

Comunicación AII-13

UN ESTUDIO ESTADÍSTICO SOBRE DEPRESIONES AISLADAS EN NIVELES ALTOS (DANAS) EN EL SUDOESTE DE EUROPA BASADO EN MAPAS ISENTRÓPICOS DE VORTICIDAD POTENCIAL

Ángeles Hernández Carrascal

Servicio de Análisis e Investigación del Clima (INM)

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es estudiar la distribución horizontal y temporal de frecuencias de DANAs. Los datos en que está basado este estudio son los análisis inicializados del CEPPM (00 y 12 UTC) para el período mayo 85/abril 93. El método seguido para la detección de DANAs es en parte objetivo y en parte subjetivo. Los resultados muestran que la variabilidad mes a mes e interanual es considerable, y una tendencia de las DANAs a agruparse en el tiempo. Las áreas geográficas preferidas por las DANAs varían estacionalmente, y las más notables son el sudeste de la Península Ibérica, el mar Tirreno, el norte de África y especialmente la región comprendida entre Gibraltar, Canarias, Madeira y Lisboa.

1. Introducción

Las depresiones aisladas de niveles altos (DANAs) son ciclones en la alta troposfera que se forman en el lado meridional del cinturón principal de los oestes. Con frecuencia la profundización de ondas en los oestes en la alta troposfera resulta en el aislamiento de la parte más meridional de la vaguada, que se convierte en un vórtice ciclónico rodeado de aire más cálido. Las características de estos ciclones son bien conocidas. En los mapas isobáricos de la troposfera media y alta se muestran como bajas frías con contornos cerrados de geopotencial y temperatura. Su intensidad es máxima al nivel de la tropopausa y decrece hacia abajo en la troposfera, desapareciendo a menudo en la baja troposfera, o incluso cambiando a un vórtice anticiclónico. Se caracterizan por una tropopausa baja y en la estratosfera aparecen como vórtices con centro cálido (Palmen, 1949). La troposfera por debajo de las DANAs se desestabiliza, y puede producirse convección intensa si las condiciones en la troposfera baja son favorables.

En términos de vorticidad potencial las DANAs pueden describirse como regiones con valores altos de vorticidad potencial, aisladas de su origen, la reserva polar de la baja estratosfera. Como consecuencia del teorema de Ertel, la vorticidad potencial

$$PV = -g \frac{(f + \xi_{\theta})}{\frac{\partial P}{\partial \theta}} \quad [1]$$

se conserva siguiendo el movimiento si el flujo es adiabático, de lo que se deduce su utilidad como trazador en mapas isentrópicos. En [1] f es el parámetro de Coriolis, θ la temperatura potencial y ξ_{θ} la vorticidad relativa en el espacio $x\theta$. Por otra parte, la presencia o ausencia de contornos cerrados de vorticidad potencial en mapas isentrópicos es una característica con significado dinámico, independiente de circunstancias accidentales como el sistema de referencia (Hoskins y otros, 1985).

Varios autores han llevado a cabo estudios estadísticos sobre DANAs en el hemisferio norte. Todos ellos se centran en la definición tradicional sinóptica; normalmente el mapa utilizado es 500 hPa (Parker y otros, 1989; Bell y Bosart, 1989). Otros autores han realizado estudios estadísticos sobre DANAs en conexión con su potencial como agentes en procesos de intercambio troposfera-estratosfera (Price y Vaughan, 1992; 1993).

El objetivo de este trabajo es estudiar la distribución geográfica y estacional de las DANAs en el Mediterráneo Oeste, Península Ibérica y región sudeste del Atlántico Norte, siguiendo el enfoque de la vorticidad potencial. Aunque a veces en la atmósfera real el movimiento está lejos de ser adiabático, y a pesar de las aproximaciones e interpolaciones inherentes, los mapas isentrópicos de vorticidad potencial resultan más adecuados para detectar y seguir DANAs que los mapas convencionales de la troposfera media o alta. El único inconveniente de los mapas isentrópicos de vorticidad potencial para detectar y seguir DANAs es que el método es necesariamente más complejo: como las DANAs se caracterizan por una tropopausa baja, las superficies isentrópicas adecuadas para detectarlas son aquellas que cortan a la estratosfera en las regiones polares y a la troposfera en las regiones subtropicales; puesto que tanto la altura de la tropopausa como las de las superficies isentrópicas varían estacionalmente, las superficies isentrópicas más adecuadas para la detección y seguimiento de DANAs varían también.

