

Análisis conceptual de términos meteorológicos correspondientes a situaciones atmosféricas extremas. Comentarios al «Reglamento de Riesgos Extraordinarios sobre las personas y los bienes»^(*)

Por JERONIMO LORENTE CASTELLO
y ANGEL REDAÑO XIPELL

Doctores en Física.

Departamento de Física de la Atmósfera, Astronomía y Astrofísica. Universidad de Barcelona.

Los fenómenos atmosféricos son quizá la principal causa de catástrofes naturales. Tanto en su predicción como en la evaluación de pérdidas por estas causas se utiliza una terminología a veces confusa. Este trabajo pretende analizar en detalle los términos meteorológicos que aparecen con mucha frecuencia al referirse a estas situaciones y que figuran en el vigente Reglamento de Riesgos Extraordinarios.

1. INTRODUCCION

Aunque pudiera parecer que este artículo es más propio de una revista especializada en Meteorología que de la *Revista de Obras Públicas*, no juzgaríamos muy desacertada su inclusión en ésta, pues es casi siempre el Ingeniero el encargado de la interpretación de reglamentos u ordenanzas en materia de Obras Públicas, tanto en labores de proyecto o diseño como en la evaluación de daños en el caso de catástrofes naturales. Cuando en dichos reglamentos aparecen términos ambiguos o confusos la interpretación puede originar problemas y a veces perjuicios económicos por injustas indemnizaciones. De aquí nuestra preocupación y la motivación del presente trabajo. En él se definen y analizan algunos términos y conceptos meteorológicos relacionados con fenómenos atmosféricos extraordinarios que se mencionan en el «Reglamento de Riesgos extraordinarios sobre las personas y los bienes» publicado en el «B.O.E.» del 1 de octubre de 1986.

Aunque no es el momento de resaltar las ventajas del lenguaje científico, con términos y conceptos claros, concisos, unívocos, universa-

les, etc., sí que hay que destacar que en algunas disciplinas estas cualidades casi están ausentes. Por lo que respecta a la Meteorología, la situación sin ser caótica dista bastante de ser aceptable. Entre otras razones, la causa de ello radica en que, al ser el tiempo atmosférico una materia tan cotidiana y que tanto nos afecta, se ha popularizado mucho gracias a los partes y predicciones difundidos por los medios de comunicación, no siempre con el rigor conceptual necesario. Además, siendo la Meteorología una ciencia que pertenece fundamentalmente a la Física ha tenido a veces «especialistas» con escasa formación física, y por tanto con poco dominio del significado de algunos términos meteorológicos, llegando a veces a rebautizar otros términos físicos correctos. También ha ocurrido en ocasiones que fenómenos o procesos con alguna característica común a otros muy propios de ciertas zonas geográficas, se hayan asimilado o confundido con ellos, siendo en realidad muy diferentes en su origen y evolución, pero, como decimos, con alguna característica similar. Como ejemplo, citemos el de la perturbación denominada ciclón tropical, propia de mares cálidos tropicales, que en ocasiones se le asocia a otras perturbaciones con vientos muy fuertes, pero de origen, escala y evolución muy diferentes.

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de marzo de 1989.

2. DEFINICIÓN Y ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LOS TÉRMINOS METEOROLÓGICOS UTILIZADOS EN EL REGLAMENTO

La parte meteorológica del «Reglamento de Riesgos extraordinarios sobre las personas y los bienes» publicado en el «B.O.E.» del 1 de octubre de 1986, trata, en esencia, de dictaminar cuando la intensidad de los fenómenos atmosféricos es tal que puede ser considerada como extraordinaria. Analicemos los términos que allí se emplean, en el mismo orden que aparecen.

2.1. Tempestad ciclónica atípica

Este concepto no precisa de definición por nuestra parte, toda vez que ésta aparece en el mismo Reglamento:

«Tempestad ciclónica atípica. Tiempo atmosférico extremadamente adverso y riguroso producido por:

a) Ciclones violentos de carácter tropical, identificados por la concurrencia y simultaneidad de velocidades de viento superiores a 96 kilómetros por hora, promediados sobre intervalos de diez minutos, lo que representa un recorrido de más de 16.000 metros en este intervalo, y precipitaciones de intensidad superior a 40 litros de agua por metro cuadrado y hora.

b) Borrascas frías intensas con advección de aire ártico identificadas por la concurrencia y simultaneidad de velocidades de viento mayores de 84 kilómetros por hora, igualmente promediados sobre intervalos de diez minutos, lo que representa un recorrido de más de 14.000 metros en este intervalo, con temperaturas potenciales, que referidas a la presión al nivel del mar en el punto costero más próximo, sean inferiores a 6° C bajo cero».

