

PERFILES VERTICALES DE ENERGÍAS ESTÁTICAS EN EL DESARROLLO CONVECTIVO SOBRE LAS ISLAS CANARIAS. UN EPISODIO DE ESTUDIO 15 AL 20 DE FEBRERO DE 1989

E. L. García Díez, J. L. Labajo Salazar y F. de Pablo Dávila
Departamento de Física General y de la Atmósfera.
Universidad de Salamanca

Resumen

En este trabajo se analiza una aplicación práctica de un modelo de predicción de desarrollo convectivo. El episodio estudiado tiene lugar en el período del 16 al 20 de febrero de 1989 sobre las islas Canarias.

El modelo de predicción está basado en diagramas aerológicos que presentan simultáneamente la energía estática seca (S), la energía estática húmeda (b) y la energía estática saturada (E) frente a p . Estas magnitudes se evalúan a partir de datos de sondeos aerológicos.

El desarrollo convectivo aparece, hablando estrictamente en términos de Física teórica, como un pozo potencial. El resultado, desde un punto de vista de predicción, es satisfactorio.

1. Introducción

Para la comunidad meteorológica existen algunos problemas singulares que presentan alta incidencia en la actividad humana. Un ejemplo de ello son los fenómenos severos de convección.

En la bibliografía, este problema es bien conocido y ha sido analizado desde diversos puntos de vista. En zonas tropicales la cuestión presenta una importancia singular debido, evidentemente, a la fuerte incidencia en la circulación general. Autores como Yanai (1973), Arakawa (1974), etc., analizan estos aspectos. Para las latitudes medias los fenómenos convectivos han

sido estudiados por autores como Betts (1989), Fraedrich (1984) y otros muchos.

En este artículo presentamos un modelo operativo para pronosticar fenómenos convectivos severos. Ese modelo se aplica al episodio que tuvo lugar en el período del 16 al 20 de febrero de 1989, sobre las islas Canarias.

2. Análisis físico

Son bien conocidas, en la bibliografía meteorológica, las propiedades que presentan las magnitudes:

$$S = c_p T + gz \quad (1)$$

$$b = c_p T + gz + Lq \quad (2)$$

$$E = c_p T + gz + Lq^* \quad (3)$$

llamadas energía estática seca (S), energía estática húmeda (b) y energía estática saturada (E).

La primera de estas magnitudes fue introducida por R. B. Montgomery (1936), en relación con el análisis isentrópico. Por esta razón se llama potencial de Montgomery.

En (1), (2) y (3), c_p , g y L son el calor específico a presión constante del aire (aproximadamente aire seco), la aceleración de la gravedad y el calor de condensación del vapor de agua. En este estudio suponemos que los valores de estas magnitudes permanecen constantes.

Por otra parte, T , z , q y q^* son la temperatura (K), el geopotencial (m), la humedad específica

(kg/kg) y la humedad específica de saturación (kg/kg).

Las tres magnitudes mencionadas pueden evaluarse en diversos niveles de presión usando sondeos aerológicos convencionales. En este modelo los datos usados corresponden, generalmente, a las 00,00 UTC, y sólo en casos particulares se usan datos de las 12,00 UTC.

Desde un punto de vista físico, S y b son conservativos para evoluciones secas cerradas (adiabáticas y sin intercambio de masa). E es constante para evoluciones húmedas cerradas.

Se puede establecer un diagrama que presente S , b y E frente a p y deducir de él sugestivas interpretaciones físicas. En la bibliografía estos gráficos aparecen en trabajos publicados por Yanay (1973) y Arakawa (1974), en una escala de tiempo promedio para zonas tropicales. Fraedrich usa el modelo similar para deducir una relación entre la vorticidad cumular y la vorticidad del medio.

En otros trabajos (García Díez *et al.*, 1986, 1987, 1988) se han establecido diversas consideraciones, por ejemplo una evolución de la estabilidad atmosférica a lo largo del año o, en el aspecto predictivo, se han abordado algunos fenómenos convectivos particularmente fuertes.

