

Una simplificación en la discusión del viento del gradiente

JOSÉ ANTONIO LÓPEZ DÍAZ. AEMET, MADRID

Como es sabido el viento del gradiente se obtiene suponiendo equilibrio entre la fuerza del gradiente de presión, la fuerza de Coriolis y la fuerza centrífuga en una partícula de aire. El viento geostrófico supone que las isobaras son rectas, pero cuando las isobaras son curvas (o no se puede despreciar su curvatura) hay que tener en cuenta la fuerza centrífuga. El viento del gradiente supone además que la velocidad de la partícula es tangente a las isobaras. La discusión de los tipos de situaciones que se pueden presentar para el viento del gradiente se complica por el hecho de que la ecuación en V (velocidad del viento) es cuadrática debido al término centrífugo. Se llega a la conclusión de que hay cuatro tipos de configuración para el viento del gradiente. Para llegar a esta conclusión lo más común es partir de la ecuación dinámica expresada en coordenadas intrínsecas (ver p. ej. Holton 2004). Estas coordenadas toman un vector unitario t en la dirección de la velocidad V y otro vector unitario n ortogonal al anterior en sentido hacia la izquierda de t . El radio de curvatura R (o la curvatura $K=1/R$) es positivo si el centro de curvatura (y de presión) está en el sentido de n . En este sistema la ecuación dinámica que expresa el equilibrio de las tres fuerzas, proyectando estas sobre $-n$, es:

$$\frac{V^2}{R} + fV - fV_g = 0 \quad (1)$$

En (1) la fuerza de presión se ha expresado en función del viento geostrófico V_g correspondiente; este término puede ser bien positivo (fuerza de presión hacia n), bien negativo. En cambio la velocidad V debe ser siempre positiva por la definición de t en el sistema intrínseco. Resolviendo la ecuación cuadrática en V (1) se obtiene la solución:

$$V = -\frac{fR}{2} \pm \left(\left(\frac{fR}{2} \right)^2 + fRV_g \right)^{1/2} \quad (2)$$

Las posibilidades que se pueden dar son 8: dos por el signo de R , dos por el signo de V_g y dos por el signo del radical

en (2). De estas 8, como se dijo, quedan 4 con realidad física tras exigir que $V > 0$ y que la raíz debe ser real.

Como se ve, con el anterior esquema hay que analizar 8 posibilidades, lo que es un tanto prolijo. Además, la intuición rápida del tipo de solución se ve entorpecida por el hecho de que R puede ser positiva (con el centro de presiones a la izquierda del viento) o negativa (con el centro de presiones a la derecha), mientras que preferiríamos situarnos mentalmente en una posición fija respecto al centro de presiones y razonar todo ahí, me parece a mí.

Sin embargo resulta que la discusión se puede simplificar eliminando de entrada posibilidades no físicas al permitir $V < 0$, y además facilitar la intuición fijando el signo de R . Esto se consigue tomando un vector unitario j dirigido desde la partícula hacia el centro de giro y otro unitario i perpendicular al anterior y hacia la derecha, pero ahora V puede ser positiva o negativa. Por tanto ya no son coordenadas intrínsecas. Como el centro de presiones está siempre hacia j , tenemos que $R > 0$. Podemos comprobar que la ecuación dinámica, obtenida proyectando las fuerzas sobre $-j$, sigue siendo (1): ahora el término de Coriolis variará de signo acorde con el de V , lo que es coherente, pero el término centrífugo siempre es positivo ($V^2 > 0$) lo que es coherente con que el centro de curvatura está siempre hacia j .

La ventaja en el análisis es que ahora no hay que exigir, después de resolver en (2), que V sea positiva; solo hace falta exigir, como antes, que la raíz sea real. Obtenemos directamente las 4 combinaciones físicas con tan solo considerar los signos de V_g y del radical de (2). Para interpretar los resultados se comprueba fácilmente que $V > 0$ ($V < 0$) corresponde a giro ciclónico (anticiclónico) y que $V_g > 0$ ($V_g < 0$) corresponde a centro de baja (alta) presión. Recordemos además que el flujo se denomina bórico si la fuerza de Coriolis y la de presión se oponen (V y V_g con el mismo signo) y antibórico en caso contrario.

Los casos que pueden darse se resumen en la tabla siguiente:

¹ En lo que sigue supongo que estamos en el hemisferio norte, para el hemisferio sur hay que hacer los cambios habituales.

Vg > 0 Baja	Raíz siempre real	(+) en radical	V > 0, giro ciclónico	Baja normal (bórica)
	Raíz siempre real	(-) en radical	V < 0, giro anticiclónico	Baja anómala (antibórica)
Vg < 0 Alta	Vg α f R/4	(+) en radical	V < 0, giro anticiclónico	Alta normal, flujo bórico
		(-) en radical	V < 0, giro anticiclónico	Alta anómala, flujo bórico, V mayor que en caso anterior.