

# Métodos para el pronóstico de lluvias torrenciales (\*)

POR  
**MARIANO MEDINA**  
*Meteorólogo*

En la época de la Francia del 2.º Imperio, mediado el siglo XIX, en 1855, se celebró una sesión de la Academia de Ciencias de París, en cuyo orden del día figuraba la cuestión de si admitir, o no, a la Meteorología de entonces en la categoría de Ciencia.

La patrocinaban algunos estudiosos que parecían estimar que en cuestiones meteorológicas se conocía ya, de hecho, todo lo que básicamente podía conocerse; y que incluso se estaba en condiciones de prever las tempestades. Se basaban para esto último en unos estudios que, por orden del emperador Napoleón III, se habían realizado con motivo del desastre de la Armada francesa frente a Balaklava, durante la guerra de Crimea, por causa de una fuerte borrasca. El trabajo lo había realizado el astrónomo imperial Le Verrier, mediante el trazado de una especie de sucesivos mapas del tiempo sobre el continente europeo, reuniendo datos de observatorios en días anteriores al suceso. Consiguió así localizar una borrasca en el mar del Norte y seguir su traslación a través de Europa hasta el mar Negro, de lo que deducía con cierto optimismo la posibilidad de su predicción. Este Le Verrier puede, por este trabajo y otros posteriores, ser considerado como un precursor en Meteorología Sinóp-

---

(\*) Este es el texto que corresponde a la conferencia dada en Murcia por el autor, con motivo del Día Meteorológico Mundial de 1983. (Nota del Departamento de Geografía Física de la Universidad de Murcia, bajo cuyos auspicios se realiza la presente publicación).



tica, aunque no figuraba entre los patrocinadores de la pretensión ya referida ante la Academia citada.

A tal pretensión, un poco prematura entonces, se opuso el gran físico Biot, quien en su disertación comentó que no había realmente en aquella Meteorología planteamientos teóricos suficientes para establecer aceptablemente relaciones de causa a efecto, y terminó afirmando: «Estimo que el complejo conjunto de conocimientos físicos llamados Meteorología no está todavía constituido al estado de Ciencia». Se adhirió a la oposición el no menos conocido físico Regnault, al decir en su discurso: «Ni siquiera han sido expuestos, ni formulados, los principios básicos a seguir en las observaciones meteorológicas; no se sabe bien lo que hay que observar, cómo hay que observarlo, ni dónde debe observarse».

De entonces a hoy ha pasado más de un siglo, y las afirmaciones de Biot no podrían ni siquiera insinuarse; tampoco, propiamente, las de Regnault; pero hay, sin embargo, problemas de predicción, por supuesto que los más difíciles, sobre los que se podrían aducir críticas en cierto modo similares a las de Regnault; pues para la predicción de meteoros violentos, como las lluvias torrenciales que en ocasiones asolan estas tierras, siguen sin tenerse normas concretas y decisivas sobre qué parámetros meteorológicos se deben principalmente observar, cómo hay que observarlos ni dónde deben observarse.

Esta es una desagradable realidad, aunque a veces haya quien se autoatribuye especiales cualidades manifestadas a posteriori, lo que no es una verdad objetiva, sino más bien un enorme optimismo subjetivo; o, en el mejor de los casos, una comprobación de la conocida fábula sobre la flauta que sonó.

De todas formas, cada vez que ocurre una de estas terribles catástrofes, se hacen estudios valiosos sobre cómo evolucionó la situación atmosférica; en los últimos quince años dichos estudios han ido siendo más numerosos, con mejores criterios y, por ello, más útiles, pues se cuenta con una experiencia mayor y con más medios, y se van sacando conclusiones que, debidamente clasificadas, van arrojando luz sobre el problema. Lo malo suele ser que acabados dichos estudios retrospectivos, hechos con cierta urgencia, no es frecuente que se insista en ellos hasta la próxima vez que la catástrofe se presente. Y no debería ser así, no debían pararse esas investigaciones, aunque el avance obtenido sea lento; estimo que lo importante es no pararse, pues creo con Ortega que la vida es una faena que ha de hacerse hacia delante; hay que poner a funcionar la imaginación, tratando de concebir nuevos métodos para hacer más efectivos este tipo de pronósticos, ya que resulta claro que con los hasta ahora

usados se avanza demasiado despacio, si bien es indudable que se avanza. Naturalmente, esa posibilidad de concepción es difícil que se haga en vacío, quiero decir encerrándose «a pensar» en una habitación a oscuras; debe, más bien, surgir como una consecuencia de la investigación de hechos reales. El problema, qué duda cabe que nos preocupa a todos; yo estoy con él desde hace bastantes años, aunque no de forma continua, pues sólo puedo dedicarle horas fuera de mi jornada «legal» de trabajo, es decir, trabajando en plan de «hobby»; así he ido haciendo intentos sucesivos, que han sido expuestos en diversas Jornadas Meteorológicas anuales organizadas por la Asociación Meteorológica Española. En las de octubre de 1980, en Menorca, resumía consecuencias de diversos trabajos y aventuraba unos primeros criterios provisionales, o síntomas de alarma, para el pronóstico de meteoros violentos en el Mediterráneo occidental. En abril de 1981, en esta ciudad de Murcia, insistí algo sobre el tema al tratar el más genérico de «Predicción del tiempo en el Sureste español», con ocasión de unas Jornadas sobre Climatología y Meteorología aplicadas organizadas por el Centro Regional de Desarrollo; en esa ocasión ofrecí un enfoque principalmente teórico con connotaciones prácticas.

