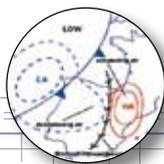




## MIRANDO UN MAPA



En esta sección proponemos en cada entrega un mapa con objeto de resaltar la información que pueda contener. Si se tratara de mapa climatológico de una o varias variables obtenido de un atlas de reanálisis, el objetivo sería señalar sus aspectos más relevantes para la circulación general. Si se tratara de un mapa de predicción estacional el objetivo sería la interpretación probabilística. Si se tratara de mapas de integraciones climáticas de corto plazo (decadales), o de largo plazo (seculares), en su interpretación pesarían la variabilidad climática natural y los escenarios, ...

# Función de corriente y potencial de velocidad en 200 hPa

JOSÉ MARÍA SÁNCHEZ LAULHÉ

**E**n esta ocasión miramos los mapas medios, para los periodos diciembre a febrero (DEF), y junio a agosto (JJA), de la función de corriente y del potencial de velocidad en 200 hPa, que aparecen combinados en el Atlas ERA 40 del Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio (figura 1)

Como vimos en la entrega anterior dedicada a los campos de viento divergente y vorticidad absoluta en 200 hPa, el campo de viento horizontal puede ser dividido en una parte no divergente (rotacional o solenoidal) y otra divergente (o irrotacional). El primero está relacionado a la función de corriente,  $\psi$ , y el segundo al potencial de velocidad,  $\chi$ .

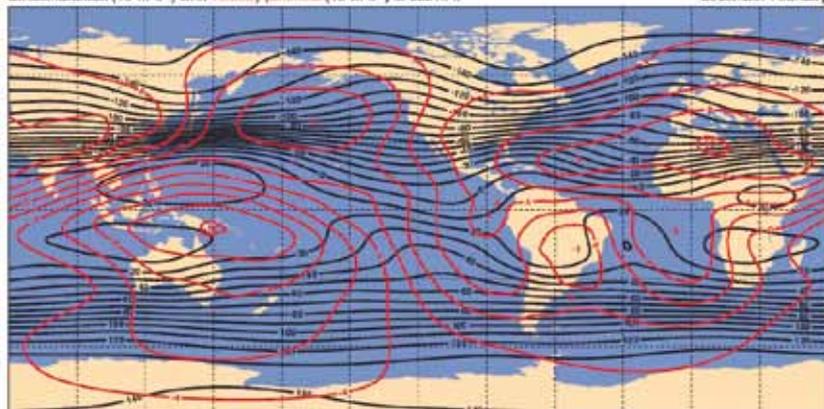
$$\vec{v} = \vec{v}_\psi + \vec{v}_\chi = \vec{k} \times \nabla \psi + \nabla \chi,$$

La componente solenoidal del viento,  $\vec{v}_\psi$ , es mucho mayor que la irrotacional,  $\vec{v}_\chi$ , aunque no contribuye al movimiento vertical atmosférico. El viento es fundamentalmente no divergente y está muy bien determinado por la función de corriente. Su dirección es aproximadamente paralela a los contornos de  $\psi$ , su sentido es tal que deja los valores altos de esta función a la derecha, y su intensidad proporcional al gradiente de  $\psi$ , lo que se traduce en los mapas de 200 hPa en un predominio de los vientos *oestes*, salvo en la zona ecuatorial, donde en el invierno boreal el viento es este sobre el continente marítimo y sobre África, y en el verano boreal se extiende a casi toda la zona ecuatorial unido al crecimiento del gran anticiclón de la parte superior de la troposfera asociado al monzón de verano del sur de Asia. La función de corriente  $\psi$  se utiliza frecuentemente en meteorología y oceanografía con preferencia a la altura del geopotencial  $\Phi$ ,  $\psi = \frac{g}{f} \Phi$ , o la presión, en mapas que interesen zonas de latitudes bajas donde el parámetro de Coriolis  $f$  es muy pequeño.

