIs y IIIs de H. Lautensach) y otro de «invierno» (que engloba los restantes tipos de H. Lautensach).

Esta clasificación simplista resulta de una esquematización abusiva, aparte de que refleja un claro desconocimiento de la circulación regional.

Los nuevos métodos de investigación climatológica también tuvieron una importante aceptación en Francia, de tal manera que durante este período que analizamos (hasta la Segunda Guerra Mundial) son numerosas las reseñas bibliográficas. Al igual que en Alemania, los meteorólogos franceses, preocupados por elaborar unos esquemas útiles a los predictores, realizan trabajos acerca de regiones muy extensas. Entre éstos habría que destacar el estudio de A. Viaut sobre los principales tipos de tiempo que afectan a Francia, el Mediterráneo y el noroeste de África (30). El autor distingue tres grandes grupos de tipos de tiempo (seco, perturbado y situaciones particulares) que, a su vez, subdivide en una serie de situaciones diferentes para cada una de las áreas englobadas en la gran región que comprende el trabajo. Aunque el estudio no deja de ser un esquema del ritmo real de las situaciones atmosféricas, resulta de gran interés; documentado con mapas de superficie de 500 mb y algunos esquemas y mapas significativos del tiempo, alcanza una gran claridad. El mismo autor realiza dos años más tarde un estudio sobre los caracteres del tiempo en Europa occidental (31), en el que se aplica un método de análisis semejante al descrito anteriormente. Otros autores analizan a escala continental algunos elementos determinados o situaciones anómalas; entre los primeros habría que destacar el estudio de M. Herrmann sobre las invasiones de siroco en Europa central (32); y, entre los segundos, el estudio de A. Gregor acerca de un invierno excesivamente riguroso —el de

(29) ZIMMERSCHIED, W.: *Acerca de las situaciones típicas de tiempo de la Península Ibérica*, Madrid, 1949, pp. 5-13.

(30) VIAUT, A.: *Les principaux types de temps de France, Méditerranée et nord-ouest de l'Afrique*, Mét., París, 1945.

(31) VIAUT, A.: *Les aspects du temps en Europe occidentale*, Blondel. La Rougery, París, 1947.

(32) HERRMANN, M.: *Invasions de siroco en Europe Centrale*, Mét., París, 1931, páginas 451-458.

1929— sobre Europa central y meridional (33). Se llevan a cabo también análisis sobre algunas regiones de Francia, como los realizados por A. Le Gall acerca del Sudoeste (34), P. Pédélaborde sobre la región de París (35) y P. Gaspar en el área de Dijon (36). Igualmente se estudian algunos fenómenos meteorológicos desarrollados sobre Francia; generalmente se trata de ciclones de un particular dinamismo, como los analizados por V. Mironovitch (37), P. Fontaine (38) y J. Donzel (39). Los meteorólogos franceses se ocupan también de estudiar las regiones de Africa del norte; así, A. Jury y G. Dedeabant analizan los tipos de tiempo que gobiernan el clima de Marruecos (40), y P. Queney lleva a cabo un excelente trabajo sobre Africa del Norte y Sáhara septentrional (41).

En resumen, durante esta primera etapa de la nueva Climatología se formulan las bases fundamentales de los métodos de investigación e incluso se aplican, generalmente de forma esquemática, a regiones muy extensas. En el primer aspecto destacan sobre todo las aportaciones de los noruegos de la escuela de Bergen —Bjerkness, Solberg y Bergeron—, que, junto con el alemán Van Bebber, formulan una serie de principios; estos principios, aunque clásicos, todavía hoy se mantienen en los trabajos de Climatología. En el segundo aspecto, en el de la aplicación, destacan los franceses y, sobre todo, los alemanes; entre estos últimos son especialmente meritorias las aportaciones de la escuela de Lautensach y, en particular, las de Baur y Flohn. Por tanto, se podría decir que los orígenes e inmediato desarrollo de la Climatología sinóptica están casi rigurosamente localizados en Alemania, y sobre todo en Noruega.

SISTEMATIZACION Y DESARROLLO RECIENTE DE LA CLIMATOLOGIA SINTETICA

Teniendo en cuenta que la Climatología sintética se apoya en la circulación general de la atmósfera, resulta obligado analizar previamente el estado de los

(33) GREGOR, A.: *Hiver artique dans le Sud et le Centre de l'Europe en février 1929*, Mét., París, 1931, pp. 77-81.