No obstante, hay que indicar que esta definición no aparece en los libros de texto, ni existe en la bibliografía meteorológica general ninguna perturbación con este nombre de «tempestad ciclónica atípica». En la bibliografía anglosajona aparece el término «severe storm» (Wallace et al., 1977), que se corresponde en principio con el «Tiempo atmosférico extrema-

damente adverso» que aparece en la definición, pero que conceptualmente no tiene una definición rigurosa como la que figura en el apartado a) ni en el b).

Si analizamos el nombre dado «tempestad ciclónica atípica» por los vocablos que contiene, resulta que podrían englobarse bajo este nombre varios tipos de perturbaciones atmosféricas muy distintas en cuanto a escala y fenomenología. Así:

TEMPESTAD. Aunque su significado sea inequívocamente de una fuerte perturbación con mal tiempo asociado, admite diferentes acepciones:

1. Sinónimo de tormenta.
2. Oleaje violento en la mar producido por vientos muy fuertes.

CICLON. En su acepción más común significa lo mismo que huracán, es decir, una perturbación con vientos extraordinariamente fuertes, que se asocia en general a los ciclones tropicales, perturbaciones originadas en los mares tropicales, con lluvias muy intensas y vientos muy fuertes que giran alrededor del centro u «ojo» del ciclón donde el cielo está despejado. Su tamaño es típicamente de mesoscala, es decir, del orden de unos cien km de radio, que aumenta a medida que sube la latitud y decrece su violencia, que se amortigua muy deprisa cuando invade una zona no marítima. En este sentido, «tempestad ciclónica» sería similar por sus efectos a ciclón tropical, aunque de un origen muy distinto y de menor violencia. El calificativo «atípica», puede referirse bien a su origen no tropical o bien a su excepcionalidad.

No obstante, otra acepción frecuente de ciclón, sobre todo en Dinámica Atmosférica, es la que significa «depresión» o «borrasca», o sea, una zona de baja presión que lleva asociada vientos que giran en sentido contrario a las agujas del reloj en el hemisferio Norte. Usado como adjetivo, el término «ciclónico» suele corresponder a depresionario o relativo a las depresiones. Por ello, en contraposición con vientos que, en nuestro hemisferio, giran alrededor del centro en sentido horario. El uso de ciclón como sinónimo de depresión es de clara influencia anglosajona, ya que en esta lengua «cyclone» tiene este significado. No obstante,

se acostumbra en este caso a denominarlos «ciclones extratropicales» (Holton, 1979) Wallace (loc. cit.), o sea, no tropicales. Aunque con menos rigor, «tempestad ciclónica atípica» podría significar una tormenta o perturbación con lluvia y vientos fuertes en el seno de una depresión. De todas maneras, como se ha indicado, en el mismo Reglamento se define esta perturbación, aunque sólo sea para la aplicación exclusiva del mismo.

2.2 Ciclones violentos de carácter tropical

Este es uno de los casos contemplados como «tempestad ciclónica atípica». Al decir ciclón violento de carácter tropical parece quiera indicarse que, sin ser propiamente un ciclón tropical, produce efectos similares (de ahí el calificativo de «violentos»). También en este caso se da la definición en el mismo Reglamento, al constar a continuación:

«... identificados por la concurrencia y simultaneidad de ...».

Hay que decir que en la bibliografía no existe tampoco un concepto designado con el nombre «ciclón violento de carácter tropical». Sí en cambio es bastante preciso el concepto de ciclón tropical, también denominado huracán o tifón (Catalá, loc. cit.). Este consiste en una fuerte perturbación atmosférica originada en mares tropicales muy calientes, cuyo diámetro es del orden de pocos cientos de km (relativamente pequeño en comparación al de una depresión que suele ser de más de 1000 km) pero con una presión mucho más baja en su centro, que puede ser inferior a los 900 hPa. Va acompañada de vientos muy fuertes y lluvias torrenciales, aunque en su centro, denominado «ojo» del ciclón y de diámetro unas decenas de km, los vientos son más débiles y el cielo puede estar sin nubes. Cuando en su movimiento alcanzan zonas de latitud superior a 20° ó 30°, el ciclón pierde gran parte de su violencia y se transforma en una depresión normal.

El «ciclón violento de carácter tropical» sin mencionar el tamaño ni asimilar su estructura a la del ciclón tropical, se identifica también en el Reglamento con vientos y lluvias muy intensas en «concurrencia y simultaneidad».