## 1. Los mínimos de la función potencial de velocidad y los monzones

Como  $\nabla \cdot \vec{v} = \nabla \cdot \vec{v}_\chi = \nabla^2 \chi = D$ , siendo  $D$  la divergencia del viento, las zonas de divergencia ( $D > 0$ ) corresponden a mínimos del potencial de velocidad (fuentes del campo de viento), por el contrario zonas de convergencia ( $D < 0$ ) a máximos del campo

Streamfunction ( $10^6 \text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ) with velocity potential ( $10^6 \text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ) at 200 hPa



Streamfunction ( $10^6 \text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ) with velocity potential ( $10^6 \text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ) at 200 hPa



**Campos medios de función de corriente (contornos negros) y velocidad potencial (rojo) en 200 hPa para los meses diciembre-febrero (arriba) y junio-agosto (abajo) Fuente: Atlas ERA 40**

del potencial de velocidad (sumideros). En coordenadas  $p$  el movimiento vertical está relacionado a  $D$  por  $\frac{\partial \omega}{\partial z} = -D$ , siendo  $\omega = \frac{dp}{dt}$ . En 200 hPa (parte superior de la troposfera)  $\omega \approx 0$  y los mínimos del potencial de velocidad corresponden zonas con movimientos verticales en promedio ascendentes ( $\omega < 0$ ) en la troposfera, hallándose los más importantes en los trópicos del hemisferio en verano, asociados a los movimientos ascendentes persistentes provocados por las fuentes de calor de los monzones. Durante las estaciones de verano existe un mínimo predominante sobre el continente marítimo y otro máximo menor en América tropical.

En DEF los mínimos de  $\psi$  en 200 hPa se sitúan en el hemisferio sur (HS), el principal centrado en el este de la isla de Nueva

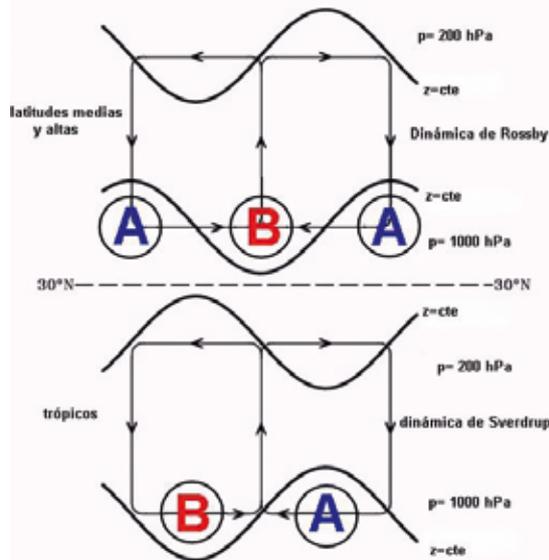
Guinea, y el secundario sobre la Amazonía. Los máximos de  $\psi$  (asociados a movimientos descendentes) en los trópicos se encuentran sobre el este del Pacífico y del Atlántico ecuatoriales. Mínimos y máximos de  $\psi$  sobre los océanos son consistentes con las zonas de aguas cálidas en el Pacífico occidental y Atlántico occidental, y las de aguas frías ecuatoriales en el Pacífico oriental y Atlántico oriental respectivamente y el gradiente de  $\chi$  en dirección zonal entre estos indica el viento divergente, perpendicular a los contornos del potencial de velocidades, que forma la parte superior de las circulaciones de Walker. Por otra parte el gradiente de  $\chi$  perpendicular al ecuador indica el viento divergente que cruza el ecuador del HS al HN constituyendo la rama superior de la célula de Hadley.

En el verano boreal (JJA) los mínimos del potencial de velocidades se desplazan al HN. El mínimo de  $\psi$  sobre la Amazonía del invierno boreal ahora se desplaza a los mares intra-americanos: Pacífico nororiental tropical, golfo de México, Caribe, y Atlántico tropical noroccidental, con temperaturas en su superficie por encima de 28.5° C, y está asociado con las lluvias y la actividad de los huracanes desde el norte de Sudamérica hasta el sur de los Estados Unidos. El mínimo de  $\psi$  centrado en el este de Nueva Guinea del invierno boreal se desplaza al sur de Asia asociado al Monzón, adquiriendo la mayor intensidad, con efectos globales, que se refleja en el mapa de viento divergente que mostramos en el número anterior de la revista. El gradiente de  $\psi$  normal al ecuador se hace más fuerte y cambia de sentido, indicando la reversión e intensificación de la célula de Hadley. También el gradiente zonal sobre el Pacífico tropical aumenta indicando también un fortalecimiento de la célula de Walker. Las líneas de corriente muestran la existencia de un intenso anticiclón centrado en la alta meseta del Tibet que domina la alta troposfera y soporta intensos vientos del este a lo largo y al norte del ecuador desde el Mar del Sur de China al este del océano Atlántico.

