

## Algunas consideraciones dinámicas de la atmósfera

### Vorticidad, Advección de vorticidad y forzamiento dinámico

#### (I parte)

#### Redacción de la RAM

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.** *Lo que nos pide no es fácil de explicar sin estar acompañado o soportado por formulas de la dinámica de fluidos y conocimientos básicos de esta rama de la física, pero en fin lo intentaremos. Trataremos de explicarlo conceptualmente, con todas las limitaciones que esto conlleva. Dividiremos estas explicaciones en dos apartados. En este número os entregamos la primera parte, ya que suponemos que podría ser largo, tedioso y aburrido una explicación de todo lo que nos pide. Por simplicidad, suponemos que estamos en el hemisferio norte.*

### 1.- El concepto de vorticidad

Extiende el brazo y la palma de tu mano derecha de forma que el dedo gordo mire hacia arriba. Cierra los dedos de tu mano sobre si mismos girándolos. Los dedos describen o realizan un giro en sentido contrario a las agujas del reloj: decimos entonces que estamos realizando un giro "ciclónico" de tus dedos. La vorticidad sería una medida teórica y vectorial relacionada con la intensidad y sentido del giro. Tu dedo gordo nos da la dirección y sentido de dicha medida. Recuerda, la vorticidad es un vector. Supongamos que tu dedo gordo (que representa el vector vorticidad) puede estirarse (alargarse o contraerse). Si cierras los dedos de tu mano de forma más rápida, tu dedo gordo se haría más grande (si suponemos que mide vorticidad), señalando la misma dirección y sentido. Si inclinas tu mano, y con ello todos los dedos, y realizas el mismo proceso verás que el vector vorticidad/dedo gordo se orienta de diferente manera. Pues bien, en un fluido, como lo es el aire, la vorticidad es una medida vectorial que caracteriza a la rotación que experimenta y a la que está sometido el fluido.



Rotaciones, en rojo, y sentido de la vorticidad, flecha negra, en los fluidos: caso ciclónico

Si ahora repites el proceso pero con el dedo gordo de la mano derecha mirando hacia abajo con los dedos extendido y los cierras, entonces las puntas de los dedos giran en sentido de las agujas del reloj: has descrito un movimiento llamado anticiclónico. El dedo gordo también señala la dirección e intensidad de ese giro. En ambos casos has generado vorticidad por curvar tus dedos o, simplemente, **vorticidad por curvatura**.

Un proceso parecido puede realizarse cuando colocas entre tus dos palmas extendidas de tus manos un lápiz. Pon el lápiz mirando hacia arriba y ahora desliza la palma derecha sobre la izquierda, o sea la primera se desplaza hacia delante y la izquierda déjala quieta o tráela hacia ti. Estas generando un giro manual (se verá más adelante que es por cizalladura de tus manos) y el lápiz gira con la intensidad o rapidez que le imprimas a tus manos al desplazarse una sobre otra. Estás generando **vorticidad por cizalladura** entre tus manos.

La vorticidad no se mide con un aparato (no existe el vorticiómetro) como se puede medir la temperatura. Es una propiedad intrínseca e ideal de un fluido que se desplaza y/o rota, muy útil en meteorología. **Tomaremos como positiva la vorticidad ciclónica (giros contrarios a la aguja del reloj) y como negativa las anticiclónicas (giros que lleven la dirección de las agujas del reloj), por convenio.**

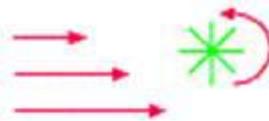
Las rotaciones en los fluidos se pueden generar por giros puros (dedos que se cierran sobre si mismo), o por curvatura, y por variación de la velocidad con la distancia o por cizalladura (manos que se frotan una con la otra). En la atmósfera se pueden dar los dos casos. Por ejemplo en la bajas cerradas predomina la curvatura y en la zona de máximos de viento predomina la cizalladura.