Con respecto al viento, se precisa que la velocidad media en diez minutos sea superior a 96 km/h. Dada la rafagosidad del viento, ello implica que existan rachas que superen ampliamente los 100 km/h. Es decir, estos vientos pueden considerarse ya muy violentos y producen casi siempre daños materiales. El valor puntual elegido de 96 km/h en promedio de 10 minutos, (tiempo normalizado para medias de viento) corresponde al grado 10 de la escala Beaufort que implica vientos entre 89 y 102 km/h. Para este grado 10 Beaufort (tabla 1), los efectos son, textualmente: «En tierra el viento arranca árboles; en la mar, olas muy grandes de 9 metros de altura, con crestas en penacho y poca visibilidad». Hay que indicar que la escala Beaufort llega hasta el grado 12 (correspondiente a vientos superiores a 118 km/h), así que vientos que superen el grado 10 pueden considerarse huracanados.

El concepto de «recorrido» del viento es muy sencillo y puramente matemático. Significa la longitud que recorrerá una partícula arrastrada por el viento durante el tiempo estipulado. Evidentemente, si el viento promedio es de 96 km/h, en 10 minutos recorrerá $L = V \times t = 96 \text{ km/h} \times 1\text{h}/6 = 16 \text{ km}$.

Por lo que respecta a las precipitaciones, el Reglamento cita que sean «de intensidad superior a 40 litros de agua por metro cuadrado y hora». No indica si se refiere a intensidad media o intensidad instantánea. Por su importancia, conviene explicar con detalle el concepto de intensidad de lluvia.

2.3 Intensidad de lluvia

En este caso se trata de un concepto meteorológico muy preciso. La intensidad de lluvia se define como la lluvia caída por unidad de superficie y unidad de tiempo. Por ello, sus unidades de medida serán el litro por metro cuadrado y hora, el litro por metro cuadrado y minuto, etc. El litro por metro cuadrado suele denominarse milímetro (porque esta es la altura que alcanza un litro de agua sobre una superficie de un metro cuadrado), por lo que la intensidad de lluvia se mide en mm/h o mm/min.

Al igual que ocurre con todas las magnitudes físicas bajo el nombre genérico de intensidad,

TABLA I
ESCALA BEAUFORT (Extraído del libro «Meteorología» de J. M. Lorente)

Velocidad en					Efecto en		
Grado	Nudos	m./s.	km/h.	Millas por h (terr.)	Tierra	Mar	Altura de las olas metros
0	1	0-0,2	1	1	El humo sube vertical	Como un espejo	0,0
1	1-3	0,3-1,5	1-3	1-3	El humo se inclina	Rizos sin espuma	0,1
2	4-6	1,6-3,3	6-11	4-7	Mueve hojas de árboles	Olitas; crestas cristalinas	0,2
3	7-10	3,4-5,4	12-10	8-12	Agita hojas de árboles	Olitas; crestas rompientes	0,6
4	11-16	3,5-7,9	20-28	13-18	Mueve las ramitas	Olitas creciendo; cabrilleo	1
5	17-21	8,0-10,7	29-38	19-24	Mueve arbolitos	Olas medianas y alguna salpicadura	2
6	22-27	10,8-13,8	39-49	25-31	Mueve ramas grandes	Olas grandes; frecuentes salpicaduras	3
7	28-33	13,9-17,1	50-61	32-38	Mueve árboles	Mar creciente; el viento arrastra la espuma	4
8	34-40	17,2-20,7	62-74	39-46	Desgaja ramas	Olas alargadas; torbellinos de salpicaduras	5,5
9	41-47	20,8-24,4	75-88	47-54	Destroza chimeneas	Olas grandes; crestas rompen en rollos	7
10	48-55	24,5-28,4	89-102	55-63	Arranca árboles	Olas muy grandes; crestas en penacho; poca visibilidad	9
11	56-63	28,5-32,6	103-117	64-72	Grandes destrozos	Olas altísimas; todo el mar espumoso	11,5
12	>64	>32,7	>118	>73	Huracán imponente	Aire lleno de espuma; visibilidad reducidísima	14

en que se divide por un tiempo transcurrido, hay que distinguir entre la intensidad instantánea (un valor teórico que indica el límite de un incremento dividido por el tiempo transcurrido cuando este tiempo tiende a cero) y la intensidad media, que se refiere al mismo concepto pero en un tiempo finito. Lógicamente, cuanto menor sea el intervalo de tiempo considerado, la intensidad media se aproximará más al valor teórico instantáneo en el momento dado. Es un caso similar a lo que ocurre con la velocidad media o instantánea, la intensidad eléctrica media o instantánea, etc.