(34) LE GALL, A.: *Les types de temps du Sud-ouest de la France*, Mét., París, 1934, pp. 307-408.

(35) PÉDELABORDE, P.: *Les types de temps du climat de la Région Parisienne*, Bull. Assoc. Géogr. Franç., París, 1949, pp. 127-137.

(36) CASPAR, P.: *Le climat de Dijon et de ses environs*, Rev. Géogr. Lyon, Lyon, 1949, pp. 201-226.

(37) MIRONOVITCH, V.: *Sur l'origine du cyclone tropical du mois de septembre 1938*, Mét., París, 1940, pp. 42-54.

(38) FONTAINE, P.: *Le cyclone du 26 septembre 1947 dans le Midi de La France*, Mét., París, 1947, pp. 360-371.

(39) DONZEL, J.: *Etude sur le passage d'une cyclone d'une rare violence le vendredi 20 septembre 1946 dans le Nord de la France*, Mét., París, 1947, pp. 3-23

(40) JURY, A., y DEDEBANT, G.: *Les types de temps au Maroc*, Mém. O.N.M., n.º 13, París, 1925.

(41) QUENEY, P.: *Types de temps en Afrique du Nord et en Sahara septentrional*, Trav. Inst. Mét. Phys. Globe, Algérie, fasc. 3, Alger, 1943, pp. 7-41.

conocimientos de este dominio, tanto más cuando durante los años de la Segunda Guerra Mundial y siguientes las teorías experimentaron una evolución que puede calificarse de revolucionaria. Hasta este momento el modelo de la circulación atmosférica se basa en el esquema tricelular de origen térmico.

Pero aunque el modelo es sencillo y cómodo, con el desarrollo de la aerología se plantean una serie de problemas que las teorías existentes son incapaces de resolver. Se descubre que el contraliso como corriente regular resultaba de un análisis estadístico. También se observa que la célula de las latitudes medias sólo desempeña un papel secundario en el esquema general, mientras que los mapas sinópticos diarios revelan que en estas regiones se registran los gradientes térmicos horizontales más fuertes y los vientos de mayor velocidad. Estas observaciones obligaron a realizar un replanteamiento de las teorías vigentes y, concretamente, de la verdadera importancia de las latitudes medias como motor de la circulación general. El mismo C. G. Rossby, en 1947, vio la necesidad de modificar su modelo anterior, que, a su vez, precisa dos años más tarde (42). A diferencia de las teorías anteriores, en el segundo modelo de Rossby los principios motores de la circulación general aparecen en las latitudes medias; la ascendencia ecuatorial («chimenea ecuatorial») no desempeña más que un papel secundario e incluso pasivo.

La tesis de Rossby representa la sustitución de los modelos basados en principios térmicos por los de origen termodinámico, lo que supone un paso decisivo hacia la racionalización de la Climatología.

La circulación de la atmósfera libre, entre 4 y 20 km de altura, tiene un sentido claramente zonal; como observa P. Queney, consiste en un enorme movimiento circumpolar de oeste a este (43). Esta explicación destruye la anterior, basada en la transferencia térmica e higrométrica meridiana. Esto se resolvió con la comprobación de que los intercambios térmicos se realizan por conducción y no por corrientes continuas entre el polo y el ecuador. Además, como había explicado A. Defant en 1921, el origen de estas transferencias es mecánico y no térmico; son las grandes células de circulación —anticiclones y ciclones móviles— los que dan lugar a una turbulencia a gran escala capaz de realizar transportes horizontales y verticales a grandes distancias (44). C. G. Rossby y sus colaboradores llegan más lejos y muestran que el flujo zonal del oeste y las corrientes en chorro son de origen dinámico y están en relación con la circulación turbillonar de las latitudes medias; observaron la estrecha semejanza entre el perfil de la velocidad de las corrientes en chorro en régimen rápido y el que se observa en los torbelli-

(42) ROSSBY, C. G. y cols.: *On the general circulation of the atmosphere in middle latitudes*, Lancaster, 1947, pp. 255-280. ROSSBY, C. G.: *On the nature of the general circulation of the lower atmosphere*, Chicago, 1949, pp. 16-48.

(43) QUENEY, P.: *L'évolution moderne des idées sur la circulation générale de l'atmosphère*, París, 1953, pp. 48-49.