## Tipos de vorticidad:

### (a) Por curvatura



### (b) Por cizalladura

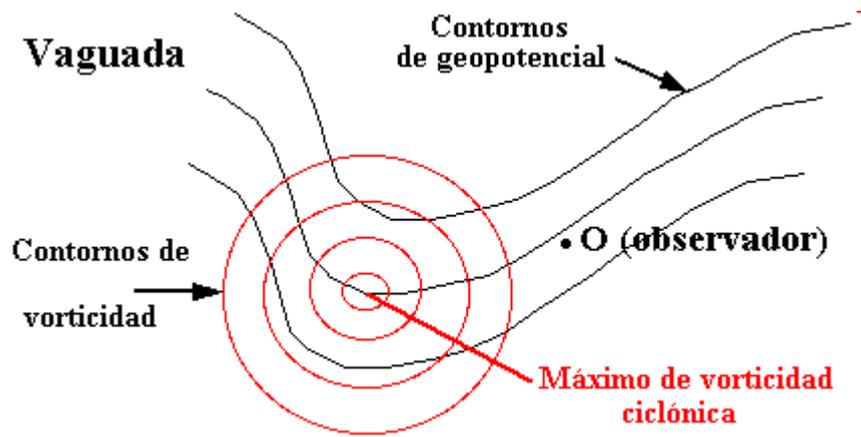


Generación de vorticidad ciclónica en los fluidos: a) por curvatura y b) por cizalladura.

En meteorología, el análisis de las circulaciones en un mapa de presión (por ejemplo en 500 hPa), ciclónicas y anticiclónicas son muy importantes. En este caso sólo tendremos que fijarnos en la componente vertical del vector vorticidad, asociado a ese fluido. Este es un término muy importante como veremos más adelante. Al ser **una** componente vertical se puede representar de forma plana en un mapa: tenemos los llamados "mapas de vorticidad a un nivel dado". Los más útiles son a 500 y 300 hPa.

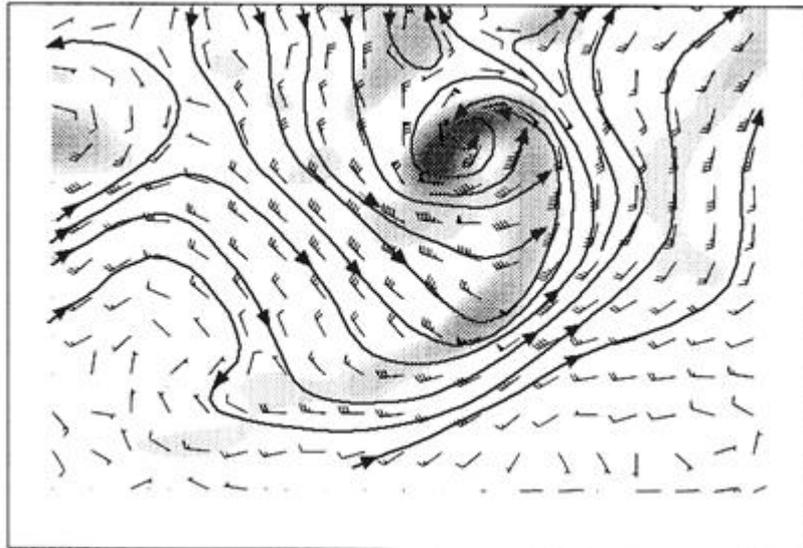
Con este concepto de vorticidad, una depresión en superficie, una baja o vaguada en 500 hPa, donde las partículas del aire a esos niveles describen circulaciones ciclónicas (no hace falta que este cerrada en altura) serán zonas donde existan máximos de vorticidad ciclónica (valores positivos). Lo contrario ocurre con las altas y anticiclones: son zonas ricas en vorticidad anticiclónica (valores negativos).

