

## ALPEX —EL EXPERIMENTO ALPINO—

P O R

JAIME MIRÓ-GRANADA GELABERT

Meteorólogo, Jefe del Servicio de Aplicaciones  
a Recursos y Medio Ambiente, I. N. M.

La contemplación de las aguas del río Aragón, tan próximo a esta bella ciudad de Jaca, procedentes del imponente Sistema Pirenaico que enmarca, acoge y protege la ciudad, y que discurren ora impetuosas y revueltas, ora mansas y laminares me permiten establecer una primaria analogía con los movimientos del aire cuando éste tiene que encararse con las tozudas moles montañosas, que no quieren ni deben ceder un palmo de terreno a las embestidas, violentas, aunque inútiles del flujo atmosférico que acude, obediente, a cumplimentar lo que las leyes de la hidrodinámica consideran que es su destino.

Desde fuera, desde nuestro punto de vista humano, vemos como el fluido agua constreñido a discurrir a veces por pasos angostos y fondos irregulares, reacciona turbulentamente y se forman en su masa, y se hacen visibles en la superficie que observamos, remolinos, torbellinos, vórtices que permanecen estacionarios o se marchan aguas abajo modificándose hasta desaparecer al disipar su energía.

En otros puntos del río, cuando el cauce es ancho y uniforme, las aguas en remanso parecen inmóviles, estancadas, sin que por eso su caudal experimente variación en aras de la continuidad.

¿De qué forma nos daríamos cuenta de la existencia de estos fenómenos si nuestro punto de vista humano estuviera situado en el sucio fondo del río?

[Entre paréntesis: pienso que, entre la variada fauna fluvial, los congrios —que caminan despacio y de través por el fondo, medio aislados de su ambiente por fuerte caparazón, que examinan las cosas con pinzas y las miran con ojos saltones y vivos— deben ser seguramente los sesudos sabios hidrólogos que estudian pacientemente las particularidades del fluido que les envuelve y no, desde luego, las traviesas y saltonas truchas que probablemente se dedican a otros menesteres más frívolos, quizás a publicar cotilleos en su prensa del corazón].

A la meteorología le ha preocupado siempre la influencia de la montaña en el movimiento del aire, del fluido en el cual vive el hombre y que éste ha tenido que estudiar desde dentro, desde el fondo de la corriente aérea.

Al fin y al cabo, como decía nuestro querido profesor y meteorólogo don José María Lorente, el hombre vive en el lodo de la atmósfera, en la parte que está en contacto y entremezclándose con el suelo, donde es más impura, está más contaminada. Y mientras, la representación sobre mapas de contornos, de isolíneas de los campos bórico, térmico, isobórico, de líneas de corriente... pretende imaginar cómo son en realidad las corrientes aéreas, cómo influyen sobre los meteoros que afectan al hombre, cómo distribuyen y redistribuyen la energía solar que les ha dado movimiento y cómo y de qué manera las rugosidades de la Tierra les afectan y las modifican profundamente.

Con una perspectiva desde puntos casi exteriores o exteriores a la propia atmósfera, le es ahora dado al hombre la posibilidad de observar, desde satélites meteorológicos o naturales, algunas consecuencias del movimiento del aire cuando se producen en él condensaciones de su vapor acuoso.

[Entre paréntesis: pienso que a veces el sabroso cangrejo se sale del agua del río y se monta por breve tiempo a una roca de la ladera para contemplar fugazmente aquellos remolinos que, desde el fondo, tanto deben preocuparle al detectarlos por los cambios de presión hidrostática percibidos en sus sensibles antenas].

El modelo matemático de las perturbaciones locales debidas a los obstáculos orográficos ha sido considerado por multitud de autores. Pero limitémonos a unos pocos casos de bibliografía española.

Ya en 1947, y señalo la oportunidad actual de la proximidad geográfica, los meteorólogos españoles Barasoain y Castañs (Publicaciones Serie A, núm. 18. Servicio Meteorológico Nacional, Madrid), aprovecharon la ocasión de su destino en la Escuela de Vuelos sin Motor de Huesca, en la escuela de Monflorite, al sur de la Sierra de Guara, para informarnos de la ascendencia ondulatoria frecuentemente observada y utilizada, tanto desde el punto de su experiencia personal como pasando revista a las diversas teorías sobre la formación de aquel fenómeno.