En nuestra opinión, la aplicación principal de este modelo lo es en relación con la predicción. En este sentido, la representación simultánea de los perfiles de S , b y E frente a p puede considerarse como un verdadero diagrama aerológico.

Podemos ver en la figura 1 los mencionados diagramas, correspondientes a la estación de la isla de Tenerife (indicativo sinóptico, 60010) a lo largo del período que va del 15 al 20 de febrero de 1989, a las 00,00 UTC. Excepcionalmente, también aparece el diagrama correspondiente a las 12,00 UTC del 16 de febrero.

En nuestro modelo, el nivel de condensación convectivo (CCL) se deduce por intersección de la «isoo- q » ascendente, para la unidad de masa

en superficie (b_0), con la curva del perfil de la energía estática saturada del medio.

Por debajo de este nivel (CCL), la diferencia $E_{CCL}-b_0$ puede considerarse como endoenergía convectiva. Por encima de él, despreciando intercambios de masa y energía entre los cúmulos y su entorno, el desarrollo cumular se basa en la conservación de la energía. Siguiendo este razonamiento, el tope de la nube (p_T) está dado por

$$E(p_T) = E_{CCL}$$

La exoenergía convectiva se expresa formalmente como

$$Exo = E_{CCL} - E_p \text{ para } CCL \geq p \geq p_T$$

Un índice de la actividad cumular podría obtenerse por comparación entre las «exo» y «endo» energías, de forma similar a como se hace en otros tipos de diagramas (en particular los emagramas).

La propiedad $Exo > Endo$ define la inestabilidad latente positiva (PLI), mientras que $Exo < Endo$ define la inestabilidad latente negativa (NLI). La primera es una condición necesaria para el desarrollo cumular, pero no es suficiente. También es necesario, evidentemente, que el CCL pueda ser alcanzado por la burbuja que asciende desde la superficie.

En la tabla I se puede ver la endoenergía día a día, a lo largo del período estudiado. Los valores mínimos se registran en los días 17 y 19.

En nuestro modelo, la endoenergía está fuertemente condicionada por las perturbaciones de humedad específica en superficie. Esta posibilidad juega un importante papel respecto a la predicción. Este aspecto es crucial en las zonas costeras, como las del episodio estudiado, por que la interacción océano-atmósfera, brisas de mar, etc., pueden perturbar (en algunos casos fuertemente) la q en superficie, con lo que b_0 aumenta. Este hecho implica un descenso en el CCL , aumentando la posibilidad de desarrollo convectivo.