2. Datos y método

Los datos utilizados para este estudio son los análisis inicializados del CEPPM desde mayo de 1985 hasta abril de 1993, a las 00 y 12 UTC, en los niveles isobáricos 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 700 y 850 hPa, con una resolución horizontal $1,25^{\circ}/1,25^{\circ}$ en el área $40^{\circ}\text{O}/70^{\circ}\text{N}/30^{\circ}\text{E}/20^{\circ}\text{N}$. El área de estudio es $25^{\circ}\text{O}/50^{\circ}\text{N}/15^{\circ}\text{E}/25^{\circ}\text{N}$, pero para la detección de DANAs y su seguimiento en el tiempo era necesaria un área mayor.

En el espacio xyp , la vorticidad potencial se expresa como

$$VP = -g (f\mathbf{k} + \nabla_p \times \mathbf{v}) \cdot \nabla_p \theta \quad [2]$$

donde \mathbf{v} es el viento horizontal. Aunque la expresión [1] es más simple, la vorticidad potencial fue calculada siguiendo [2], ya que los datos estaban disponibles en superficies isobáricas. La vorticidad potencial se calculó en primer lugar en niveles isobáricos usando diferencias finitas centradas, y después fue interpolada linealmente a niveles isentrópicos. La elección de superficies isentrópicas para detección de las DANAs fue: 315, 320 y 325 K para diciembre, enero, febrero y marzo; 325, 330 y 335 K para julio y agosto; y 320, 325 y 330 K para el resto de los meses.

Como criterio objetivo para detección de DANAs se eligió la presencia de un contorno cerrado de 2,0 UVP (Unidad de Vorticidad Potencial; $1 \text{ UVP} = 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ K kg}^{-1}$) con un máximo de por lo menos 4 UVP, en cualquiera de las tres superficies isentrópicas correspondientes a la estación. La mayor parte de las veces una DANA era detectada en dos, y con frecuencia en las tres superficies isentrópicas, por lo menos durante la etapa media de su vida.

Como centro de una DANA se tomó el punto de rejilla para el que la vorticidad potencial era máxima. Con el propósito de distribuir los casos en cajas latitud/longitud, cada DANA fue asignada a una de las cajas 1,25°/1,25° adyacentes, la caja para la cual la vorticidad potencial media de sus extremos fuera máxima. Cuando una DANA era detectada en 2 ó 3 superficies isentrópicas, muy a menudo el punto de rejilla y la caja latitud/longitud eran los mismos para todas las superficies, pero a veces estaban situados en puntos de rejilla o cajas vecinos. En este caso se le daba prioridad a la superficie isentrópica más baja.

Este primer paso era realizado por un sistema de programas informáticos desarrollado con este propósito. Para cada caso detectado, los mapas isentrópicos para su fecha y hora, más los correspondientes a 12 y 24 horas antes y 12 y 24 horas después, podían ser representados automáticamente en una pantalla de estación de trabajo.

Con objeto de evitar sistemas con una vida muy corta y máximos espúreos de vorticidad potencial, sólo las DANAs que aparecieron en tres o más mapas consecutivos fueron tenidas en cuenta. La conexión entre DANAs en mapas consecutivos para decidir si eran en realidad el mismo sistema o no, era decidida subjetivamente con la ayuda de la representación en pantalla de los mapas. En este paso se marcaba también si la primera (última) vez que un sistema aparecía en el área de estudio era realmente el principio (final) de un sistema, para detectar áreas de formación (disipación).

Como resultado de estos procesos, 1 154 casos fueron seleccionados, agrupados en 271 sistemas. Para cada uno de ellos, la información disponible era la producida por ordenador más la añadida en la fase de representación de mapas. Esta información fue la base para los resultados que siguen.

3. Resultados

Conviene recordar para todo lo que sigue que sólo se han tenido en cuenta sistemas que aparecen al menos en tres mapas consecutivos, y que el intervalo entre mapas consecutivos es de 12 horas. Las frecuencias mensuales, estacionales y anuales han sido normalizadas a meses de 30 días.

3.1. Distribución mensual

En la Fig. 1 se muestra la distribución mensual de todas las DANAs (línea continua), los casos de formación (línea de puntos) y de disipación (línea de trazos). Hay un máximo al principio del verano y otro a principios del otoño y un mínimo durante el invierno y la primavera. Este resultado concuerda con otros estudios (Ventura, 1987; Price y Vaughan, 1992). La variabilidad mes a mes es considerable: la frecuencia para junio es 5 veces mayor que la observada para abril.