Se fijan, dichos autores, preferentemente, en la ecuación de Lyra-Moazagotl; partiendo de las ecuaciones de la Hidrodinámica, de Euler, y de la continuidad, suponiendo el fenómeno ondulatorio estacionario y el adiabatismo en las evoluciones de las partículas sujetas al movimiento del aire perturbado por el obstáculo de los montes perpendiculares a su dirección, se llega a una ecuación fácilmente integrable y que permite establecer la forma de las líneas de corriente de un modo aceptable, muy aproximado a la realidad, no obstante la suposición de una isoterma atmosférica en el contorno.

Un detenido análisis de ciertas configuraciones sinópticas que acompañan a los fenómenos ondulatorios, a la formación de ondas de montaña, en los sistemas orográficos del centro de la península fue efectuado por otro meteorólogo español, Ledesma. (Publicaciones, serie A, núm. 33. Servicio Meteorológico Español, Madrid, 1959). Considera solamente los casos de fuerte viento del sur asociados a cuatro modelos de contornos típicos en 500 milibares: gota fría, bloqueo con vértice frío, bloqueo de anticiclón cálido y vaguada. Establece unas áreas y unas condiciones críticas de gran interés en predicción meteorológica para la protección a la aeronáutica habida cuenta de la gran cantidad

de desastres aéreos que se han producido, y hasta hoy en día también se producen, en situaciones meteorológicas favorables para la formación de ondas de montaña.

Frecuentemente, la ascendencia ondulatoria producida a sotavento de la cordillera atacada normalmente por un viento fuerte nos proporciona un bello espectáculo: la blanca nube lenticular, la nube "Moazagolt", que suele recortarse nítida sobre el cielo muy azul que deja ver el aire puro, descontaminado por la turbulencia, y desecado por el efecto "fohën".

Un ejemplo significativo: el que presentamos, de la nube que paralela a la cordillera noroeste de Mallorca, sirve de fondo y marco a la competición deportiva, a la regata de balandros que luchan por ganar el barlovento recogiendo por sus popas las rachas del noroeste, del "mestral" que a un ligero descuido del timonel puede originar una fatal trasluchada de sus botavaras. (Fig. 1).

Pero el efecto que los sistemas montañosos causan en el flujo de aire no se limita a estos pocos fenómenos que hemos expuesto, entre otros que podríamos describir —como brisas de montaña y valle, vientos catabáticos, distribución especial y espacial de la pluviometría, etc. de ámbito circunscrito al relieve perturbador o dentro de su proximidad geográfica. Los torbellinos de agua que vemos en los ríos como consecuencia de las irregularidades del fondo y de sus márgenes, ya hemos dicho que pueden con frecuencia observarse lejos de su origen.

Nos referiremos brevemente a los fenómenos de ciclogénesis y también aquí nos limitaremos a recordar lo que sucede en un área próxima a nosotros en el Mediterráneo Occidental, cuando una situación isobárica del noroeste conduce a una brusca y fuerte irrupción de aire polar en los Golfos de Génova y León, después de haber vencido el obstáculo de los Alpes y ser también influenciados por el Macizo Central francés y por esta maravillosa y cercana Cordillera Pirenaica. Muchos son los autores que han tratado de la ciclogénesis y fenómenos concomitantes en ambos golfos, pero entre ellos, los que describen mejor, más vívidamente, el fenómeno son, como es natural, los que han estado repetidamente sumergidos en el flujo perturbador y turbulento, los que han sentido en su cuerpo y medido con los anemómetros, con los barómetros y los psicrómetros, con los pluviómetros a su cargo las fuertes rachas del mistral o la tramontana, los descensos bruscos de presión y temperatura o la intensidad de los chubascos que la borrasca, creada o profundizada por el efecto Alpes, se ha abatido sobre la zona de su competencia en el afán de la predicción del tiempo.