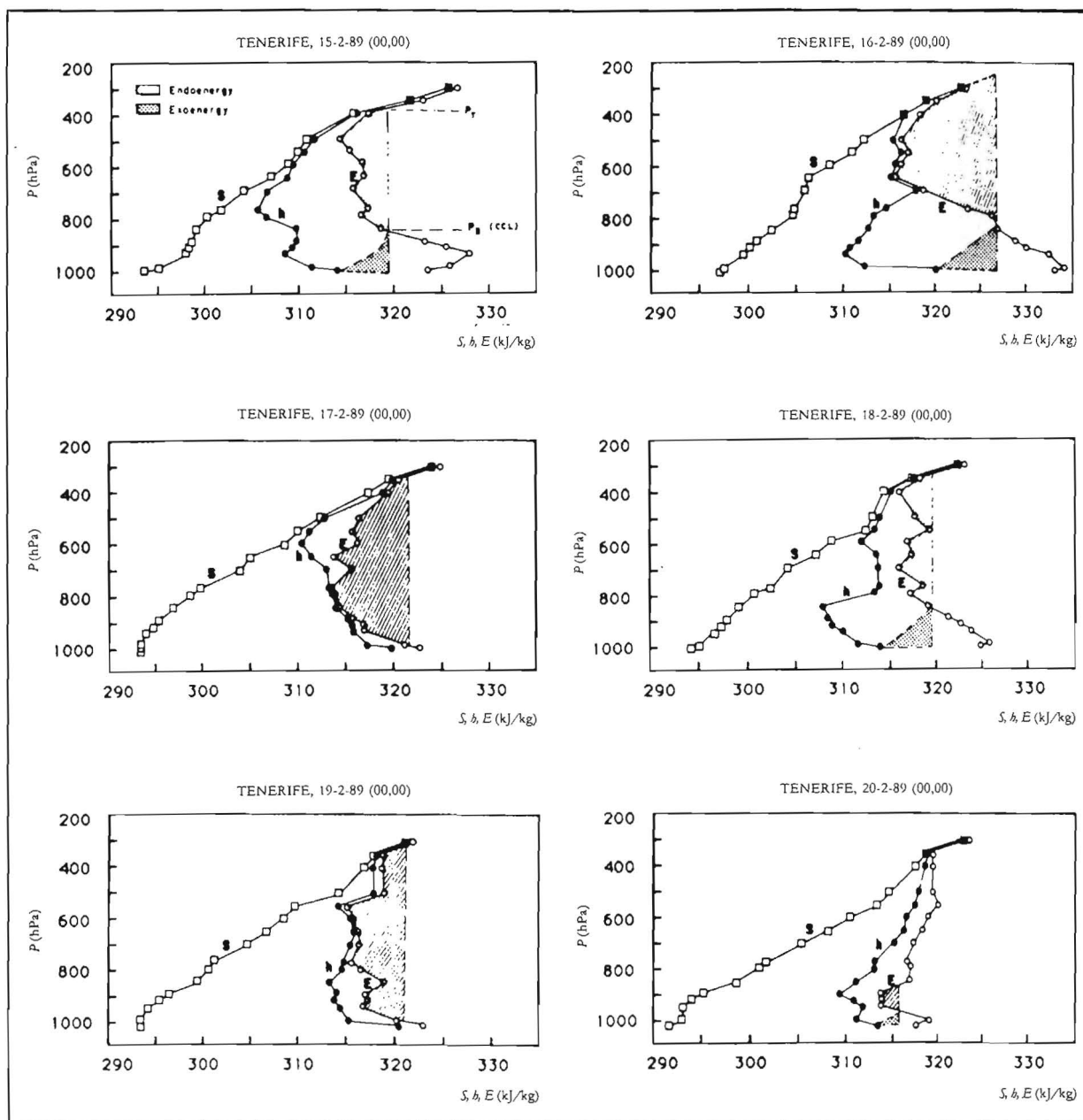


Figura 1.—Diagramas a erológicos a 00,00 UTC sobre las islas Canarias (16 a 20 de febrero de 1989)

TABLA I
VALORES Y ANALISIS DE LA ENDOENERGIA (kJ/kg) DE LA COLUMNA
ATMOSFERICA

Día (D)	Configuración	Endoenergía	RR(mm)	
			18,00 (D-1) 06,00 (D)	06,00 (D) 18,00 (D)
15	PLI	5	0	0
16	PLI	6	0	71
17	PLI	1	156	23
18	NLI	—	58	60
19	PLI	0	118	19
20	NLI	—	0	0

PLI, inestabilidad latente positiva; NLI, inestabilidad latente negativa.

3. Análisis predictivo

En la figura 1 puede observarse inestabilidad latente positiva (PLI) durante todos los días del período, excepto el día 20. Se produce tormenta fuerte el día 17 por la mañana y las precipitaciones registradas se presentan en la tabla I.