Los criterios de predicción así obtenidos adolecen de un defecto importante: hay que tener en cuenta muchos, demasiados, detalles, que dependen de multitud de datos y de no pocas consideraciones teóricas, lo que obliga al predictor a estar demasiado pendiente de la evolución atmosférica, demasiado en tensión, temiendo siempre que en cualquier descuido (por cualquier lapso en la información, por anomalía de las comunicaciones o por fallo en las observaciones en lugares distantes) puedan sincronizarse diversas causas creadoras de violencia meteorológica y provocar la catástrofe sin que nos podamos percatar de ello con suficiente anticipación.

Por eso, en junio de 1981, en la Universidad de Santiago de Compostela, donde me tocó en suerte dar la conferencia de cierre de las Jornadas Meteorológicas anuales, insistí en la idea de seguir buscando algo más sencillo, algo que sea posible incluir en la rutina de trabajo de un centro de predicción y que, sin especiales complicaciones ni subjetividades, denuncie el riesgo de que los meteoros puedan llegar a ser violentos. Si tal riesgo se pone de manifiesto para el Mediterráneo occidental a principios de otoño o en primavera, la alarma obligaría a una especial atención por parte de los predictores, pues es precisamente en esas épocas cuando los fenómenos catastróficos se presentan, aunque afortunadamente suelen transcurrir bastantes años entre cada dos ocasiones.

Lo que expuse en dicha Universidad fue un estudio puramente teórico

sobre el problema que nos preocupa, enfocado desde el especial punto de vista de lo que en físico-matemática se llama la «advección diferencial». Después he ido retocando algo lo que allí expuse, pero por circunstancias ajenas a mis deseos y a mis intenciones, no he podido todavía someterlos a una imprescindible comprobación experimental; y ya se sabe que una teoría, por lógica o por atrayente que (especialmente a su autor) pueda parecer, de nada sirve si no es probada y comprobada con la realidad de los hechos, obteniendo resultados que sean, al menos parcialmente, satisfactorios, de modo que nos permitan obtener algo parecido a lo que pedía Regnault a la Meteorología de 1855, es decir, establecer qué parámetros meteorológicos es necesario, específicamente, observar cómo y dónde hay que observarlos, para poder predecir la intensificación de los meteoros.

Veamos lo más destacable de lo que hasta ahora hemos ido deduciendo sobre los sucesos que preceden a un desenlace catastrófico. Puede ser sintetizado en diez puntos:

- 1.º En el nivel de 500 milibares (unos 5.500 metros de altitud) aparece un hundimiento en forma de vaguada fría sobre la vertical de la Península Ibérica, o ligeramente al oeste de la misma. El eje de esa vaguada se observa en la proximidad de la costa occidental de Galicia y de Portugal, o bien sobre el interior mismo de la Península. *Esta vaguada no es de las que vienen avanzando desde el Atlántico, sino que se genera en nuestra área mediante el proceso conocido como de retrogresión, con ruptura de la corriente zonal de vientos, que soplaban del Oeste, para pasar a soplar del Norte en el oeste de la Península y del Sur, o del SW, en las regiones mediterráneas. Esto hace que un embolsamiento de aire frío penetre hacia el Sur y llegue bien al interior de la Península o bien hasta el golfo de Cádiz, según los casos.*
- 2.º En el mapa del tiempo del nivel del mar se perfila y después se independiza un mínimo barométrico sobre el golfo de Cádiz o en el noroeste de Marruecos, el cual se convierte en borrasca fría.

Tal penetración de aire frío hacia el Sur provoca como reacción una penetración de aire caliente desde el norte de África hacia el Mediterráneo próximo a España.

- 3.º Simultáneamente se independiza en el nivel de 500 mb una «gota de aire frío», o pequeña borrasca cerrada, sobre la vertical de Galicia o del Cantábrico, la cual se traslada rápidamente hacia el Sur y, en no más de doce horas, se sitúa en el fondo de saco

de la vaguada antes citada. Si ésta está en el golfo de Cádiz, aparece sobre el sureste de la Península y mares de Palos y Alborán una muy clara difluencia de las líneas isohipsas en el mapa que representa el nivel de los 500 mb; mientras que si dicho fondo de saco está sobre la vertical del interior de la Península, dicha difluencia en el borde oriental es apenas perceptible y, desde luego, no es ni mucho menos llamativa.