(44) DEFANT, A.: *Die Zirkulation der Atmosphäre in den gemässigten Breiten der Erde*, Berlín, 1921, p. 209.

(45) ROSSBY, C. G.: *On the nature of the general circulation of the lower atmosphere*, p. 45.

nos horizontales de los ciclones templados (45). Finalmente quedaba por explicar porque todas las turbulencias conducen a un movimiento dirigido hacia el este, para lo cual es necesario recurrir a un mecanismo de inercia y aplicar a los torbellinos de eje vertical —depresiones y anticiclones— el principio físico de la «conservación del torbellino» (46).

Ahora bien, en el esquema planteado anteriormente se ha considerado el flujo del oeste como rectilíneo; sin embargo, la experiencia sinóptica muestra que, bajo la influencia de las coladas de aire polar y la presencia de importantes obstáculos orográficos meridianos, el flujo de altura describe grandes sinuosidades que constituyen una verdadera onda planetaria. En estas ondulaciones alternan las «dorsales planetarias» (curvatura anticiclónica) y las «vaguadas planetarias» (curvatura ciclónica). Estas cuestiones fueron explicadas con gran claridad por P. Queney en su estudio sobre la dinámica de las corrientes aéreas cerca de las montañas (47). En este estudio Queney clasifica las deformaciones de origen orográfico en tres grupos: 1.º Perturbaciones de escala aerológica (ondas estacionarias y torbellinos locales). 2.º Perturbaciones de escala sinóptica (vientos regionales como el mistral). 3.º Perturbaciones de escala planetaria (onda anticiclónica sobre las Rocosas o desviación de la corriente en chorro debido a la presencia del Himalaya).

Con posterioridad al esquema presentado por C. G. Rossby aparecieron otros modelos de circulación. En 1950, H. Flohn, partiendo de la base del desplazamiento horizontal en las masas de aire, elabora un nuevo modelo. En este esquema las latitudes medias quedan bajo el dominio de una corriente zonal del O en la que entran en conflicto en una banda frontal planetaria remontada por la corriente en chorro las masas polares y tropicales. En la zona intertropical, a diferencia del esquema anterior, aparece una corriente del E en la que se intercala en superficie una corriente del O poco potente. Finalmente, en las regiones polares, los anticiclones térmicos determinan una circulación superficial del E (48). En 1951 E. Palmén intenta conciliar los modelos clásicos y modernos formulando un nuevo esquema tricelular regido por dos corrientes en chorro. Este modelo, que lleva implícito la transición de un régimen de circulación de índice bajo en las regiones tropicales a un régimen de índice alto en las latitudes elevadas, es el más simple de cuantos esquemas se han formulado. El autor matiza y completa los caracteres de su modelo en su obra *Atmospheric circulation system*, que aparece casi veinte años después del anterior estudio; esta monografía constituye un minucioso análisis de la estructura de la atmósfera, los movimientos que se desarrollan y de la explicación de los mismos; estudia los aspectos fundamentales de los fenómenos frontales, turbillones —inter y extratropicales— y los grandes ca-

(46) PÉDÉLABORDE, P.: *Le tourbillon, principe général à la base de la climatologie dynamique*, París, 1957, pp. 481-498.

(47) QUENEY, P.: *Dynamique des courants aériens près des montagnes*, Génova, 1963, pp. 1-11.

(48) FLOHN, H.: *Neve anschauungen über die allgemeine zirkulation der Ahmosphäre und ihre Klimatische Bedeutung*, Bonn, 1950, pp. 141-152.

racteres de la circulación general con referencia a la troposfera y a la baja estratosfera (49).

Se podrían citar otros muchos esquemas de la circulación general —Namias, Riehl, Mintz, etc.—, mas ello no variaría la conclusión de que no existe un esquema simple que refleje la realidad, lo que se explica por las dificultades que encierra el objeto de estudio.

