

Algunas consideraciones dinámicas de la atmósfera Vorticidad, Advección de vorticidad y forzamiento dinámico (y II)

RAM

RAM. El número de Octubre, RAM-4, se dieron las nociones básicas de vorticidad, advección y advección de vorticidad. Te remitimos al anterior número de la RAM para que leas estos conceptos que NO serán explicados aquí.

La realidad atmosférica es muy compleja: aproximación cuasi geostrófica y términos de forzamiento dinámico cuasi geostrófico

Cuando nos enfrentamos a las ecuaciones que gobiernan a la atmósfera, la primera impresión es que son ecuaciones muy complejas (ecuaciones en derivadas parciales que no admiten soluciones exactas si queremos resolverlas).

Para comprender los procesos básicos que rigen la dinámica de la atmósfera se suelen hacer unas aproximaciones y suposiciones básicas. Estas suposiciones permiten obtener expresiones físico-matemáticas que son más fáciles de comprender, simular y nos señalan cuales son los mecanismos que controlan a los fenómenos atmosféricos a gran escala o escala sinóptica.

Por el contrario, las suposiciones y simplificaciones limitan los resultados obtenidos ya que la atmósfera resultante es una versión ideal y simplificada de la atmósfera real. Por lo tanto, los resultados, leyes, ... en fin, el tiempo atmosférico asociado que derivemos sólo se pueden dar bajo ciertas condiciones dadas.

Una de las aproximaciones más simples y elegantes es la proporcionada por la teoría cuasi geostrófica. En ella se estudia, se analiza y obtienen unos resultados suponiendo que en la atmósfera cuasi geostrófica (ideal). Esta atmósfera ideal se supone que cumple unas condiciones singulares:

- No existen nubes (atmósfera seca) y fuentes de calor al sistema considerado (atmósfera adiabática).
- No existe rozamiento, por ejemplo, entre el aire y otras superficies (tierra, mar,..)
- El viento y el geopotencial están relacionados por una ecuación muy simple.
- Existe una relación muy simple entre la presión y la densidad del aire (aproximación hidrostática).

Las ecuaciones que gobiernan a esta atmósfera ideal se le denominan ecuaciones cuasi geostróficas, o de forma abreviada ecuaciones o leyes QG, ver figura siguiente. En estas condiciones, y en una a primera aproximación, se demuestra que las velocidades verticales a un nivel dado dependen de dos términos llamados de **forzamiento dinámico cuasi geostrófico**. Como a partir de ahora solo nos vamos a mover y referir a la aproximación QG, eliminaremos este término de las expresiones, por simplicidad, aunque siempre lo deberemos tener en mente.

$$\nabla^2(\sigma\omega) + f_0^2 \frac{\partial^2 \omega}{\partial p^2} = -f_0 \frac{\partial}{\partial p} (-V_g \cdot \nabla \zeta_g) - \frac{R}{p} \nabla^2 (-V_g \cdot \nabla T)$$

Términos de forzamiento dinámico

W

1° (AV)

2° (AT)

(1)

Ecuación omega QG que liga los movimientos verticales, ω y expresión de la izquierda, en la atmósfera con los dos términos de forzamiento, derecha. Ver texto para detalles. La expresión inferior es la de tipo conceptual que vamos a manejar.

La forma conceptual y más simple de esta expresión es:

(1) La velocidad vertical, ω , está relacionada con la advección de vorticidad (AV) y la advección de temperatura (AT)

Donde ω representa los movimientos verticales ascendentes o descendentes. Recuerda que la ecuación, con la aproximación NO FORMULISTA que estamos siguiendo, es conceptual y debe leerse como:

Lectura de la ecuación "1":

La velocidad vertical en una zona amplia de la atmósfera, y en primera aproximación, se debe fundamentalmente a dos términos: a la advección de vorticidad y de temperatura. Allí donde ambos términos de la parte derecha contribuyan positivamente existirán condiciones para ascensos verticales y si contribuyen negativamente existirán descensos. Existe ambigüedad en el tipo de movimiento cuando ambos términos son de signo opuesto.