En el caso de la precipitación, de lluvia como caso particular, tenemos una magnitud que puede ser muy variable con el tiempo y dado el carácter discontinuo de su caída en forma de gotas, su valor instantáneo teórico carece de sentido. No obstante, cuando se dispone de pluviómetros adecuados la intensidad instantánea de lluvia se adopta en general como la intensidad media en un minuto, independientemente de la unidad que se utilice para expresarla (mm/h, mm/min., etc.). Desgraciadamente, existen muy pocos observatorios meteorológicos dotados de pluviómetros de intensidad de alta

resolución, adecuados para medir intensidades de precipitación, por lo que los valores medios que pueden obtenerse se refieren a tiempos más largos, de 15 ó 30 minutos como mínimo y se determinan a partir del análisis de los registros gráficos de pluviógrafos convencionales de tipo sifón.

La variación de la intensidad de lluvia durante un episodio lluvioso resulta muy diferente según el tipo de precipitación. En el caso de la denominada precipitación estratiforme, (Houghton, 1986) o generalizada, la intensidad varía poco, es baja (inferior a 60 mm/h, valor que se adopta como máximo para incluirla en este tipo) y afecta en general a zonas muy extensas, siendo su duración relativamente larga. Procede de nubes estratiformes (Nimbostratus, Altostratus, etc.) que abarcan varios cientos o miles de km² y no suele producir problemas de drenaje. En el caso de la precipitación denominada «convectiva» (Houghton, loc. cit.) la intensidad es muy variable y puede alcanzar valores muy altos, aunque en general su duración sea corta. Procede de nubes de gran desarrollo vertical de tipo cúmulo (Cumulonimbus). Es este tipo de lluvia el que puede producir inundaciones locales más o menos importantes cuando los valores altos de intensidad persisten durante un tiempo, aunque éste no sea excesivamente largo.

La gran variación en la intensidad de la lluvia

convectiva durante un suceso lluvioso hace que las intensidades instantáneas sean poco representativas de los efectos que pueden causar. Así, intensidades muy altas pero que duren unos pocos minutos no suelen producir problemas. Por ejemplo, una lluvia muy intensa de 150 mm/h durante solamente 5 minutos daría un total de 12,5 mm y no ocasionaría daños, aunque la precipitación total también es muy poco representativa, ya que se han producido daños con precipitaciones totales del orden de los 20 ó 30 mm, pero que han caído en menos de media hora. Por ello, cuando se quiere tener en cuenta la intensidad y duración a la vez, se calculan las intensidades medias en intervalos de tiempo cada vez mayores (5, 10, 15, ... 60 min.). Al hacer la estadística de los máximos de intensidad en una zona se obtienen las curvas IDF (intensidad-duración-frecuencia) muy útiles en los estudios de drenaje.

En la figura 1 se reproducen las curvas IDF para Barcelona calculadas (Vázquez et al., 1987), para períodos de retorno de 1, 2, 5, 10 y 15 años. En ellas se observa, por ejemplo, la intensidad media mayor para 5 min., es de 210 mm/h, o lo que es lo mismo, lo máximo que ha llovido en Barcelona en 5 min., ha sido de 17,5 mm y ello ocurre en promedio cada 15 años. Para media hora la intensidad media máxima es de 110 mm/h, o sea, en media hora llueve como máximo 55 mm cada 15 años. Y

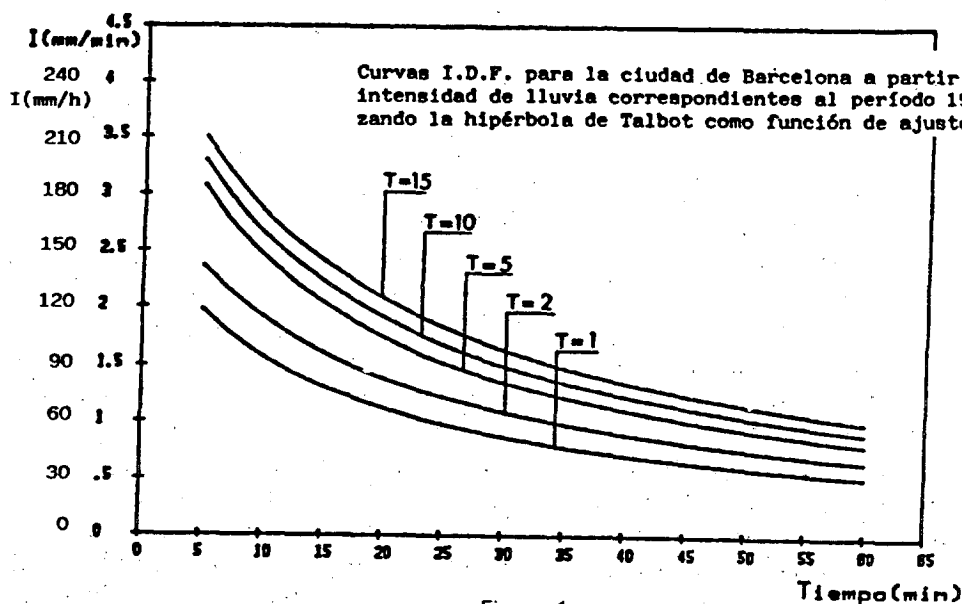


Figura 1.