De lo comentado hasta ahora, **una vaguada en altura** sería, con esta definición, **una zona rica en vorticidad ciclónica o vorticidad positiva. Una dorsal lo sería en vorticidad anticiclónica o negativa.**



Una vaguada, digamos a 500 hPa, es una zona rica en vorticidad ciclónica. Si el sistema se desplaza de oeste a este, un observador, O, vería como aumenta la vorticidad ciclónica en su zona con la llegada de la vaguada.

Resumiendo, **la vorticidad es una medida vectorial de la rotación local en un fluido**. En la predicción y análisis del tiempo atmosférico, nos referimos a la componente vertical de la rotación. Esta medida es útil en los sistemas de tiempo sinóptico y mesoscalar. Por convenio (en el hemisferio norte) valores positivos van asociados a rotación ciclónica, girando en sentido opuesto a las agujas del reloj. Las rotaciones pueden tomar valores positivos (vorticidad ciclónica) o negativos (vorticidad anticiclónica). Esa vorticidad es relativa a las rotaciones propias del fluido. Pero las partículas de aire además rotan cuando lo hace la Tierra. ¿Qué pasa entonces?.

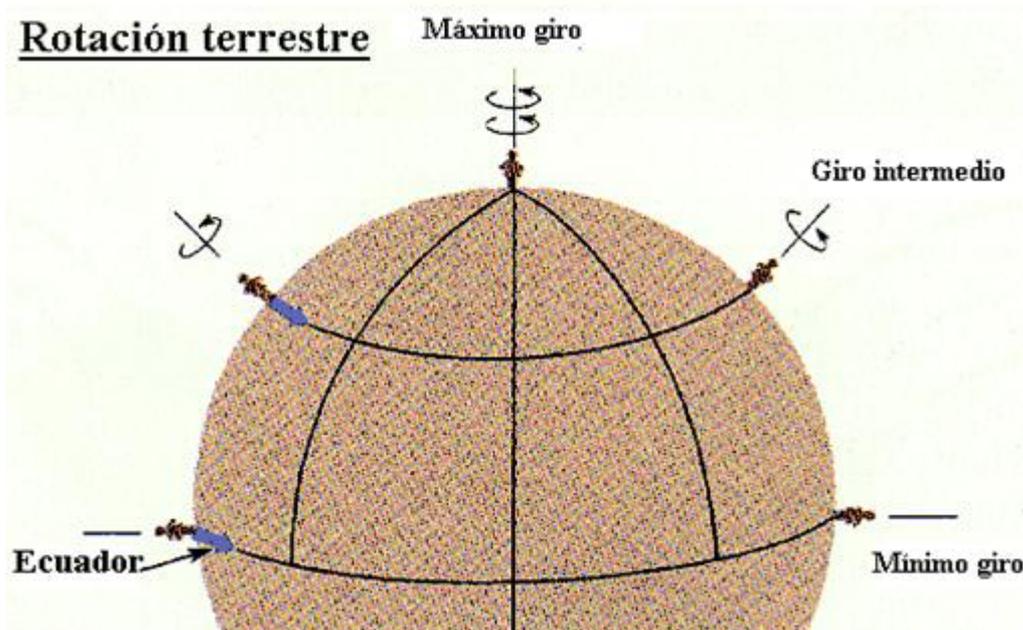


Vientos a un nivel dado y zonas de vorticidad ciclónica positiva, sombreada, según la intensidad de vorticidad. Las vaguadas presentan máximos relativos de vorticidad ciclónica positiva, tanto más cuanto más intenso sea el viento. Figura adaptada de C. Doswell III.

### La Tierra rota: vorticidad terrestre o planetaria

Al girar la Tierra sobre si misma, cualquier elemento que se encuentre sobre ella realizará un giro, por lo tanto, la Tierra le estará transmitiendo **una vorticidad de rotación terrestre** o planetaria que depende de la latitud: el aire en latitudes altas rota más rápidamente que si se sitúa en el ecuador. Estrictamente hablando, es el llamado parámetro de Coriolis:  $2 w \sin \varnothing$ , donde  $w$  es la velocidad angular de la Tierra y  $\varnothing$  la latitud.