Estrictamente hablando, y según la ecuación "1", las velocidades verticales (recuerda: cuasi geostróficas) están relacionadas con la variación de advección de vorticidad con la altura y con el máximo de advección de temperatura.

Como el viento crece, normalmente, con la altura lo que se suele tomar es la advección a un nivel y se supone (en muchos casos es cierto) que en niveles superiores el viento es mayor y también la advección de vorticidad, o sea, en general al crecer la advección con la altura, tomaremos en la ecuación "1" sólo el término de advección de vorticidad en un nivel. Lo mismo ocurre con el segundo término advectivo: aunque deberíamos buscar en los mapas las zonas de máxima advección térmica, usaremos la aproximación más simplista y tomaremos solo las zonas de advección de temperatura.

Los dos términos de la derecha de la ecuación omega QG se les denominan términos de forzamiento dinámico cuasi geostróficos, o en nuestro caso, términos de forzamiento dinámico.

Tienen esa terminología porque son términos ligados a magnitudes dinámicas. Son cuasi geostróficos pues se derivan de hacer unas suposiciones llamadas cuasi geostróficas, QG.

Para analizar la ecuación conceptual debemos analizar cada una de los términos por separado. De hecho es lo que se realiza en las labores de predicción operativa.

Término de forzamiento dinámico de advección de vorticidad, AV

El primer término de la ecuación es el término de advección de vorticidad a un nivel dado, digamos 500 hPa. Si el segundo término es cero o lo hacemos cero, **la ecuación anterior nos dice que existirán movimientos ascendentes generalizados en la atmósfera, siempre que exista una advección positiva de vorticidad a gran escala.** Delante de las vaguadas (zonas ricas en vorticidad) tendremos una zona donde habrá una advección de vorticidad, por lo tanto, una zona proclive a los ascensos.

Vemos el porqué, con un ejemplo conceptual. Cuando un patinador gira sobre si mismo, el giro será mayor siempre haga converger sus brazos sobre su cuerpo, estirándolos hacia arriba o recogidos. Va ganando

vorticidad y para ello debe converger o cerrarse sobre si mismo.

Por lo tanto, y en una primer aproximación, podemos asimilar que en la mayoría de los niveles:

Advección de vorticidad positiva a convergencia y, por ende, a ascencias.

Lo contrario tenemos para las advecciones negativas/divergencia/descendencias.

Hacemos notar que esta aproximación es valida cuando el segundo término de advección térmica es cero o despreciable.

Estrictamente hablando, y volviendo a la ecuación "1", para que existan movimientos ascendentes debe existir una capa atmosférica donde la advección de vorticidad crezca con la altura. Este hecho es muy común en el flujo de los oestes de latitudes medias, al crecer el viento con la altura, también crece la vorticidad y su advección. Por lo tanto, basta tomar un mapa a un nivel dado para obtener la advección de vorticidad, ya que se supone que en un nivel superior es mayor la advección. En meteorología se suele trabajar con el mapa de advección de vorticidad en 500 ó 300 hPa para analizar la influencia de ese término.

Allí donde las corrientes ascendentes se acoplen en diferentes niveles tendremos zonas generalizadas de ascensos. Existirá un nivel por debajo de la tropopausa donde el viento no pueda ascender más por existir una "tapadera" (la tropopausa) que impida su ascenso, en ese nivel se produce la difluencia del viento.

La figura adjunta reproduce, esquemáticamente, lo que hemos comentado. Los máximos de vorticidad en niveles bajos-medios, asociados a una vaguada, generan zonas de advección de vorticidad en su parte delantera, que a su vez producen movimientos ascendentes acoplados (líneas en rojo). Los ascensos pueden generar caídas de presión en superficie o reforzar a una baja pre existente, L, donde convergen los vientos. En niveles altos y cercanos a la tropopausa el aire ascendente se ve impedido a seguir ascendiendo y diverge. Los mapas de vorticidad y advección de vorticidad en 500 hPa son muy usados para analizar el papel del primer término de forzamiento dinámico QG.