Y cito, cómo no, al maestro José María Jansá, primero entre un grupo de españoles mediterráneos —Fontseré, Font, Agustín Jansá, Ramis, Gayá, o italianos como Tibaldi, Buzzi, o yugoslavos —Radinovic, entre otros muchos.

Como es sabido, el aparato matemático usual para el tratamiento de la iclogénesis se inició con la ecuación de Rossby, que relaciona la divergencia

$$\frac{d}{dt} \zeta_a = - \zeta \nabla_n \vec{V} \qquad \frac{d}{dt} (\zeta + f) = - f \operatorname{div}_n V$$

con la variación de la vorticidad absoluta, la cual modificada convenientemente permitirá hallar la divergencia, o pérdida de masa/m<sup>3</sup> en una columna de aire, que figura como un término en la ecuación de la tendencia barométrica, midiendo la advección de la vorticidad absoluta utilizando simplemente los mapas del tiempo.

Pero será necesario que Sutcliffe obtenga por otro camino una expresión similar a la de Rossby, pero más consistente, al usar la coordenada presión como la vertical. Y otros hacen notar, y formulan, que en la variación de la densidad local del aire de una columna además de la pérdida o ganancia de masa de aire por unidad de volumen, y/o del cambio de aire distinta densidad (cálido-frío), hay que contar con las variaciones de las energías internas, potencial y cinética que contiene la atmósfera, puesto que intervienen procesos de radiación, de interacción entre la tierra y la atmósfera y de evaporación y condensación.

Así se llegará a expresiones de "divergencia relativa" (por ejemplo entre 500 y 1000 mbs.) dependiente del espesor —Z— y por tanto de la temperatura de la capa de aire, que proporciona un desarrollo o valor de la ciclogénesis aplicado a un modelo de dos niveles.

Pero también hay que hacer intervenir las influencias de la montaña sobre la columna de aire que sobre ella se abate, influencia dinámica por el movimiento vertical forzado por el relieve, influencia por el efecto de rozamiento, influencia por calentamiento adiabático directo. Todo ello conduce a una distorsión en la distribución de espesores, a que la montaña genere un tren de oscilaciones, a que se cree vorticidad térmica, a que, en definitiva, se forme una depresión a sotavento. A esto agregaremos que un Mar de Liguria, fuente de calor, también genera ciclogénesis que hay que sumar a la anterior.

Pero esta explicación del factor alpino Occidental, expuesto brevemente, desordenadamente y confusamente, podemos conocerla de forma amplia, de forma ordenada y de un modo muy claro, tanto en los trabajos de Agustín Jansá, como en los de Mariano Medina, algunos de ellos presentados en ocasión de las Jornadas de la AME, en Menorca y Mallorca, en lo que se llamó I<sup>er</sup> Congreso de Meteorología del Mediterráneo Occidental.

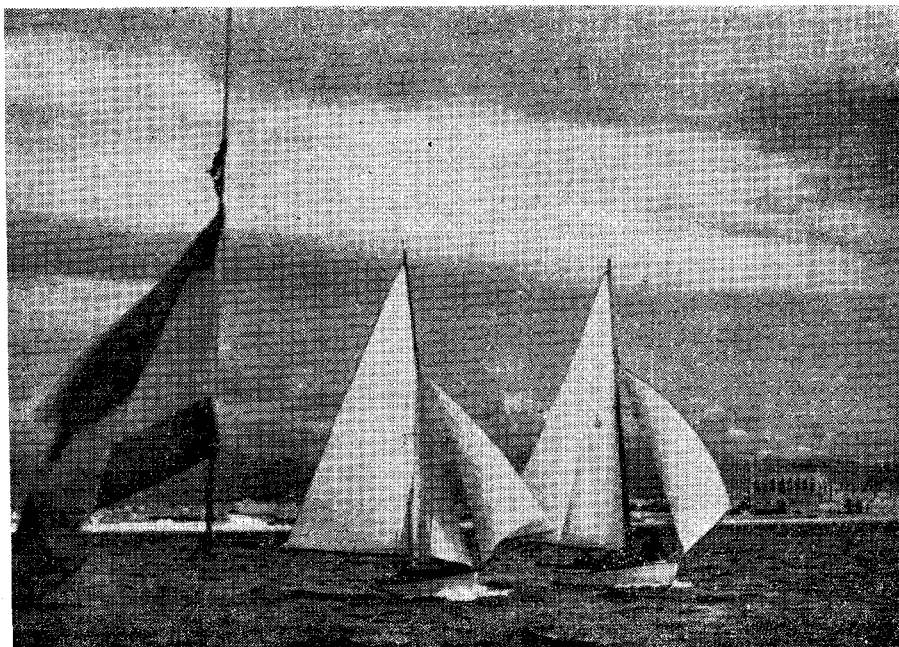
La frecuencia, relativamente grande, de formación de depresiones en los golfos de León y Génova, estadísticamente tratada y con aplicación del mesoanálisis por A. Jansá, Ramis, Radinovic... es significativa.