para una hora, la media máxima en 15 años resulta de 70 mm/h. Para períodos de retorno inferiores, los valores de intensidad son más pequeños. El valor de 40 mm/h resulta ya excepcional, pues ocurre una vez cada dos años, en promedio.

2.4. BORRASCAS FRÍAS INTENSAS CON ADVECCIÓN DE AIRE ÁRTICO

Este segundo supuesto de «tempestad ciclónica atípica» contempla el caso temperaturas muy bajas asociadas con vientos fuertes, es decir lo que en Meteorología se llama advección fría.

2.4.1. Borrasca o depresión

Se llama borrasca o depresión a una zona de la atmósfera en donde la presión sobre una superficie de nivel constante disminuye hacia el centro de la misma. Los mecanismos que originan las depresiones de latitudes medias son complejos y diversos, y deben ser explicados a partir de las leyes físicas que describen el movimiento de un fluido sobre una superficie irregular calentada no uniformemente, como es el caso de la atmósfera terrestre.

Las depresiones de latitudes medias son perturbaciones cuyas dimensiones corresponden a lo que en Meteorología se conoce como mesoescala (Orlanski, 1975), lo que quiere decir que abarcan por lo general extensiones de dimensión comprendidas entre 100 y 2000 km. Por otra parte, el tiempo transcurrido entre su inicio y su final varía típicamente entre 5 y 10 días, y durante este período pasa por distintas fases de desarrollo claramente identificables a partir de las observaciones meteorológicas. Las variables así como la precipitación que se registran al paso de una depresión dependerán obviamente del estado o fase de desarrollo en que se encuentre. Por lo general, los vientos más fuertes, las temperaturas más bajas y las precipitaciones más copiosas ocurren en la fase de madurez de la depresión, siendo, de ordinario, más adversas las condiciones cuanto más intensa o profunda sea la depresión. Los efectos que la misma depresión produce pos-

teriormente en la etapa de oclusión o debilitamiento son cada vez menos importantes.

2.4.2. Borrascas frías

Las borrascas frías, a diferencia de las cálidas o bajas térmicas, se caracterizan porque la temperatura del aire disminuye hacia el eje de la misma, es decir, el aire a cualquier nivel está más frío cuanto más cerca esté del centro de la borrasca. Esto provoca que el viento aumente con la altura y consecuentemente hace que las bajas frías tengan un gran espesor vertical, extendiéndose desde el suelo hasta niveles altos de la troposfera.

El calificativo de intensas se aplica de forma cualitativa a aquellas borrascas en que el ahondamiento de las superficies isobáricas en la zona central de la depresión es inusualmente grande, o dicho de otra forma, a aquellas borrascas en las que la presión disminuye muy rápidamente a acercarse a su centro sobre una superficie de nivel constante. Cuando esto ocurre, el viento, que gira en sentido antihorario en torno a la depresión, es extremadamente fuerte y se producen además ascensos importantes del aire en el borde este de la borrasca, provocando importantes sistemas nubosos que dan lugar a lluvias generalizadas y frecuentemente copiosas.

Para que una borrasca de estas características se desarrolle e intensifique es necesario, entre otras condiciones, que exista una circulación del aire tal que provoque una entrada de aire frío (o advección fría) procedente de latitudes más altas en la parte oeste de la depresión, y una advección cálida en el borde este de la misma. El paso de una borrasca de este tipo por nuestra Península, en general moviéndose hacia el este, provoca pues vientos fuertes con rachas atemporaladas, lluvias generalizadas que pueden ser localmente muy intensas y descensos importantes de la temperatura.

No existen, o por lo menos no están aceptados a nivel general, unos umbrales para las distintas variables meteorológicas que sirvan para establecer una clasificación de las depresiones frías. Tampoco tendría demasiado sentido una clasificación de este tipo ya que las varia-

bles meteorológicas medidas en distintos observatorios al paso de una misma depresión no tienen por qué alcanzar los mismos valores, ya que la borrasca en su movimiento sufre modificaciones continuas en su estructura dinámica y, por otra parte, la naturaleza y relieve del suelo sobre el que se mueve hacen que sus efectos no sean uniformes.