Lo contrario ocurre en las dorsales o altas presiones, ya que son zonas de máximos de vorticidad negativa o anticiclónica. Para el hemisferio norte y delante de una dorsal existirá advección de vorticidad negativa o anticiclónica y, por lo tanto divergencia y descendencias. El limite inferior que impide las descendencias, suele ser la superficie terrestre; en estas condiciones de forma una zona de altas presiones, H, en la figura, con flujos divergentes.

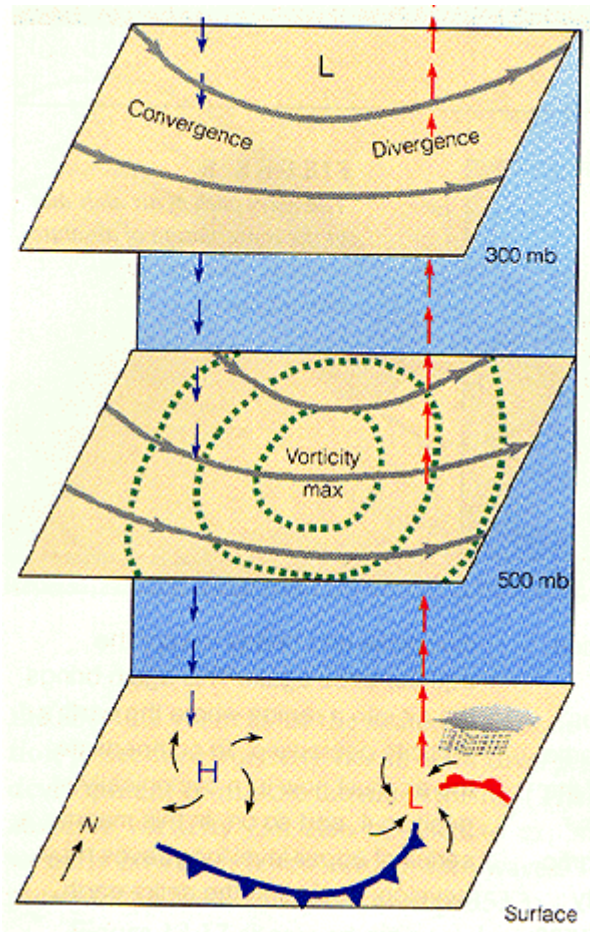
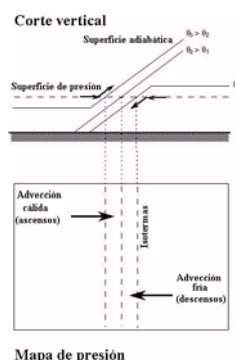


Figura conceptual donde se muestra la relación entre la vorticidad, advección de vorticidad (1º término de forzamiento dinámico QG), corrientes verticales y estructuras de altas y bajas en superficie.

Término de forzamiento dinámico por advección de temperatura, AT

La advección de temperatura es el segundo término de forzamiento de la ecuación dinámica QG, "1". Si hacemos cero la advección de vorticidad, sólo tendremos la contribución de este término. De la ecuación "1" tenemos que, **allí donde existe una advección positiva de temperatura, podrán existir corrientes ascendentes**. De nuevo, recordar que, realmente debe ser la zona donde se produzca el máximo de advección térmica positiva según "1".