- 4.º La citada penetración de aire cálido desde el Africa hacia el Mediterráneo occidental, se pone de manifiesto de un modo muy llamativo en el mapa del nivel de 850 mb (unos 1.500 metros de altitud media), donde se observa una notabilísima aglomeración de líneas isotermas entre la cordillera africana del Atlas, la Península Ibérica y el archipiélago balear. Dichas líneas isotermas se van agudizando en cuña hasta dar la impresión de una penetración «en punta» del aire cálido, al mismo tiempo que nace un 2.º mínimo barométrico en tierra, por lo común entre la cordillera del Atlas, Orán y Argel. Este 2.º mínimo se desarrolla como borrasca cálida, al mismo tiempo que la del noroeste de Marruecos se debilita; si se observa con cuidado, hay alguno de los mapas del tiempo que muestra la presencia simultánea de esos dos mínimos, el primero con carácter frío y el segundo de tipo cálido, separados por una distancia de unos mil kilómetros. El de tipo cálido provoca, inmediatamente, vientos de levante en las capas bajas de la atmósfera sobre el Mediterráneo occidental, mientras que por arriba los vientos son del sector Sur.
- 5.º Las lluvias intensas y/o vientos muy fuertes surgen entonces, en alguna de las regiones costeras mediterráneas españolas, en el área de máxima aglomeración de las líneas isotermas del nivel de 850 mb, ya citadas, siendo especialmente intensas las lluvias en las vertientes de cordilleras próximas a las costas y que miren hacia el cuadrante suroriental.
- 6.º En todos los casos, la llamativa penetración cálida por las capas bajas se produce sobre un mar que, siempre que ocurren los fenómenos violentos, está bastante templado.
- 7.º Hay una coincidencia entre los siguientes hechos:  
Suavización del empuje cálido del Sur, con redondeo y ensanchamiento de la punta de vanguardia de las líneas isotermas; aumento de la distancia entre la borrasca cálida y los restos de la borrasca fría (la 1.ª se mueve hacia Cerdeña y la 2.ª hacia Canarias); y rápida disminución de la intensidad de las lluvias y del viento.

- 8.º La duración de los meteoros violentos es de uno a dos días; su intensidad no es constante, sino que presenta pulsaciones.
- 9.º Si con la vaguada de altura en el interior de la Península aparece al nivel del mar una depresión cerrada sobre las Baleares, las propias características orográficas de la isla de Mallorca pueden ayudar a la creación de dos pequeños mínimos barométricos, observables en análisis a mesoscala, muy próximos entre sí y englobados en una sola borrasca; la distancia entre ellos es del orden de unos 160 km; sobre la vertical del Mediterráneo la circulación es muy desdibujada a 500 mb, recordando la de las zonas subtropicales; dichos dos núcleos presentan fuertes ascensiones del aire y en el espacio que los separa surgen temperaturas altas que denuncian la presencia de fuertes descendencias, de manera que aparece un máximo de temperatura en el corazón de la borrasca. Los fenómenos que provocan estas perturbaciones recuerdan no poco a los de un ciclón tropical, aunque a notable menor escala y, como en éstos, se presenta un «ojo cálido».
- 10.º Llama la atención lo observado en un caso de meteoros violentos estudiado por quien les habla y muy alejado del Mediterráneo. Fue en el Gran Sol, al sur de las Islas Británicas, el 14 de agosto de 1979, durante la celebración de las pruebas deportivas denominadas FASTNET, correspondientes a la clásica regata «Admiral's Cup». Dicho día, un repentino y furioso temporal se abatió sobre las embarcaciones en plena regata, con el siguiente terrible balance:
- 216 barcos dispersados y retirados de la competición, de los 302 que partieron de la línea de salida;
  - 18 barcos abandonados por sus tripulaciones, volcando algunos;
  - 5 barcos definitivamente perdidos;
  - 15 tripulantes perdidos, dados por muertos.
- Pues bien, en el estudio posterior aparecía una llamativa penetración cálida en el interior de una borrasca, penetrando desde el Sur, a través del Gran Sol, hasta Irlanda y puesta de manifiesto en el mapa de 850 mb por una notable aglomeración de líneas isotermas, en forma de cuña caliente metiéndose hacia el Norte. Se observó, asimismo, una interacción entre dos borrascas, situadas una al SW y al S de Irlanda y la otra hacia Escocia, y quedando la zona del desastre en el borde oriental de una vaguada fría de las capas altas, observable muy bien en

el nivel de 500 mb. La superficie del mar estaba relativamente templada (14 agosto).

Como se ve, no son pocas las cosas que vamos sabiendo sobre los acontecimientos que preceden y acompañan a la aparición de meteoros violentos. En realidad, si se analizan bien, son todas consecuencias unas de otras, teniendo esta interrelación una satisfactoria explicación teórica en la que no vamos a entrar. De todo lo anteriormente establecido conviene destacar los siguientes extremos:

- a) Que no siempre que se dan las condiciones previas citadas, especialmente las de vaguada fría en altura y borrasca abajo, ocurren meteoros violentos; es más, en la mayor parte de los casos no se dan, incluso en las épocas estadísticamente apropiadas. Esto introduce en el ánimo del predictor una sensación de incertidumbre que provoca una actitud de defensiva, por temor a dar falsas alarmas.
- b) No cabe duda que lo que siempre ocurre y debe, por ello, ser considerado como condición decisiva, previa a la aparición de meteoros violentos, es la aparición de una masa de aire llamativamente cálida en las capas bajas, con fuerte aglomeración de líneas isotermas en el mapa que representa el nivel de 850 mb. Insistimos en que este fenómeno, como el de que el aire se deslice sobre un mar templado, *se producen siempre*, aunque una vez que se pone claramente de manifiesto surgen las lluvias torrenciales con tal prontitud que suele ser tarde para dar la alarma. Ese aire cálido es, además, muy húmedo en sus capas inferiores, por fuerte absorción de vapor de agua en su recorrido sobre el mar templado.
- c) En consecuencia, el fenómeno parece surgir por aparición, «in situ» en algún caso, o por llegada o *advección* en los más, de aire con muy poca densidad en las capas bajas, ya que el aire cálido es menos denso que el frío, y el húmedo menos denso que el seco, siendo el cálido y húmedo el de menor densidad. Es decir, tiene que llegar, sin cesar de afluir durante bastantes horas, aire de *densidad decreciente*, debiendo ser esa advección más intensa cuanto más bajo.
- d) Inferimos que es posible que en esta última conclusión pueda basarse un método para tratar de establecer un procedimiento de pronóstico de intensificación de los meteoros; y esto es lo que dio lugar al planteamiento teórico que expusimos, en junio de 1981, en las Jornadas Meteorológicas de Galicia, estableciendo que *debe*