Evidentemente, se pueden observar notables diferencias entre los diagramas de los días 16 y 17:

- La energía estática seca (S) disminuye claramente en los niveles bajos (superficie-700 hPa). Curiosamente, en general, este hecho puede interpretarse como una condición para una tendencia de la columna a la estabilización. Generalmente se asocia con una advección diferencial de frío en esta capa.
- La energía estática húmeda (b) aumenta en esta capa (1.000-850 hPa). En torno a esta cuestión se pueden establecer dos consideraciones. Por una parte, b aumenta porque la humedad específica (q) aumenta en la capa más baja. Por otra parte, esta variación en b es debida a una advección diferencial de calor en la capa más baja. La segunda hipótesis no se considera porque S disminuye notablemente, de acuerdo con lo indicado en el párrafo anterior.

En resumen, q aumenta en la capa más baja debido, sin duda, a una circulación que se presenta sobre las islas Canarias con vientos de fuerte componente sur, que aportan humedad. Este incremento de q es, como hemos visto, la causa exclusiva del aumento de b_0 . En la siguiente sección se analizará esta cuestión.

Las condiciones mencionadas (para S y b) permiten deducir una consecuencia evidente para la endoenergía: disminuye fuertemente y hay una alta probabilidad de que ocurra desarrollo convectivo a las 00,00 UTC del 17 de febrero. El desarrollo convectivo se producirá entre el CCL (1.000 hPa) y 400 hPa. Este es el pronóstico basado en nuestro modelo. Cuatro horas después se registró una fuerte tormenta sobre Canarias.

Aunque este modelo unidimensional se apoya en los sondeos de las 00,00 UTC, este pronóstico hubiera podido establecerse considerando el diagrama del día 16 a las 12,00 UTC (fig. 2). En efecto, las variaciones de S y b que se observan en el análisis comparativo diario (a las 00,00 UTC) los días 16 y 17 de febrero, aparecen ahora en el análisis del diagrama correspondiente a las 12,00 UTC del 16 de febrero.

En este caso nuestro modelo presenta un mayor período de predicción. Por esta razón es conveniente analizar también diagramas a las 12,00 UTC a fin de establecer un pronóstico más preciso.