(Observemos una magnífica fotografía, obtenida por el satélite meteorológico Meteosat, de una depresión sobre Baleares, borrasca en ensaimada, la situación isobárica antes y durante la borrasca y la masa de vapor que la foto en I. R. del Meteosat permite apreciar (fig. 2).

Pues bien, la aplicación de los métodos de predicción numérica a los sistemas montañosos resulta muy discutible. Las redes sinóptica y climatológica si bien estudian bastante correctamente el flujo sobre aquéllos, son de malla demasiado amplia para adaptar la observación al cálculo numérico. Incluso la red de predicción numérica no resulta apropiada. Pero la importancia de la influencia de las cordilleras en la circulación general atmosférica, la grave-

dad a que puede llegarse en los fenómenos meteorológicos que en ellos se ocasionan han conducido a la necesidad de un estudio detallado del problema. En una bibliografía relativa a los efectos de montaña, he contado 1.540 trabajos de importancia. Sin embargo, el mecanismo de los vientos catabáticos, por poner sólo un ejemplo, no está resuelto ni mucho menos.

Así nace, justificadamente, el “experimento alpino”, el ALPEX, como un “Subprograma sobre el Flujo del Aire sobre las Montañas y su Entorno”, del GARP, o sea del Programa de Investigación Global de la Atmósfera.



El ALPEX es pues un programa de investigación refrendado internacionalmente, conducido conjuntamente por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y por el Consejo Internacional de Uniones Científicas (CIUC), ejecutado por la Dirección Conjunta de Planificación (IPS) y supervisado por el Comité Científico Conjunto (CCC) de la OMM/CIUC. Cada país participante está representado por una persona, denominada “punto focal”.

Se propone el ALPEX, nada menos que :

- Determinar las características, en diversas condiciones sinópticas, del flujo de aire y la masa y campo de humedad por encima del complejo orográfico alpino y alrededor de él.

- Estudiar los procesos físicos que conducen a la formación de ciclones a sotavento de la barrera de las montañas alpinas, y al mecanismo de su ulterior desarrollo, poniendo especial interés en la naturaleza subsinóptica de los procesos asociados.
- Determinar :
  - la resistencia que un complejo orográfico ejerce sobre el aire,
  - el transporte vertical de cantidad de movimiento horizontal en función de la altura en las proximidades de una cordillera y
  - la disipación de la energía gravitatoria-inercial de la onda por encima de y corriente abajo de la cordillera.
- Estudiar los vientos orográficos (tales como el foehn, el bora y el mistral) y los posibles efectos corrientes arriba de las montañas.
- Estudiar el papel que juega el flujo de calor sensible y latente sobre el Mar Mediterráneo y su significación en la ciclogénesis a sotavento.
- Estudiar los efectos del calentamiento diferencial por radiación originado por la cadena de los Alpes debido a la elevación, las características topográficas y el albedo.
- Estudiar el efecto que tienen los complejos orográficos sobre la precipitación.
- Investigar los procesos físicos responsables del desarrollo de grandes inundaciones, vientos y mareas de temporal en la región de los Alpes, con objeto de perfeccionar su predicción.