En una borrasca fría intensa se puede alcanzar y superar excepcionalmente velocidades del viento medias en diez minutos superiores a 84 km por hora (grado 9 Beaufort), pero dada la naturaleza turbulenta del viento en superficie, en otras zonas el viento puede ser notablemente distinto.

2.4.3. Advección de aire ártico

Al añadir esta condición a las borrascas frías intensas, que ya de por sí están constituidas por aire frío, parece imponerse además una continuación de un flujo de aire ártico. Conviene aclarar que aire «ártico» indica en general una mayor frialdad del aire que el denominado «polar», casi al revés de lo que podría creerse según el nombre (Strahler, 1986). En el hemisferio norte, se suele llamar aire polar al que procede de latitudes muy altas, y a veces se emplea como sinónimo de aire frío. En cambio, el aire ártico indica que procede del helado Océano Ártico o casi del mismo Polo Norte.

La concurrencia y simultaneidad de vientos fuertes con temperaturas muy bajas es lo que normalmente se entiende por invasión fría u «ola de frío». En este caso parece indicarse que la causa de esta situación sea una «depresión fría» que provocará una circulación meridiana norte-sur del aire. No obstante, los ataques fríos no precisan necesariamente que exista una depresión próxima a la zona en cuestión. Dado que, como se ha indicado, en las depresiones suele haber precipitaciones y en este apartado b) no se mencionan, sino que sólo se hace referencia al viento y las temperaturas bajas, parece que el término «borrasca» hay que tomarlo aquí en sentido muy amplio, como de mal tiempo.

La concurrencia y simultaneidad en este apartado b) es de los vientos con las temperaturas «potenciales». El motivo ahora es muy sim-

ple: Se sabe que normalmente, y sobre todo en situaciones de mal tiempo, la temperatura disminuye con la altura en la parte baja de la atmósfera. Al comparar la temperatura de lugares con distinta altitud saldría más baja la del punto más alto. Por ello, en este caso se trata de reducirlos al mismo nivel. La reducción que se indica en este caso (que sólo es válida en el caso de vientos moderados o fuertes) es la obtención de la temperatura potencial, que tiene una definición muy precisa que figura en cualquier texto de Meteorología (Morán, 1984):

«Temperatura potencial es la temperatura que adquiriría el aire, evolucionado adiabáticamente (sin intercambio de calor con el ambiente) y reversiblemente, hasta una presión P de referencia que se suele tomar 1000 hPa». Sabiendo la presión p y la temperatura T del aire en un lugar dado el cálculo de la temperatura potencial θ se realiza por medio de la fórmula:

$$\theta = T (P/p)^{r/C_p} \quad (1)$$

donde r es la constante específica del aire seco y vale $287,05 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$; C_p su calor específico a presión constante ($1005 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$). En este caso se precisa mucho que la presión de referencia debe ser la existente «al nivel del mar del punto costero más próximo». En general ésta suele ser muy cercana a 1000 hPa, valor tomado como referencia en casi todas partes. En la tabla 2 se facilitan los valores de la temperatura potencial para algunos valores de p y T .

3. CONCLUSIONES

En conclusión, con respecto a los «ciclones violentos de carácter tropical» podríamos decir que:

- En nuestras latitudes no se registra el paso de ciclones tropicales propiamente dichos. Lo más que se ha observado es el paso de sus restos convertidos en una depresión ordinaria.
- Las perturbaciones que producen vientos promedios en 10 minutos superiores a 96 km/h en concurrencia y simultaneidad con precipitación de intensidad superior a 40 mm/h pueden estar originadas por distintos procesos (frentes fríos muy ac-

TABLA II

CÁLCULO DE LA TEMPERATURA POTENCIAL REFERIDA A LA PRESIÓN $P = 1000 \text{ hPa}$

	850	860	870	880	890	900	910	920	930	940	950	960	970	980	990	1000	1010	1020	1030
-30	-18	-19	-20	-21	-22	-23	-23	-24	-25	-26	-26	-27	-28	-29	-29	-30	-31	-31	-32
-25	-13	-14	-15	-16	-17	-17	-18	-19	-20	-21	-21	-22	-23	-24	-24	-25	-26	-26	-27
-20	-8	-9	-10	-11	-11	-12	-13	-14	-15	-15	-16	-17	-18	-19	-19	-20	-21	-21	-22
-15	-3	-4	-5	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-10	-11	-12	-13	-14	-14	-15	-16	-16	-17
-10	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-4	-5	-6	-7	-8	-8	-9	-10	-11	-11	-12
-5	8	7	6	5	4	3	2	1	1	0	-1	-2	-3	-3	-4	-5	-6	-7	-7
0	13	12	11	10	9	8	7	7	6	5	4	3	2	2	1	0	-1	-2	-2
5	18	17	16	15	14	13	13	12	11	10	9	8	7	7	6	5	4	3	3
10	23	22	21	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	12	11	10	9	8	8
15	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	18	17	16	15	14	13	13
20	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	23	22	21	20	19	18	18
25	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	28	27	26	25	24	23	22
30	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	34	33	32	31	30	29	28	27