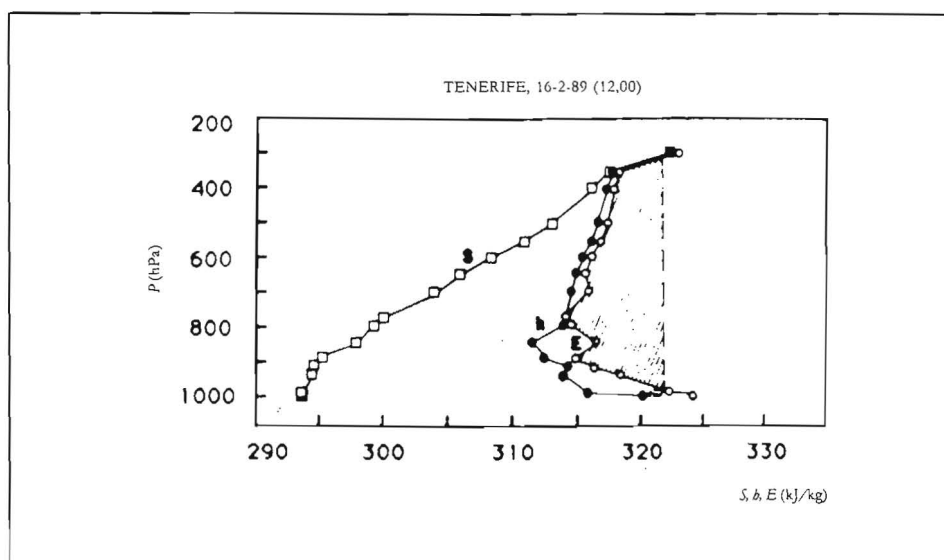


Figura 2.—Diagrama aerológico. 16 de febrero de 1989 a las 12,00 UTC

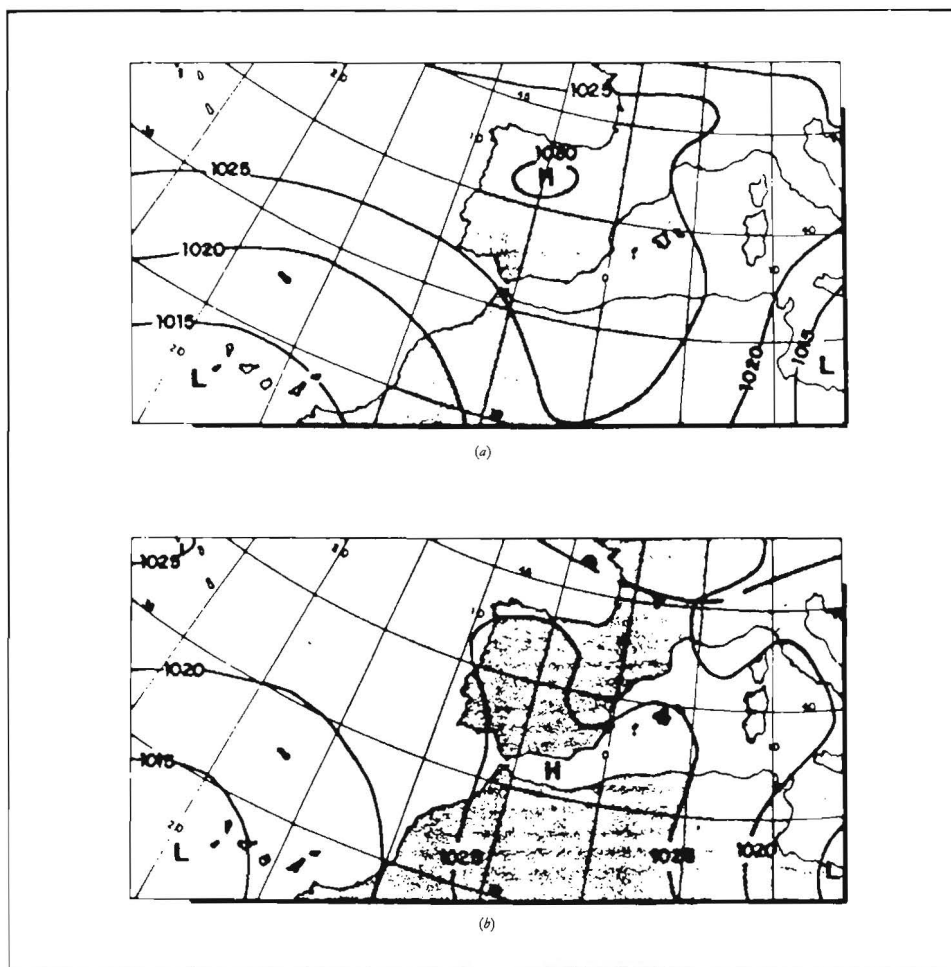


Figura 3.—Mapas de superficie del 16 de febrero de 1989 [(a) 00,00 UTC, (b) 12,00 UTC]

Se pueden observar cambios notables a las 00,00 UTC del 18 de febrero. El CCL está muy alto, la endoenergía aumenta ($> \text{kJ/kg}$) y la exoenergía disminuye. Sobre la zona de estudio se registran pequeñas precipitaciones.

El 19 de febrero (a 00,00 UTC) se observa nuevamente inestabilidad latente positiva (fig. 1). El CCL está localizado en la superficie, apareciendo un «pozo de potencial» entre la superficie y el nivel de presión de 300 hPa.

En nuestro modelo, ello implica un pronóstico evidente de fuerte desarrollo convectivo. En efecto, algunas horas más tarde se registraron tormentas severas, dando lugar a una nueva situación catastrófica sobre las islas Canarias.

Para el 20 de febrero puede observarse en la figura 1 una inestabilidad latente negativa (NLI). La precipitación asociada al desarrollo

convectivo ha desaparecido; el episodio ha terminado.