Para ello sobre una Zona Experimental centrada en los Alpes, dotada de un número considerable de sistemas de observación de todas clases, y de otra zona mayor envolvente de aquélla, un complejo programa de observaciones se está desarrollando en el período que comenzó el 1 de septiembre del año 1981 y que está previsto que dure trece meses, incluido un período de observaciones especiales de alta intensidad durante los pasados meses de marzo y abril.

A título indicativo nos limitaremos a señalar lo más importante de dicho programa de observaciones, constituido básicamente en dos partes :

- 1.<sup>a</sup> La red regular de la Vigilancia Meteorológica Mundial formada por las estaciones de superficie, por las estaciones de sondeo vertical de la atmósfera y por las estaciones situadas en plataformas espaciales como los meteorosatelites.
- 2.<sup>a</sup> Los sistemas especiales de observación, entre los que hay que contar :
  - a) Sondeos atmosféricos adicionales en el área alpina; aviones meteorológicos de diversos tipos, sondeando vertical y horizontalmente el aire, con trayectorias a través y a lo largo de los Alpes y de los sistemas montañosos próximos, incluidos los Pirineos; a través y a lo largo de las corrientes en chorro, que en esta época del año se sitúan con frecuencia en la vertical de la cuenca del Ebro.

- b) Observaciones en barcos ordinarios y oceanográficos, en particular para estudiar la respuesta del Mediterráneo en condiciones de ciclogénesis —España contribuye con observaciones meteo-oceanográficas en el área de Baleares y del golfo de León—; en boyas fondeadas en el Mediterráneo; en estaciones costeras para el estudio de los cambios de nivel del agua, etc...
- c) Observaciones especiales de satélites a efectos de experimentos numéricos...
- d) Observaciones con microbarógrafos, convenientemente distribuidos en y fuera del sistema alpino.
- e) Y un buen número de otro tipo de observaciones: con globos de altitud, o mejor dicho, densidad constante; con cámaras de fotos y cinematográficas, con radares “doppler”, con sondeos acústicos, con datos de cubierta de nieve, de escorrentías, de evapotranspiración, de radiación solar, todo ello coordinado por un Centro de Operaciones Internacionales en Ginebra, apoyado por otros centros nacionales secundarios.

El impresionante número de datos obtenidos será objeto de tratamiento compartido por varios centros: uno internacional, otros nacionales, otros especiales, así como por los centros mundiales de datos.

La línea de actuación de España, país obviamente implicado e interesadísimo en los resultados del experimento, no ha sido todo lo clara y definida que hubiera sido deseable. El año 1979, en enero, el Instituto Nacional de Meteorología remitió al doctor Rodinovic, en aquel entonces Director del programa y a petición suya, varias cintas magnéticas conteniendo datos de TEMP, SYNOPS y METAR de los tres primeros trimestres del año 1978. Por cierto, creo que no se recibió nunca el acuse de recibo correspondiente. No fueron enviadas más cintas. Se colabora actualmetne intensificando el programa de observaciones, en especial los radiosonderos de Barajas y Palma de Mallorca, con establecimiento de una estación adicional en la cuenca del Ebro. Por su parte, el Instituto Oceanográfico realiza observaciones en el golfo de León, para contribuir al conocimiento del intercambio energético mar-aire, sobre todo en episodios de ciclogénesis a sotavento de los Alpes. España, desgraciadamente, no ha emprendido un programa nacional con el que unirse a los programas de otras naciones que, en forma coordinada, desarrollan el experimento. Meteorólogos españoles han tomado contacto, sin embargo, con el Centro de Operaciones para el período de observación intensiva, de los pasados marzo y abril, instalado en el aeropuerto de Cointrin-Ginebra.

El Experimento Alpino ALPEX, es, como puede deducirse, una investigación ambiciosa que nosotros, como país afectado de modo profundo por la influencia de los Alpes y de estos cercanos Pirineos en la circulación general atmosférica, y como meteorólogos interesadísimos en el conocimiento del tiempo que se “cuece” en el Mediterráneo Occidental, deseamos tenga el éxito que el esfuerzo conjunto y organizado de tantos “hombres del tiempo” se merece.