tivos, ascensos orográficos o advección de masas de aire con fuerte inestabilidad convectiva, gotas de aire frío, tormentas organizadas en el seno de una depresión, etcétera).

— En general estas perturbaciones son de pequeña o mediana extensión, inferiores a unos 100 km de diámetro, con células individuales inferiores a unos 10 km. El «marco» meteorológico en el que pueden desarrollarse es una depresión, pero, al menos en las zonas de influencia mediterránea, la citada depresión es poco profunda y a veces ni existe, siendo los factores locales y estacionales los que actúan sinérgicamente en los procesos mencionados intensificando fuertemente los fenómenos.

— La medida de vientos y precipitaciones en estos casos tendrían que hacerse a partir de redes de observatorios apropiadas, o sea, de micro o mesoscala, adecuadas

a su extensión. La red sinóptica resulta claramente insuficiente para estos casos, que podrían ocurrir sin detectarse en sus estaciones meteorológicas, excesivamente lejanas entre ellas.

Con respecto a las borrascas frías intensas, o más bien de invasiones intensas de aire frío, conviene puntualizar, en resumen, los siguientes extremos:

— Las situaciones que dan temperaturas potenciales referidas al nivel del mar inferiores a -6°C en concurrencia y simultaneidad con vientos superiores a 84 km/h son realmente excepcionales en nuestra Península. Aún con ataques fríos intensos, el efecto protector de las cadenas montañosas de los Pirineos, Cantábrica e incluso los Alpes producen un calentamiento del aire de componente norte que las atraviesa (efecto Fohn) al quedar la Península a sotavento de ellas.

- La condición de simultaneidad con viento fuerte hace que queden descartadas las heladas por radiación, o sea, en aire encalmado que se enfría por la noche y que tiene gran oscilación térmica. Por ello, al tratarse de situaciones con escasa variación diurna de temperatura, casi no es necesario precisar el momento del valor mínimo.
- El uso de las temperaturas potenciales para reducir a un mismo nivel resulta lógico en caso de vientos muy fuertes en la baja troposfera. En primera aproximación, ello implica que la temperatura disminuye 1°C cada 100 metros. Así, sabiendo la altitud del lugar puede conocerse en primera aproximación la temperatura potencial sin necesidad de aplicar la fórmula. Por ejemplo, para que se cumpla el supuesto b) de que la temperatura potencial al nivel del mar sea inferior a -6°C , un lugar situado a una altitud de sólo 500 m debería tener una temperatura inferior a -11°C ; un lugar a 1 km de altitud, inferior a -16°C y un lugar de montaña de 2 km de altitud, menos de -26°C . Sin heladas de enfriamiento radiactivo estas condiciones son realmente excepcionales.

Por último, sobre las reglas normas o usos que definen el inicio-duración-término de un fenómeno meteorológico, hay que indicar que estas dependen del tipo de fenómeno. Evidentemente, si el fenómeno se caracteriza porque alguna variable meteorológica (temperatura, viento, intensidad de precipitación, etc.) supere o sea inferior a un valor dado, el fenómeno dura mientras los valores de las citadas variables sean superiores o inferiores a ese valor. El fenómeno habrá ocurrido simplemente por haberse cumplido esa condición. Así por ejemplo, si se dice que para que el viento sea de características de ciclón violento su velocidad media en 10 minutos ha de superar 96 km/h, basta que haya habido 10 minutos seguidos con un promedio superior para que se diga con propiedad que dicho fenómeno ha ocurrido. La duración la marca en general el tiempo que dure la perturbación que produzca esos valores de las variables. En el caso de viento fuerte en

conurrencia y simultaneidad con precipitación de alta intensidad, se podría decir que es la masa nubosa o la persistencia de valores del orden de los que han superado el valor tomado como umbral lo que determina que se trate del mismo fenómeno. Por ejemplo, en una tormenta se pueden producir varios rayos, pero no se dice que se hayan registrado varias tormentas por ello. Una borrasca se identifica por ser una zona de baja presión con sus masas de aire, frentes, etc., asociados, y se sabe que tiene una vida de varios días. Aunque los fenómenos que produzca puedan tener alternativas en sus valores, se identificará por la misma borrasca en base a sus elementos citados.