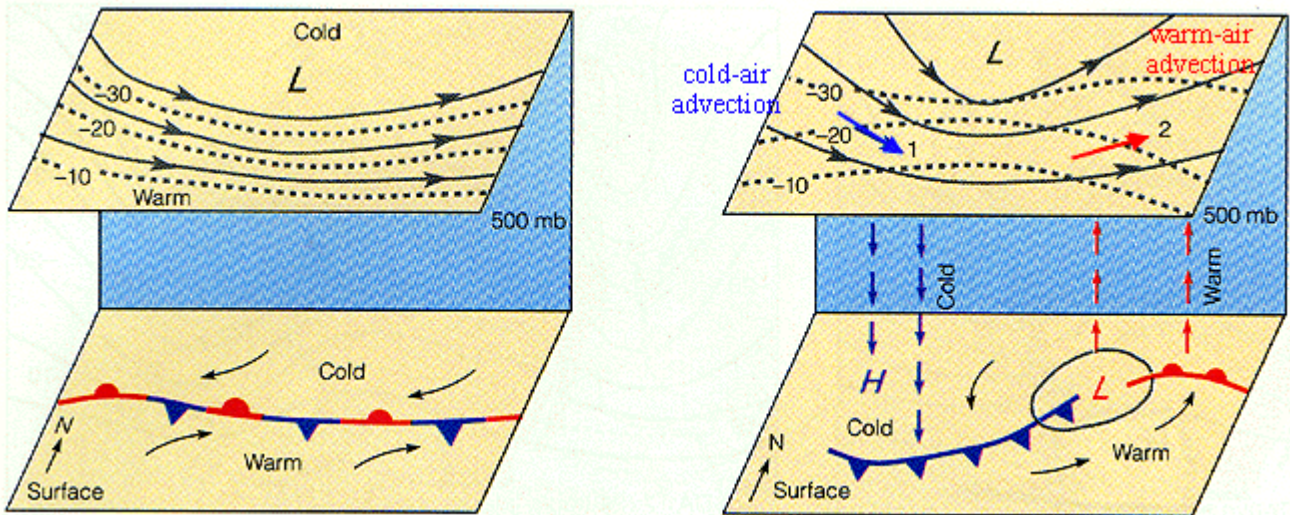
Intuitivamente podemos pensar que allí donde el aire que llega sea más cálido, pesará o será menos denso, por lo tanto, tenderá a ascender. Una imagen más clara se tiene al considerar las superficies adiabáticas de la misma forma que consideramos a las de presión. Como las partículas de aire se mueven sin recibir calor (flujo adiabático), el flujo aéreo se verá obligado a moverse por las superficies ideales llamadas adiabáticas. Una propiedad de estas superficies es que suelen estar muy inclinadas y con temperaturas potenciales crecientes, como se observa en la figura adjunta.



Distribución y relación básica entre las superficies de presión, P en hPa, y las adiabáticas θ en $^{\circ}K$. Estas suelen ser más inclinadas que las de presión. Una

Cuando el aire cálido es adveccionado desde una superficie de presión, sin recibir o desprender calor, entonces se ve obligado a permanecer en la misma superficie adiabática θ donde estaba, de manera que va encontrando en nuevas y decrecientes superficies de presión, o lo que es lo mismo: asciende. Lo contrario ocurre para las advecciones frías, el aire se ve forzado a ocupar presiones cada vez más altas en su movimiento y descende.

En la figura siguiente vemos los efectos conceptuales de la advección térmica para el caso de un sistema de bajas y frentes asociados.



Figuras conceptuales asociadas a la advección térmica y ascensos y descensos

Allí donde la advección es cálida, aun nivel dado, figura de la derecha, se generan ascensos. Por el contrario, en las zonas de advección fría se generan descensos.

En la figura de la izquierda, la advección térmica es nula y no hay ascensos y ni descensos de origen térmico.

Hasta ahora hemos analizado los dos términos por separado, haciendo el otro cero o nulo. Pero la realidad no es esa, los dos coexisten sumando o restando sus efectos.