Es fácil observar que la vorticidad de la Tierra es máxima en los Polos ( $\varnothing=90^\circ$ ) y cero en ecuador ( $\varnothing=0$ ).



Vorticidad terrestre y su variación latitudinal

### Vorticidad absoluta

A la suma de la vorticidad relativa del aire más la vorticidad terrestre se le denomina vorticidad absoluta.

### 2.- El concepto de advección

La advección es sinónimo de transporte de una propiedad atmosférica por el viento. De esta forma, por ejemplo y para fijar ideas, podemos tener advección cálida o fría sobre un lugar. De la misma manera se puede hablar de advección de humedad, vorticidad, etc... **En la predicción del tiempo el término de advección está referido al transporte de una magnitud dada por la componente horizontal del viento.** El concepto de advección es más intuitivo que el de vorticidad. Veámoslo.

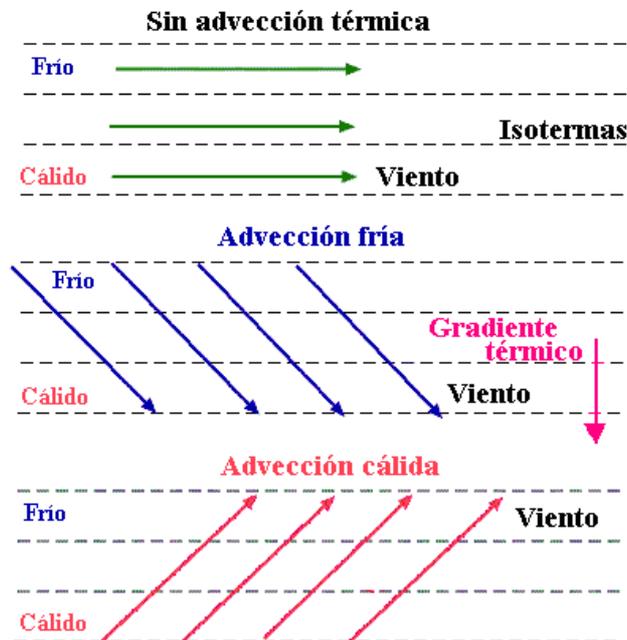
Sobre una superficie plana extendemos pajitas redondas (similar a las que usamos para absorber zumos o líquidos) en paralelo unas con otras, muy largas y separadas por una distancia,  $d$ . Algo más lejos no tenemos nada. Si soplamos con delicadeza, y perpendicularmente a la dirección de las pajitas, éstas se moverán. Un observador situado en un lugar donde no hay pajitas verá que éstas se desplazan hacia él. Instante después, pasarán sobre él. El número de pajitas que se le echa encima dependerá de la velocidad del viento del soplo y del número de pajitas que hayamos colocado por unidad de distancia (es lo que llamamos como " el gradiente de pajitas").

Si soplamos en la misma dirección en la que están orientadas las pajitas, éstas, teóricamente, no se moverán y, por lo tanto, un observador alejado de la zona no verá y sentirá la llegada de ellas: están quietas. Podemos decir que la advección o transporte de una propiedad determinada, en este caso de pajitas, dependerá de:

- De la intensidad del viento
- De la distribución espacial de lo que se vaya a transportar. A mayor concentración de pajitas por unidad de distancia, mayor será lo que se va a transportar. A esa distribución de una magnitud dada por unidad de espacio o distancia se le denomina el gradiente de dicha magnitud. El vector gradiente señala la dirección donde esa variación espacial es mayor y el sentido es hacia los valores mayores o positivos.
- De la distribución espacial del viento - magnitud a advectar. O sea, si el viento tiene la misma dirección que el gradiente de pajitas, entonces la advección es máxima, si el viento es perpendicular a la dirección del gradiente, la advección es cero. Ver figura adjunta sobre advección térmica para fijar ideas.