4. COROLARIO SOBRE NORMATIVA Y CRITERIOS EN LOS CENTROS METEOROLÓGICOS

La Meteorología es una Ciencia que precisa de la cooperación internacional entre los organismos e instituciones que a ella se dedican. Así, cuando se pretende, por ejemplo, predecir el estado futuro de la atmósfera es preciso disponer de un conjunto de datos meteorológicos que sobrepasan el ámbito nacional. Por ello, los centros meteorológicos deben actuar siguiendo criterios uniformes cuando se trata de medir las distintas variables meteorológicas. Estos criterios son dictados por la Organización Meteorológica Mundial y son de estricto cumplimiento para todos aquellos observatorios incorporados a la red de observación meteorológica mundial. Las recomendaciones tienen en cuenta tanto las horas de observación y las variables a medir como el tipo de instrumentos a utilizar y su ubicación. Así, por ejemplo, para la medida de la intensidad de la lluvia se vienen utilizando en España pluviógrafos tipo sifón que permiten estimar de forma aproximada la intensidad a partir de la pendiente de la curva de precipitación acumulada registrada por el instrumento. El viento, en las estaciones completas de observación, se determina a partir de anemógrafos que inscriben en bandas de papel tanto la dirección como la velocidad del viento. Para la determinación de la temperatura, se dispone en estas estaciones de termógrafos que registran de forma continua la temperatura.

En las estaciones que no disponen de instrumentos capaces de registrar las variables de forma continua, deben realizarse medidas directas a horas internacionalmente establecidas (cada seis horas).

BIBLIOGRAFIA

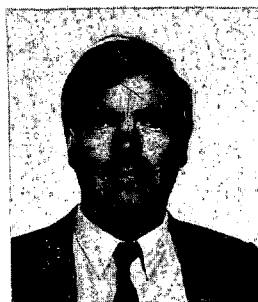
1. Ascaso, A., Casals, M., 1986: Vocabulario de Términos Meteorológicos y Ciencias Afines. Instituto Nacional de Meteorología. Madrid.
2. Holton, J.R., 1979: An Introduction to Dynamic Meteorology. Academic Press. New York.
3. Houghton, H.G., 1985: Physical Meteorology. M.I.T. Press London.
4. Lorente, J.M., 1961: Meteorología. Ed. Labor. Barcelona.
5. Morán, F. 1984: Apuntes de Termodinámica de la Atmósfera (reedición) Instituto Nacional de Meteorología. Madrid.
6. Orlanski, I., 1975: A Rational Subdivision of Scales for Atmospheric Processes. Bull. Am. Met. Soc. 56, 527-534.
7. Strahler, A.N. 1986: Geografía Física. Ed. Omega, Barcelona.
8. Wallace, J.M., Hobbs, P.V., 1977: Atmospheric Science. Academic Press. London.

Angel Redaño Xipell.



El Dr. Angel Redaño es profesor de Dinámica Atmosférica en el Departamento de Física de la Atmósfera, Astronomía y Astrofísica de la Universidad de Barcelona. Su labor investigadora se inició con el estudio de la turbiedad atmosférica en relación con el viento. Actualmente está dedicado a la investigación de la intensidad de precipitación y de su distribución a meso y microescala. Es el responsable técnico del funcionamiento de la red pluviométrica urbana de Barcelona. Entre los años 1981 y 1986 ha participado como investigador en dos proyectos relacionados con la intensidad de la lluvia financiados por la Comisión de Investigación Científica y Técnica.

Jerónimo Lorente Castello.



El Dr. Jerónimo Lorente es Profesor Titular y Director de la Sección de Física Atmosférica del Departamento de Física de la Atmósfera, Astronomía y Astrofísica de la Universidad de Barcelona. Sus principales líneas de investigación pertenecen al campo de la pluviometría y física de nubes así como al Medio Ambiente, principalmente al impacto urbano en el clima. Ha sido el iniciador en España del método heliofotométrico de determinación de la turbiedad atmosférica. Es investigador principal del proyecto de investigación de interacción de aerosoles financiado por la Comisión de Investigación Científica y Técnica. Miembro del equipo de proyecto de la Red Radiométrica de Cataluña. Cooperó con el Ente Metropolitano y el Ayuntamiento de Barcelona en el diseño e instalación de la red pluviométrica urbana, el estudio de la estructura fina de la precipitación y, en colaboración con varias empresas, en la investigación de la estructura de la capa límite urbana, mediante la técnica de radiosondeo por globo cautivo.