*haber una advección de aire de densidad decreciente, cuya advección sea mayor cuanto más abajo; es decir, que dicha advección aumente en el mismo sentido en el que lo hace la presión atmosférica en el seno del aire.*

\* \* \*

La última condición citada puede expresarse, matemáticamente, así:

$$\frac{\partial(V \nabla \mu \rho)}{\partial \mu} > 0$$

donde representamos por  $V$  el vector viento; con la notación  $\nabla \mu \rho$  un vector que nos dice la forma en que varía la densidad del aire ( $\rho$ ) a lo largo de una superficie de presión constante, es decir, lo que se llama el «gradiente isobárico de densidades»;  $V \nabla \mu \rho$  es el producto «escalar» de esos dos vectores que, como es sabido, se obtiene multiplicando los números que miden sus respectivas intensidades por el coseno del ángulo que dichos dos vectores forman entre sí; dicho producto representa, precisamente, la «advección» de valores decrecientes de la densidad del aire; la notación  $\frac{\partial}{\partial \mu}$  significa la variación de la magnitud a la que se aplica (en nuestro caso la variación de la advección de aire con densidad decreciente) a lo largo de una dirección perpendicular a las superficies isobáricas, dirección que no es la vertical, pero que se aproxima mucho a ella.

Sin que entremos en el desarrollo de dicha expresión, ni en la discusión física de los resultados, lo que de ello se deduce es que la intensidad de los meteoros será tanto mayor:

- 1.º Cuanto más cálido y más húmedo sea el aire que llega por los niveles bajos.
- 2.º Cuanto más fuerte sea el viento medio de la capa o estrato de aire considerado.
- 3.º Cuanto más perpendicular sea el viento a las isóneas que representen, en un mapa adecuado, la variación de arriba a abajo de la densidad del aire.

Tanto las expresiones matemáticas así obtenidas como sus consecuencias físicas se refieren a estratos atmosféricos de espesor infinitesimal. Extendiéndolas a espesores finitos, por el procedimiento matemático de la integración definida, entre dos niveles de presión se obtienen las siguientes conclusiones de carácter práctico:

- a) Debe disponerse de los mapas meteorológicos representativos de una serie de niveles de presión, tales que puedan ser considera-



dos por parejas que muestren la misma diferencia de presión. Con objeto de que basten los datos que actualmente se reciben en cualquier centro de análisis y predicción del tiempo, de modo que el método no requiera gasto alguno adicional, dicha serie de mapas pueden ser los correspondientes a las superficies isobáricas de, milibares, 300, 400, 500, 700, 850 y 1.000 (este último casi coincide con el suelo y puede incluso ser deducido del mapa de líneas isobaras). Tenemos así seis cortes de la atmósfera a seis niveles distintos.

- b) De dichos mapas hay que obtener, por diferencias gráficas, los que representan el espesor que separa a cada una de las siguientes parejas de niveles:

300/400 mb y 500/700 mb (diferencia de 200 mb de presión)

400/700 mb y 700/1.000 mb (diferencia de 300 mb de presión)

700/850 mb y 850/1.000 mb (diferencia de 150 mb de presión)

Insistimos en que dichas parejas de niveles correspondan, en cada caso, a diferencias iguales de presión, para que así dichos espesores representen a la densidad del aire, lo que sólo sucede si es constante el intervalo de presión entre la base y la cima de cada estrato.

- c) En cada uno de esos casos, se tomará como viento impulsor, o viento que «advectiona», el que corresponde al nivel medio, es decir, a la base del estrato de arriba, que es la cima del de debajo. O sea, en el 1.º de los casos citados se tomará como viento el del nivel de 500 mb, en el 2.º el de 700 mb y en el 3.º el del nivel de 850 mb.

Según las condiciones atmosféricas reinantes, interesarán más unas u otras de las parejas de niveles indicados. En el caso de meteoros violentos en el Mediterráneo occidental, parece a primera vista lo más lógico fijarnos en las capas bajas de la troposfera, por lo que en principio, y salvo que la experimentación aconseje otra cosa, interesará trabajar con los estratos 700/850 mb y 850/1.000 mb, tomando como viento para la advección el de 850 mb.