## Advección térmica

Un caso especial de advección es cuando la magnitud a adveccionar es la temperatura. Sustituye las pajitas por isotermas. Para fijar ideas, toma un mapa de 850 hPa (esta idea vale para cualquier nivel o mapa que contenga isotermas) donde estén dibujadas las isotermas. Toma un punto de una isoterma y dibuja la dirección del gradiente térmico. Para ello, basta trazar un vector perpendicular a la isoterma en dicho punto y dirigido a las temperaturas mayores o crecientes. Y ya está. Cuando las isotermas se apelmazan en un sitio, se dice que el gradiente aumenta. El vector gradiente siempre señala hacia las temperaturas crecientes.



Advecciones dadas a un nivel determinado, según la orientación de las isotermas y del viento reinante a dicho nivel. El gradiente térmico es un vector que va dirigido en el sentido de las temperaturas más cálidas

Ahora toma el campo de vientos en 850 hPa y dibuja los vientos sobre el punto de la isoterma considerada. Cuando más intenso y perpendicular sea el viento a las isotermas, más advección tendremos. La advección es cálida si sobre el punto considerado llega o es transportado aire más cálido y es fría en sentido contrario. Los puntos donde el viento es paralelo a las isotermas (o perpendicular al gradiente térmico) tendrá advección térmica cero.

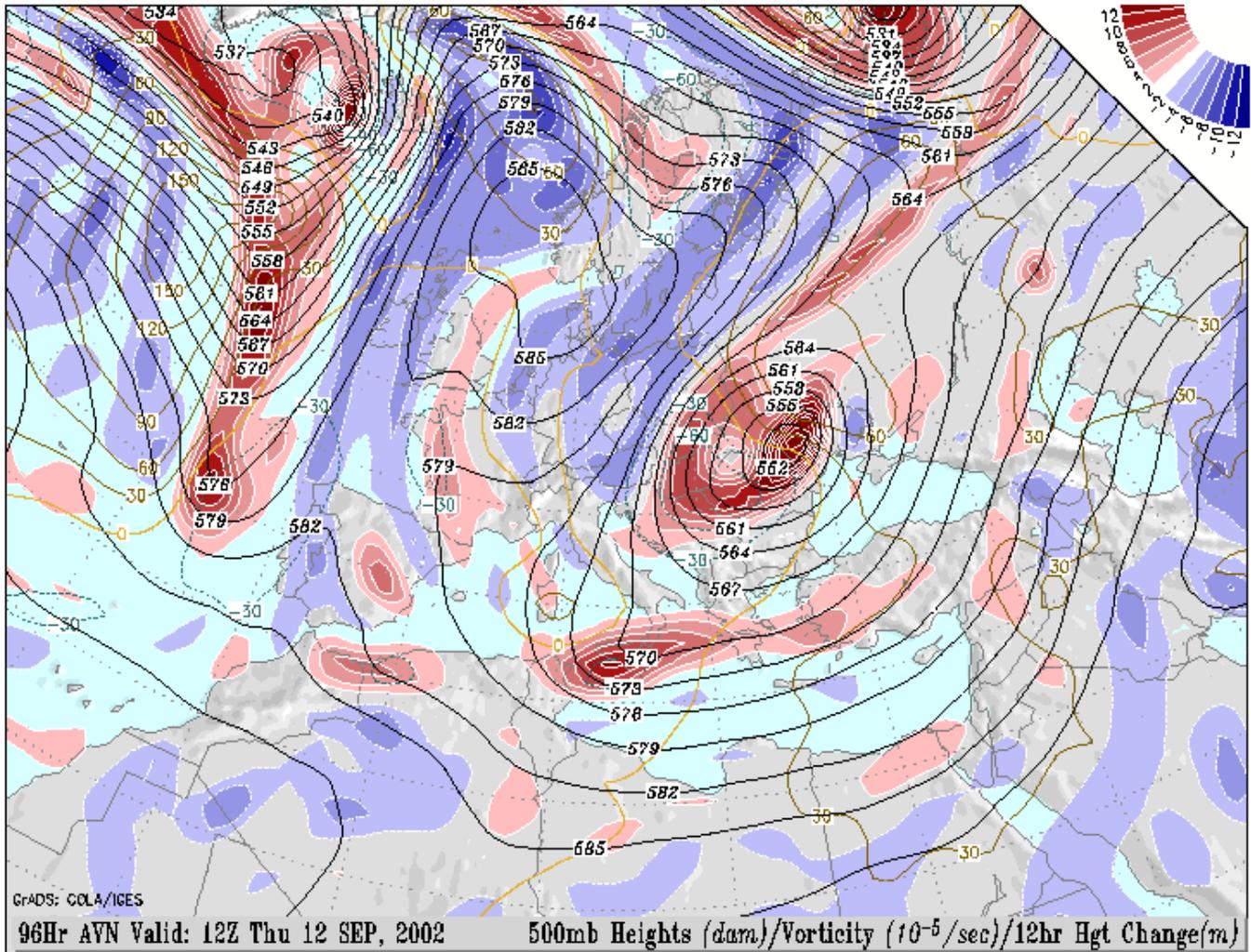
De la misma forma podemos analizar la advección de humedad, sin más que cambiar las isotermas por isolíneas de humedad.