4. Análisis sinóptico

Desde un punto de vista sinóptico, se localiza una depresión fría en niveles de presión medios y altos, como puede verse en la figura 3. Durante el período de estudio esta configuración es cuasiestacionaria y, por esta razón, debemos considerarla como condición necesaria pero no suficiente para el desarrollo convectivo. Consecuentemente, será necesario establecer cuál es la razón por la que el desarrollo aparece en unos días particulares del período de estudio.

Los mapas de superficie estudiados permiten deducir algunas consecuencias. Concretamente, entre las 6,00 y las 12,00 UTC del 16 de febrero se observa una pequeña pero significativa varia-

ción en la circulación. El viento cambia del suroeste al sur-suroeste y ello implica un aumento de la humedad específica sobre las islas Canarias.

Simultáneamente la temperatura disminuye en la capa más baja, debida a la subsistencia producida en la depresión fría registrada desde los niveles más altos. Esta caída de temperatura implica un descenso de S , ya analizado en la sección 3. De esta manera se produce la saturación, como se describió en la sección 3 y puede verse en la figura 2.

En conclusión, el análisis sinóptico y nuestro modelo coinciden en presentar un período crucial desde las 00,00 a las 12,00 UTC del día 16 de febrero. Lo que acontece en los niveles más bajos, en este período, junto a la persistencia de frío en los niveles superiores son la causa del desarrollo posterior. El desarrollo del día 19, de acuerdo con el diagrama que se presenta, es evidente.

5. Conclusiones

En este trabajo se aplica un modelo de predicción a un episodio convectivo sobre las islas Canarias. Evidentemente no se analizan aquí algunas consideraciones físicas del modelo. En este artículo, el modelo se aplica exclusivamente en un sentido operacional y predictivo. En otros trabajos, referidos en la bibliografía, el modelo se especifica minuciosamente.

En resumen, podemos establecer tres consideraciones:

- Las magnitudes de trabajo, S , b y E , tienen dimensiones de energía.

- Los cumulonimbos aparecen en este modelo, desde el punto de vista físico teórico, como un «pozo de potencial».
- En el aspecto operativo, este modelo requiere datos de sondeos aerológicos convencionales (generalmente a 00,00 UTC y, excepcionalmente a 12,00 UTC). En el diagrama correspondiente no se requieren líneas de evolución (adiabáticas secas, adiabáticas húmedas, de proporción de mezcla, etc.).

Para propósitos de predicción, este modelo presenta importantes ventajas respecto a otros métodos clásicos usados en los servicios meteorológicos. Además, este método puede acoplarse a otras técnicas de predicción.

Bibliografía

- ARAKAWA, A.-SCHUBERT (1974): «Interaction of a cumulus cloud ensemble with the large-scale environment» (part I), *Jour. Atmos. Sc.*, 31, pp. 674-701.
- FRAEDRICH, K. (1977): «Further studies on a transient cumulus cloud ensemble and its large-scale interaction», *Jour. Atmos. Sc.*, 34, pp. 335-343.
- GARCÍA DÍEZ, E.-GARMENDIA, J. (1987): *Meso-scale convective phenomena*, First International Meeting on Agriculture and Weather Modification. University of León, España, pp. 301-306.
- LABAJO, J.; ALACAL, A., y LABAJO, A. (1988): *Prediction of convection over Spain*. 7th Meteosat Scientific Users' Meeting. ISSN 1011-3932. Eumesat Darmstadt, FRG.
- MONTGOMERY, R. B. (1937): «A suggested method for representing gradient flow in isentropic surfaces», *Bull. Amer. Met. Soc.*, 18, pp. 210-212.
- YANAI (1973): «Determination of bulk properties of tropical cloud clusters from large-scale heat and Moisture budgets», *Jour. Atmos. Sc.*, 30, pp. 611-617.