Sin embargo, los resultados han sido muy positivos en el conocimiento de algunos fenómenos esenciales de la circulación. En este sentido habría que destacar los esfuerzos que se han realizado para el mejor conocimiento de las corrientes en chorro que, desde 1947 en que Rossby y Namias, por separado y con distintas teorías, explicaron las principales características, se han convertido en los verdaderos sistemas nerviosos de la circulación inferior. A partir de este momento en que de ellas sólo se tenía unos conocimientos esquemáticos se fueron formulando hipótesis acerca no sólo de su papel en la circulación, sino también sobre el origen y estructura de las mismas. Concretamente en 1954, H. Riehl y sus discípulos de la escuela de Boston, en una monografía magistral dedicada a su estudio, se refieren a la posibilidad de que las corrientes en chorro se desdoblén e incluso se multipliquen; y citan el ejemplo de que no es extraño que en un mismo día aparezcan una corriente en chorro tropical y varias en cada hemisferio escalonadas por latitud (50). Prueba del interés que el problema despertó es la abundante bibliografía que se ha dedicado a su estudio; sólo seis años después de ser enunciada, la bibliografía que sobre el tema recopilan G. Evans y M. P. Kramer supera los cien títulos (51). Actualmente disponemos de excelentes monografías en las que se sintetiza el estado actual de las investigaciones, entre las que es necesario destacar el estudio de E. R. Reiter (52). Los meteorólogos españoles también han realizado un importante esfuerzo en este campo; a ellos debemos el que existan en castellano algunos estudios de estimable valor, como los de J. M. Jansá (1953 y 1954), A. Due Rojo (1954), P. Rodríguez (1955, 1958 y 1961) y M. Medina (1959 y 1960), en los que se sintetizan los problemas fundamentales (53). Finalmente, como geógrafo, nos satisface destacar los trabajos de A. López Gómez; documentados con una abundante bibliografía, constituyen una excelente información del estado de las investigaciones hasta 1955 (54).

(49) PALMEN, E.: *The aerology of extratropical disturbances*, Boston, 1951, pp. 599-620.

— Id.: *Atmospheric circulation system. Their structure and physical interpretation*. Nueva York-Londres, 1969, 603 pp.

(50) RIEHL, H. y cols.: *The jet-stream*, Boston, 1954. p. 100.

(51) EVANS, G., y KRAMER, M. P.: *Anotated bibliography on the jet stream*, Londres. 1953, pp. 822-845.

(52) REITER, E. R.: *Jet-stream meteorology*, Chicago, 1963, 515 pp. *Jet-streams and turbulence*, Chicago, 1964, pp. 13-33. También son fundamentales por su actualidad las monografías: *The Jet-stream*, Meteorological Monographs, Bull. of the Amer. Meteor. Soc., vol. 2, n.º 2. *Observational characteristics of the Jet-stream*, Technical Note, n.º 19, WMO.

(53) HUERTA, F.: *Bibliografía Meteorológica Española*, Madrid, 1975, pp. 140-142.

(54) LÓPEZ GÓMEZ, A.: *Vientos en la alta atmósfera*, Madrid, 1954, pp. 441-462. *Las corrientes en chorro y las perturbaciones atmosféricas*, Madrid, 1955, pp. 299-366.

Estas hipótesis acerca de la circulación general se complementan con nuevos descubrimientos que contribuyen a un mejor conocimiento del comportamiento de la atmósfera en las distintas zonas climáticas. Concretándonos a las regiones templadas, es importante el análisis que S. Petterssen y S. J. Smebye realizan sobre el desarrollo de los ciclones (55). Los autores estudian el mecanismo de ciclogénesis y las estructuras energéticas resultantes. Distinguen dos mecanismos fundamentales de desarrollo de los ciclones extratropicales. El primero —bien conocido— es el de onda frontal, que debe su origen a la inestabilidad baroclínica; su desarrollo se inicia bajo una corriente superior rectilínea y la intensificación resulta de la advección térmica. El segundo tipo se desarrolla en presencia de un talweg preexistente y la intensificación resulta de una advección de torbellino, procediendo la energía cinética de las corrientes en chorro. Igualmente son fundamentales los estudios realizados por B. J. Hoskins sobre los tipos de frentes (56). El autor clarifica la dinámica de la frontogénesis y presenta los procesos de los frentes en el campo de la velocidad geostrofica que actúa sobre la distribución de las temperaturas.