El procedimiento práctico operativo deberá ser:

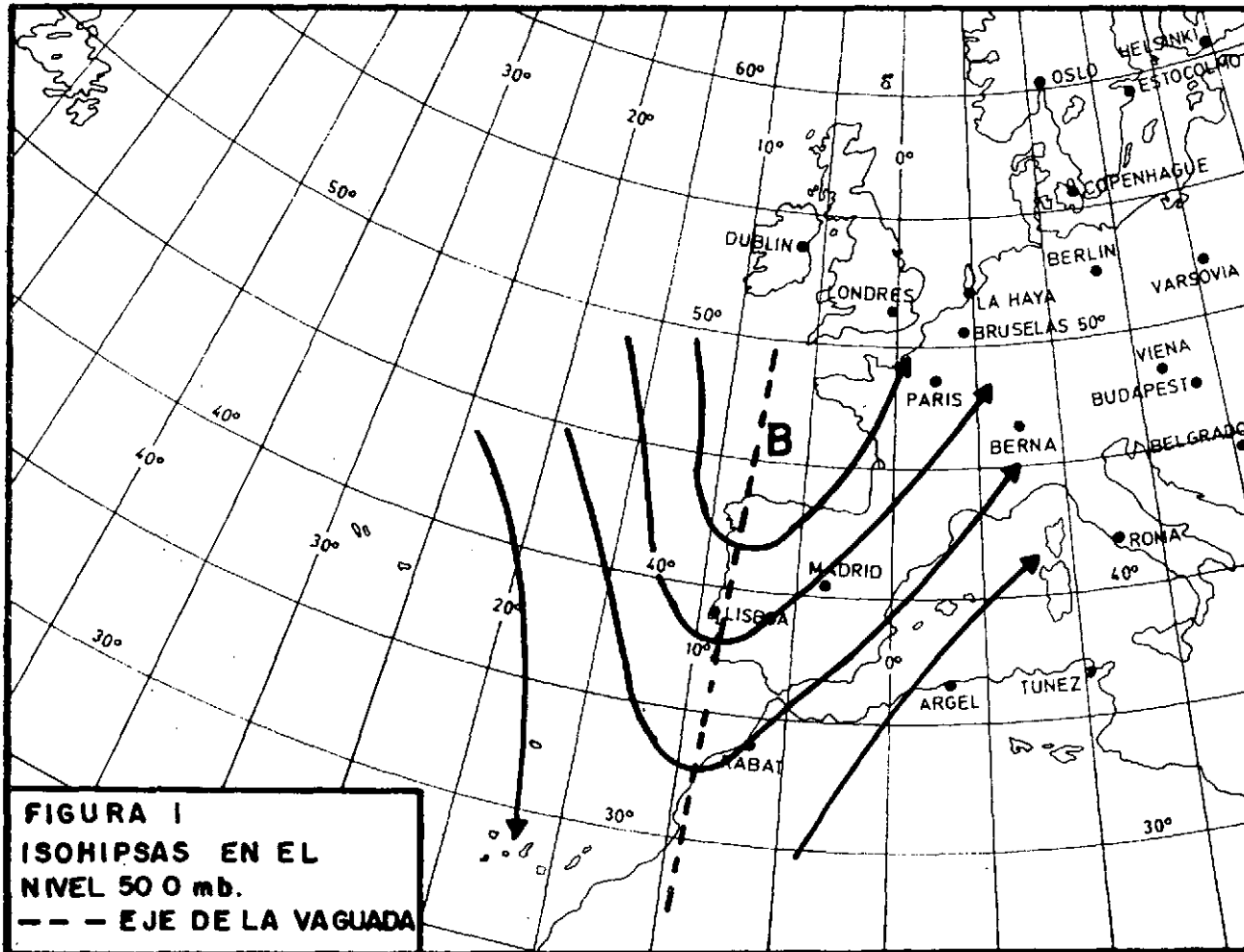
- 1.º Trazar los mapas de espesor 700/850 mb y 850/1.000 mb, e invertir el sentido de la circulación del viento «térmico» resultante, con lo que los mapas de espesor quedarán convertidos en mapas de densidades medias del aire en cada uno de los dos estratos considerados.

- 2.º Hallar la diferencia gráfica entre los dos mapas de espesor así obtenidos, tomando como minuendo el de 700/850 mb. Obtendremos así un mapa meteorológico (no usado hasta ahora, que sepamos, por nadie) que será representativo de la variación de la densidad media del aire de arriba a abajo; y
- 3.º Buscar a ver si hay áreas donde el viento del nivel de 850 mb resulte muy atravesado a las isolíneas del nuevo mapa obtenido, de manera que *apunte hacia los valores crecientes* de las mismas, pues en estas áreas se crearán las condiciones *necesarias* para la intensificación de los meteoros. La experimentación dirá cuándo esas condiciones son, además, *suficientes*. En principio, lo serán tanto más cuanto mayor sea la aglomeración (o menor sea la separación) de isolíneas y más fuerte sea la componente del viento perpendicular a ellas. Y en nuestro caso particular será necesario que la citada componente del viento apunte desde el mar hacia la costa, siendo más rápido el disparo, de la inestabilidad creada, en las vertientes de cordilleras próximas al litoral, contra las que el viento choque y sea obligado a ascender.