Términos de forzamiento QG combinados: errores muy comunes

Zonas de forzamiento dinámico QG positivo son áreas donde existen velocidades verticales QG ascendentes generadas por los dos términos de la ecuación "1". Los dos términos de forzamiento dinámico QG son la AV y AT. Normalmente se suelen calcular estos términos a uno o dos niveles. Allí donde ambos sean:

- Positivos (negativos) existirán corrientes ascendentes (descendentes) a nivel sinóptico o general.
- Cuando uno sea de signo contrario al otro, tendremos cierta ambigüedad a la hora de estimar la dirección e intensidad de las corrientes ascendentes.

Siempre se deben considerar los dos términos de forzamiento dinámico. Por lo tanto, **no se puede inferir, por ejemplo, que:**

- Zonas de Advección de vorticidad positiva o ciclónica = corrientes ascendentes o
- Zonas de advección de temperatura positiva = corrientes ascendentes.

Es muy común pensar que la advección de vorticidad o de temperatura "siempre" lleva asociado movimientos ascendentes. Los dos términos contribuyen al forzamiento dinámico QG. Este hecho dificulta su aplicabilidad práctica, sobre todo cuando uno es positivo y el otro es negativo sobre la misma área de interés.

A nivel operativo, los predictores analizan los campos de advección de vorticidad en 500 hPa y los de advección de temperatura en 850 y 700 hPa. En muchas situaciones, que los predictores pueden reconocer por

su experiencia, se tiene que las máximas contribuciones a movimientos verticales provienen del primer término (AV). En otras provienen del segundo término (AT). Pero hay que enfatizar que ambos contribuyen al forzamiento dinámico total. Vemos que las corrientes verticales es un problema tridimensional, para un instante dado.

Otro hecho a considerar pero que no hemos demostrado aquí es que:

Cuando el entorno sinóptico es inestable (estable) la efectividad de los términos de forzamiento aumenta (disminuye). O sea, una zona donde existe advección de vorticidad y de temperatura positivas, tenderá a generar más intensas corrientes ascendentes si la estabilidad es baja.

Aunque las aproximaciones QG son algo restrictivas, su aplicabilidad es bastante aceptable ya que la atmósfera real, en primera aproximación y a gran escala, se comporta como la atmósfera QG.

No podemos aplicar estos resultados en zonas muy próximas al suelo (alta turbulencia y rozamiento), áreas de montaña, a regiones puntuales (no tiene sentido decir que si sobre Barcelona ciudad existe advecciones positivas de vorticidad y temperatura, entonces habrá movimientos verticales), etc.

Otros términos de forzamiento no dinámicos cuasi geostróficos

Existen otros mecanismos de forzamiento (favorecedores o generadores de corrientes verticales) en la atmósfera. Hemos señalados dos muy importantes desde el punto de vista dinámico y teniendo en cuenta la teoría cuasi geostrófica: la advección de vorticidad y temperatura de forma combinada. Existen otros, como son:

- Procesos diabáticos o de liberación de calor
- De carácter orográfico
- Convergencias
- Procesos de fricción
- Micro frentes de racha de tipo convectivo
- Otros

Esperamos que con estos dos artículos hayan quedado claros los conceptos de vorticidad, advección de vorticidad y temperatura, forzamiento dinámico QG y los términos que contribuyen a dicho forzamiento.

Este documento responde a la pregunta de "Rayo" a la RAM:

"Hola, me gustaría que en el próximo número de la RAM o en siguientes, si no es posible, se hiciera un artículo explicando los conceptos de **Vorticidad y Advección de Vorticidad** (potencial, geostrófica ...), que tan importantes son a la hora de las predicciones, sobre todo a partir de estas fechas con la llegada de importantes perturbaciones por el W y SW de la Península. Si es posible, sería de agradecer que se empleara lo menos posible el formulismo matemático y se hiciera más hincapié en los conceptos meteorológicos.

Por otra parte, dada la frecuencia con la que hablamos en el foro del concepto **Forzamiento Dinámico**, me gustaría que se nos aclarase lo mas simplemente posible, en que consiste, pues más de uno hacemos referencia a él con demasiada alegría (servidor el primero), sin tener claramente en mente lo que significa. "

ram@meteored.com