A pesar del carácter esquemático de la exposición anterior sobre la evolución de las teorías sobre la circulación general, resulta evidente el importante enriquecimiento que las ciencias de la atmósfera experimentan durante la segunda mitad de siglo. Este espectacular desarrollo repercute favorablemente en la aceptación y aplicación del método de investigación seguido por los alemanes desde principios de siglo, en cuanto que permite una racionalización de la Climatología. Así, numerosos climatólogos expresan su interés por las nuevas tendencias. En Estados Unidos, primero W. C. Jacobs y más tarde C. S. Durst rechazan el método analítico. Este último, en su trabajo *Climate. The synthesis of Weather*, propone revisar el concepto de clima y la enseñanza de la Climatología; piensa que «el clima debe explicarse como un fenómeno físico y dinámico», y para llevar a cabo este programa señala que la «Climatología debe utilizar el mismo material de base que el predictor del tiempo, de forma que debe suprimirse toda frontera entre los dos campos de trabajo» (57). En Francia, A. Cholley, J. Gentilli y M. Striffing, entre otros, manifiestan igualmente las ventajas del método sinóptico. Este último, en su trabajo sobre las perspectivas de la Climatología, afirma que «la Climatología sinóptica no es una utopía. Representa un trabajo laborioso que requiere el concurso de numerosos investigadores, pero sus ventajas son tales que su desarrollo en un futuro más o menos lejano no es dudoso (58). Pero sin duda alguna, en Francia, el más ferviente defensor del método sinóptico es P. Pédélaborde, quien, con su magistral estudio de Climatología sinóptica aplicado a toda una región —la cuenca de París—, contribuyó de forma decisiva a la sistematización del método de investigación.

(55) PETERSSEN, S., y SMEBYE, S. J.: *On the development of extratropical cyclones*. Londres, 1971, pp. 457-482.

(56) HOSKINS, B. J.: *Atmospheric frontogenesis models: some solutions*, Londres, 1971, pp. 139-153.

(57) DURST, C. S.: *Climate. The synthesis of weather*, Boston, 1951, pp. 967-975.

(58) STRIFFLING, M.: *Perspectives nouvelles de la Climatologie*, Lyon, 1968, p. 433.

El éxito y difusión del método dinámico queda reflejado más que por las manifestaciones antes apuntadas, por el importante número de estudios en los que se ha aplicado.

Otro problema que se plantea en Climatología sinóptica es el de la diversidad de los métodos empleados, lo que impide normalmente la comparación de los resultados. Es evidente que la problemática de las regiones varía de unas a otras en función de factores a veces muy complejos; sin embargo, sería interesante que los Servicios Meteorológicos estatales fomentaran los análisis sinópticos siguiendo unas clasificaciones que pudieran considerarse universales. Particularmente nos parece excelente el trabajo de H. H. Lamb sobre los tipos de tiempo en las Islas Británicas (59). En este estudio, la configuración de la circulación es definida por siete tipos de tiempo; cada uno de éstos es singularizado por el análisis de los mapas de superficie, teniéndose en cuenta la evolución de los sistemas de circulación diarios y sobre un período de algunos días sucesivos. Estas características permiten una clasificación y definición de los modelos de circulación, una catalogación de tipos de tiempo para cada año, así como una caracterización de las estaciones. Los resultados los presenta el autor en forma de cuadros estadísticos y gráficos, que muestran las variaciones de frecuencias de tipos de tiempo. Así se observan unas subdivisiones naturales: un predominio de los tipos del W entre 1861 y 1874, y entre 1900 y 1954; un predominio de situaciones de bloqueo entre 1875 y 1899, y entre 1955 y 1970.

De lo expuesto anteriormente se deduce que el desarrollo y sistematización de la Climatología sintética ha tenido lugar en un tiempo récord. Por otra parte, durante los últimos veinticinco años se han realizado trabajos de Climatología sinóptica de regiones de los cinco continentes, de regiones de diferentes zonas climáticas y de áreas de montaña. Ahora bien, la mayor parte de estos estudios, como veremos en la segunda parte del trabajo que presentaremos en el número siguiente, se han dedicado a regiones o aspectos de la zona templada, mientras que los dominios cálidos y polares, así como las regiones montañosas, permanecen casi desconocidos. Por consiguiente, si se pretende realizar unas clasificaciones genéticas de los climas, basadas en unos cimientos sólidos, es necesario impulsar las investigaciones de estos vastos espacios, tanto más si se parte de la idea de la atmósfera como realidad física.

(59) LAMB, H. H.: *British Isles weather types and a register of the daily sequence of circulation pattern 1861-1971*, Geophysical Memoirs, Meteorological Office, vol. XVI, n.º 116, Londres, 1972, 85 pp.