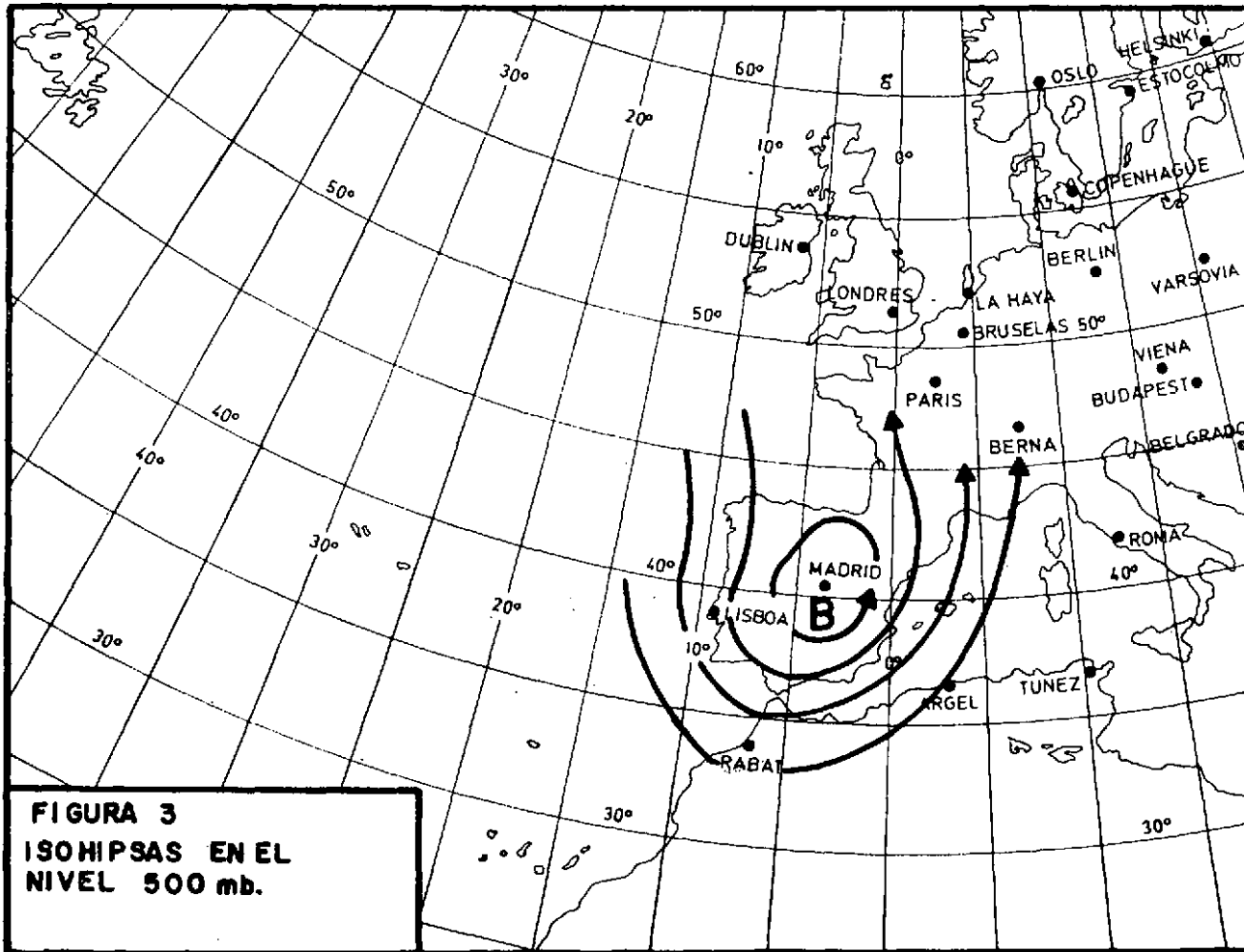
\* \* \*

Albergamos la esperanza de que trabajando experimentalmente sobre la pauta que acabamos de resumir, pueda llegarse a obtener un nuevo método de predicción de la intensificación de los meteoros, que sea notoriamente más efectivo que los hasta ahora utilizados. Sin embargo, por el momento, sólo se trata de una esperanza, que creo fundada, pero que hay que experimentar.