## 2. Dinámicas de Rossby y de Sverdrup

La circulación general atmosférica media estacional se puede considerar suma de dos componentes, una simétrica representada por los vientos medios zonales y la otra asimétrica formada por ondas estacionarias. Estas últimas originadas por la orografía y el calentamiento diabático.

Como muestra Chen (2005) el invierno del HN existen dos regímenes diferentes de flujo en la troposfera superior separados por las corrientes en chorro a unos 30° N: uno de las latitudes medias y altas, y el otro de los trópicos. Al norte de las corrientes en chorro existen tres vaguadas principales (dos a lo largo de los litorales orientales de Asia oriental y Norteamérica y la tercera sobre Europa central-Mar Mediterráneo) y tres dorsales principales (a lo largo de la costa Pacífica de Norteamérica, el Atlántico Norte oriental, y Eurasia central). Estos elementos de la circulación asimétrica están acoplados en niveles bajos respectivamente a tres sistemas de bajas presiones principales (la baja de Aleutianas, la baja de Islandia y la vaguada centroeuropea) y tres sistemas de altas principales (en la costa Pacífico de Alaska, en la costa europea occidental, y en el oriente del continente asiático).



**Figura 2: Diagrama esquema de las relaciones entre ondas estacionarias (líneas gruesas sinusoidales) y la circulación este-oeste (líneas finas con flechas) en latitudes medias-altas y en los trópicos. Fuente: Chen (2005)**

En el régimen de los trópicos, al sur de las corrientes en chorro, las vaguadas de latitudes medias se alinean meridionalmente con anticiclones/dorsales tropicales (sobre la región África tropical, Pacífico tropical occidental y

el Atlántico tropical occidental), y las dorsales de latitudes medias se alinean con vaguadas tropicales (sobre el Pacífico y Atlántico orientales y al norte del mar Arábigo). Sin embargo, a diferencia de lo que ocurre en las latitudes media, en los trópicos los elementos principales de la circulación de la baja troposfera están superpuestos por los de características de circulación opuestas en la troposfera alta. En la figura 2 están esquematizados: la relación entre los elementos de las ondas estacionarias de los extratropicos y trópicos en niveles altos (200 hPa) y bajos; y las circulaciones este-oeste que son la parte zonal de la circulación divergente generada por el viento divergente horizontal y el viento vertical.

En los trópicos, donde domina la advección planetaria sobre la advección de vorticidad relativa, la rama superior este-oeste de la circulación divergente coincide con una dorsal (baja/vaguada) en niveles altos (bajos) y las ramas verticales tienen direcciones de viento meridionales contrarios en niveles altos y bajos, siguiendo la relación de Sverdrup,  $\beta v = f \frac{\partial \omega}{\partial p}$ , donde  $\beta$  es el gradiente meridional del parámetro de Coriolis  $f$ , (relación a la que se reduce la ecuación de la vorticidad para un estado estacionario y con advección de vorticidad relativa despreciable frente a la advección de vorticidad planetaria). Así en 200 hPa, en las zonas de ascensos, mínimos de  $\psi$ , los vientos serán de componente norte, con vaguada al este y dorsal/alta al oeste. En niveles bajos de la zona de ascenso el viento será de componente sur con bajas presiones al oeste y altas al este.

Las ondas estacionarias de latitudes medias se estructuran de la siguiente manera: habrá movimientos ascendentes delante de las vaguadas, y movimientos descendentes delante de las dorsales. Los movimientos verticales se mantienen por dos procesos: 1) advección de vorticidad positiva delante de las vaguadas y advección de vorticidad negativa delante de las dorsales de la troposfera alta, y 2) advección de aire cálido al este de los centros de las bajas y advección fría al este de las grandes altas en la baja troposfera.

### Leer más:

- Chen T.C. 2005: The structure and maintenance of stationary waves in the winter northern hemisphere. *J. Atmos. Sci.*, 62, 3637-3660.
- Krishnamurti T. N.: Tropical East-West circulations during the northern summer. *J. Atmos. Sci.*, 28, 1342-1347.
- Rodwell M. J. and B. J. Hoskins, 2001: Subtropical anticyclones and summer monsoons. *J. Climate*, 14, 3192-3211.