## Advección de vorticidad

Aunque la vorticidad (absoluta o relativa) no es una magnitud medible como lo es la temperatura, si podemos emplear los conceptos anteriores de advección. De esta forma un observador que este por delante de una vaguada, pero alejado de ella, verá o sentirá como va aumentando la vorticidad ciclónica cuando la vaguada (que no es más ni menos que una zona de máximo de vorticidad ciclónica). Si ese observador se sitúa a 5500 m. de altura estará sobre los 500 hPa. y por lo tanto se podrían obtener las mismas consideraciones anteriores: una vaguada en altura es una zona rica en vorticidad ciclónica, un observador que "ve" aproximarse una vaguada en altura sentiría como existe una advección de vorticidad ciclónica a dicho nivel. En el próximo capítulo veremos cómo se manifiesta realmente este hecho.

Como en condiciones generales y en latitudes medias, el viento y las vaguadas son más intensas en altura, tenemos otra propiedad muy importante y que en términos generales podría decir así: a medida que nos elevamos con la altura (las presiones son menores) en una zona de vaguada, la vorticidad suele crecer (el giro o rotación ciclónica se hace más intenso) con la altura en la troposfera y de la misma forma la advección de vorticidad se intensifica con la altura.

Estos dos conceptos, vorticidad y advección de vorticidad, son muy importantes de cara a lo que vamos a comentar en el segundo apartado de este trabajo.



Mapa de geopotencial, en línea continua, y de vorticidad en 500 hPa. Zonas de colores cálidos o rojos representan áreas donde existe vorticidad ciclónica (por curvatura o cizalladura) y positiva. Zonas en colores fríos o azules representan áreas anticiclónicas o con valores negativos de vorticidad. La vorticidad se mide en  $\text{seg}^{-1}$ .

Las zonas de vaguadas bien definidas poseen vorticidad ciclónica por curvatura, predominantemente. Las zonas ligadas a los chorros poseen vorticidad ciclónica en su lado polar por cizalladura. Lógicamente, delante de una vaguada existe una zona de advección ciclónica positiva o simplemente advección positiva de vorticidad, o sea, un observador verá que aumenta la vorticidad con el tiempo al aproximarse la vaguada.

Si no has entendido lo que hemos escrito hasta aquí, te recomiendo que vuelvas al principio.

**En el próximo número hablaremos de cómo estos términos están relacionados con el forzamiento dinámico, las velocidades verticales y caídas de presión en superficie.**

[ram@meteored.com](mailto:ram@meteored.com)