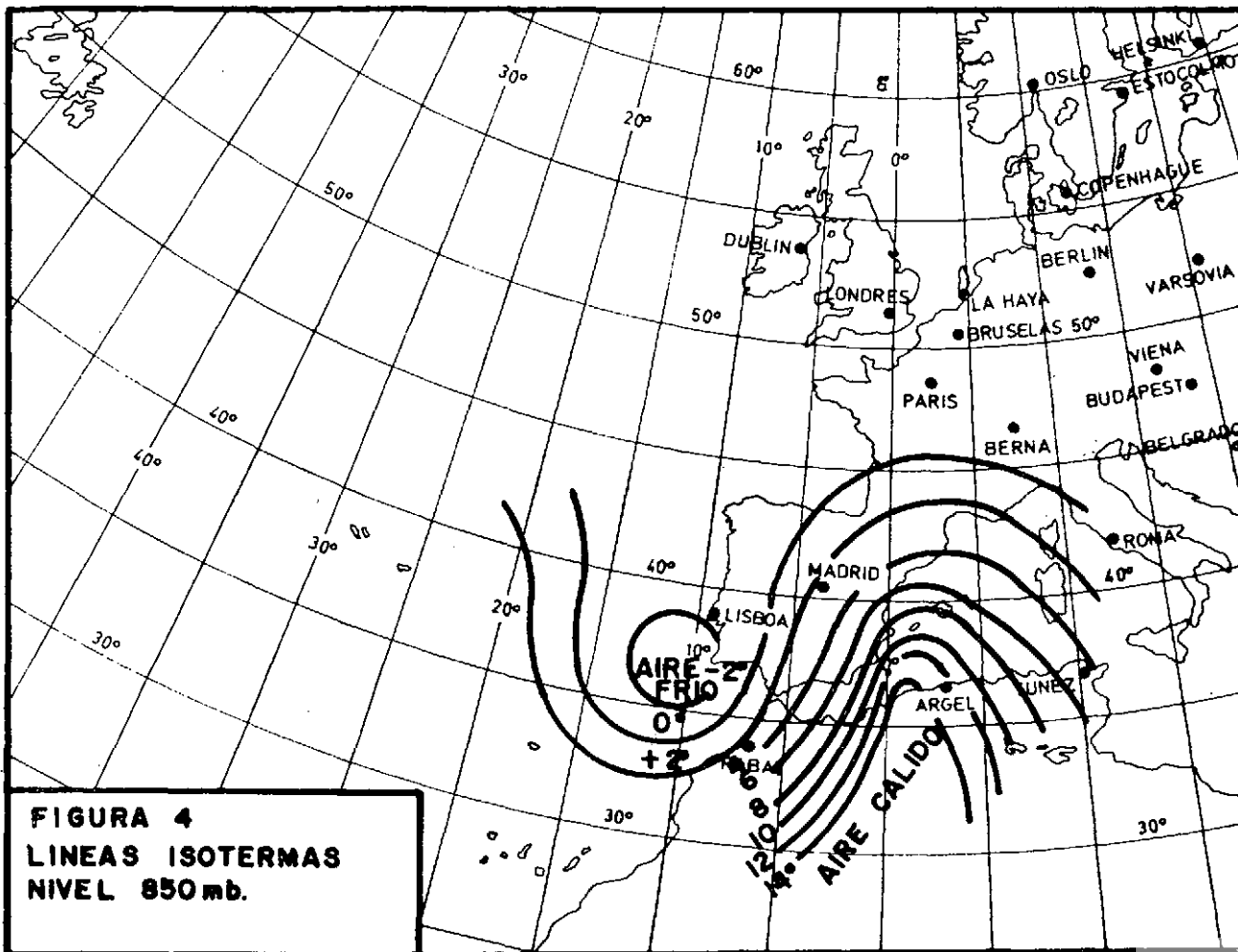




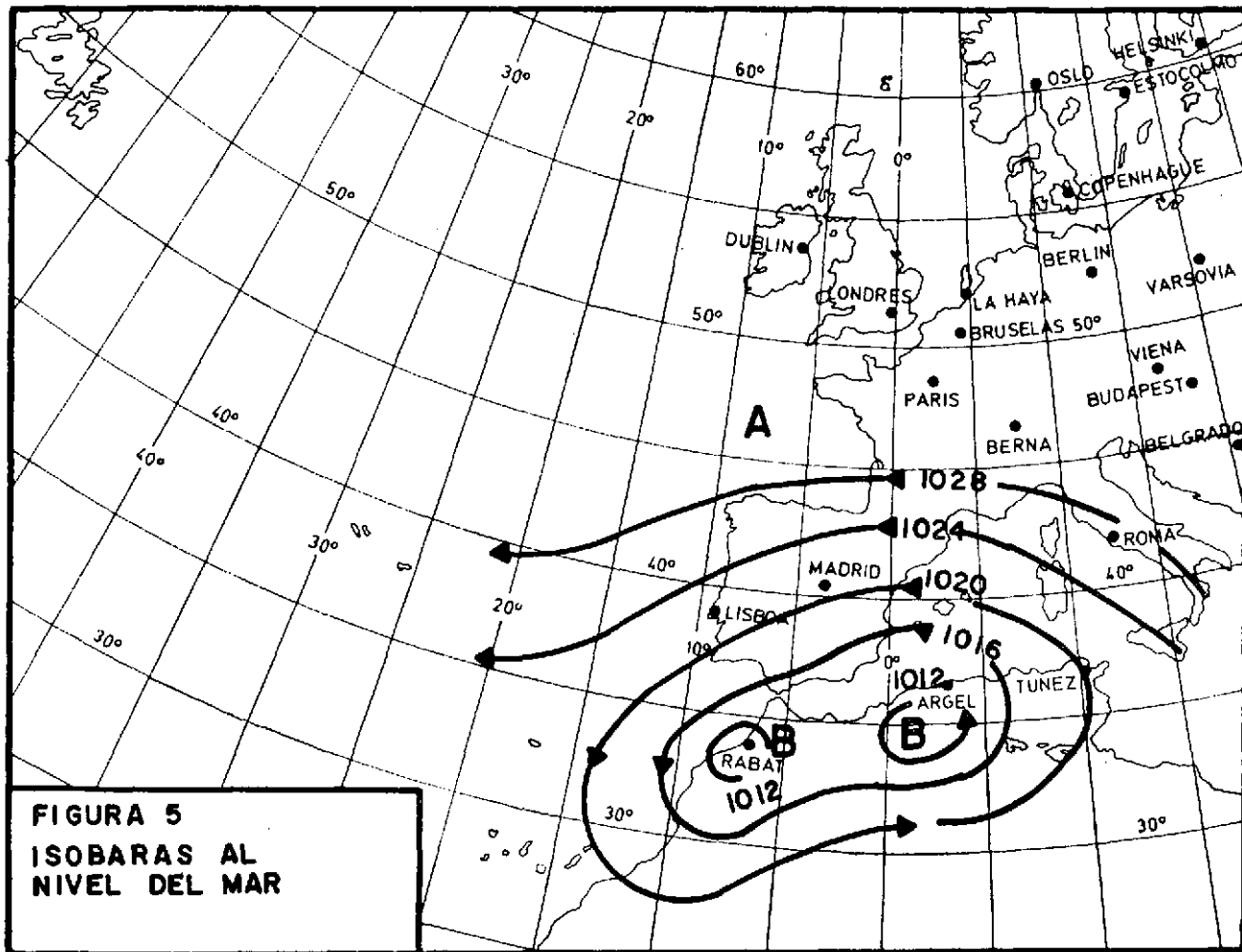


**FIGURA 3**  
**ISOHIPSAS EN EL**  
**NIVEL 500 mb.**





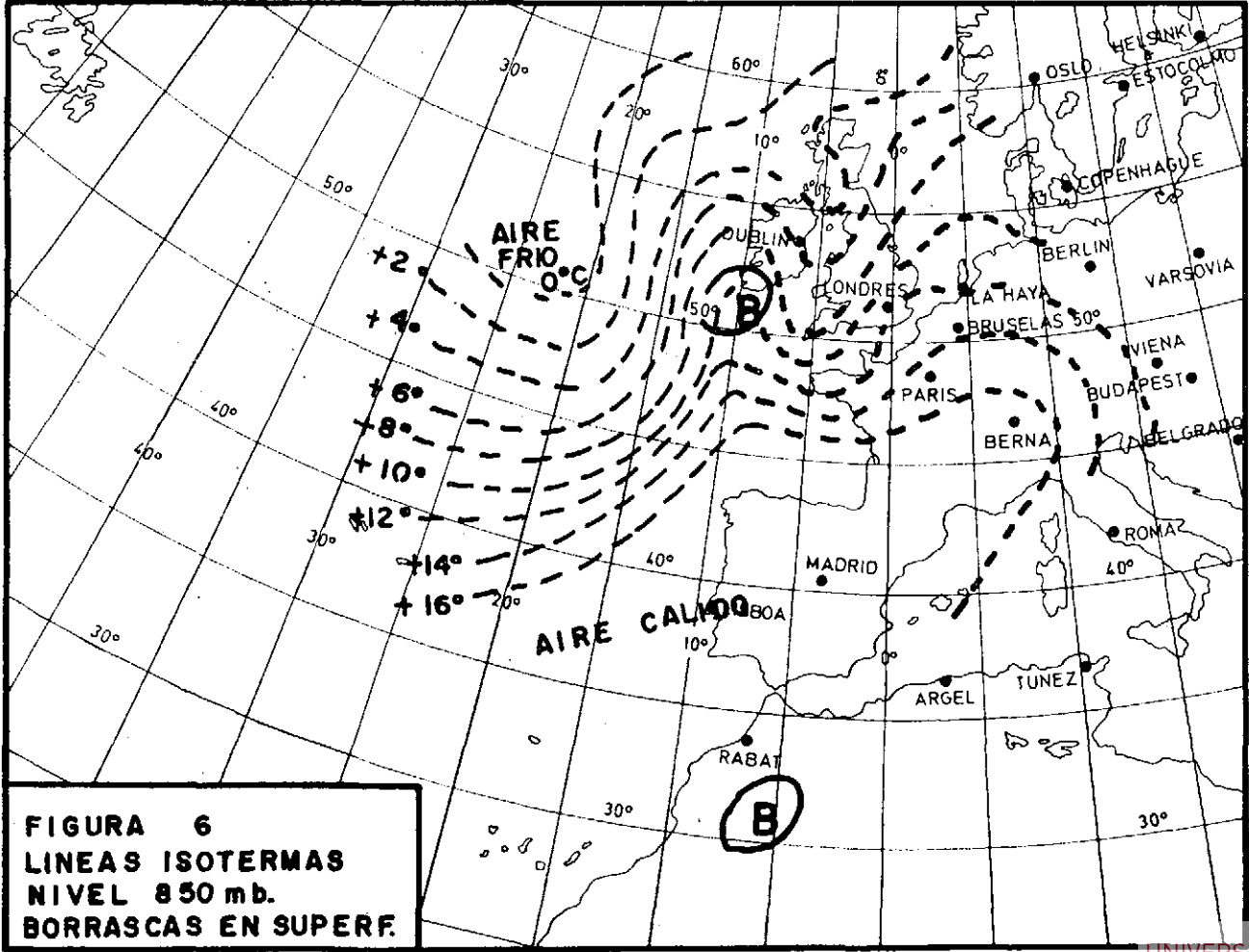
**FIGURA 4**  
**LINEAS ISOTERMAS**  
**NIVEL 850 mb.**



**FIGURA 5**  
**ISOBARAS AL**  
**NIVEL DEL MAR**







**FIGURA 6**  
**LINEAS ISOTERMAS**  
**NIVEL 850 mb.**  
**BORRASCAS EN SUPERF.**