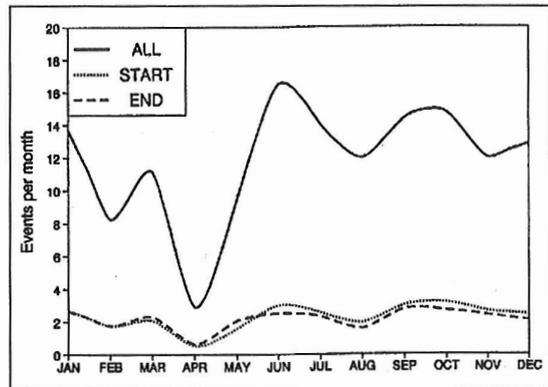


Fig. 1. Distribución mensual

3.2. Latitud media

En la Fig. 2 se representa la latitud media para cada mes. En conjunto, la latitud media se desvía hacia el norte durante el verano, como es de esperar, puesto que también el cinturón principal de los oestes se desplaza hacia el norte. Durante la primavera y principio del verano, la latitud media para los casos de formación es ligeramente mayor que para los de disipación, sugiriendo en promedio un desplazamiento hacia el sur (lo contrario ocurre para agosto, septiembre, febrero y marzo; la posición relativa de las líneas para los casos de formación y de disipación sugiere movimiento hacia el norte en promedio).

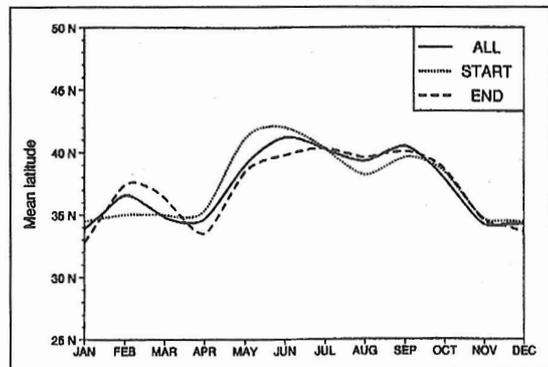


Fig. 2. Latitud media

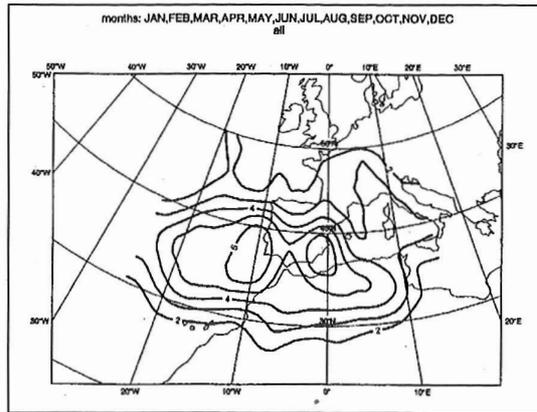


Fig. 3. Distribución geográfica de frecuencia de DANAs. Las cifras representan el número de casos en cajas latitud-longitud de $5^\circ \times 5^\circ$ por mes, multiplicado por 10

3.3. Distribución horizontal

En la Fig. 3 se muestra la distribución horizontal anual de DANAs sobre el área de estudio. Hay dos máximos bien diferenciados, uno al este y otro al oeste del Estrecho de Gibraltar. El máximo al oeste del Estrecho de Gibraltar es quizás la característica más notable. Aunque su posición cambia de una estación a otra, está bien marcado en todas las estaciones, excepto en invierno, en concordancia con el estudio realizado por Bell y Bosart (1989). En la Fig. 4 se muestra la distribución horizontal para cada estación.

Durante el invierno (Fig. 4a) hay un máximo sobre el sudeste de la Península Ibérica y otro sobre el Gran Atlas. En primavera (Fig. 4b) hay un máximo al oeste del Estrecho de Gibraltar y otro sobre el mar Tirreno. En verano (Fig. 4c) el máximo al oeste del Estrecho de Gibraltar se desplaza hacia el norte, para situarse al oeste de Lisboa; hay otros dos máximos secundarios, uno centrado sobre el sudeste de la Península Ibérica y el otro sobre Cerdeña. Durante el otoño (Fig. 4d), el máximo al oeste del Estrecho de Gibraltar se desplaza en dirección sudoeste, situándose entre Azores y Madeira, y los dos máximos al este del Estrecho de Gibraltar se unen en una amplia zona centrada sobre Argelia.

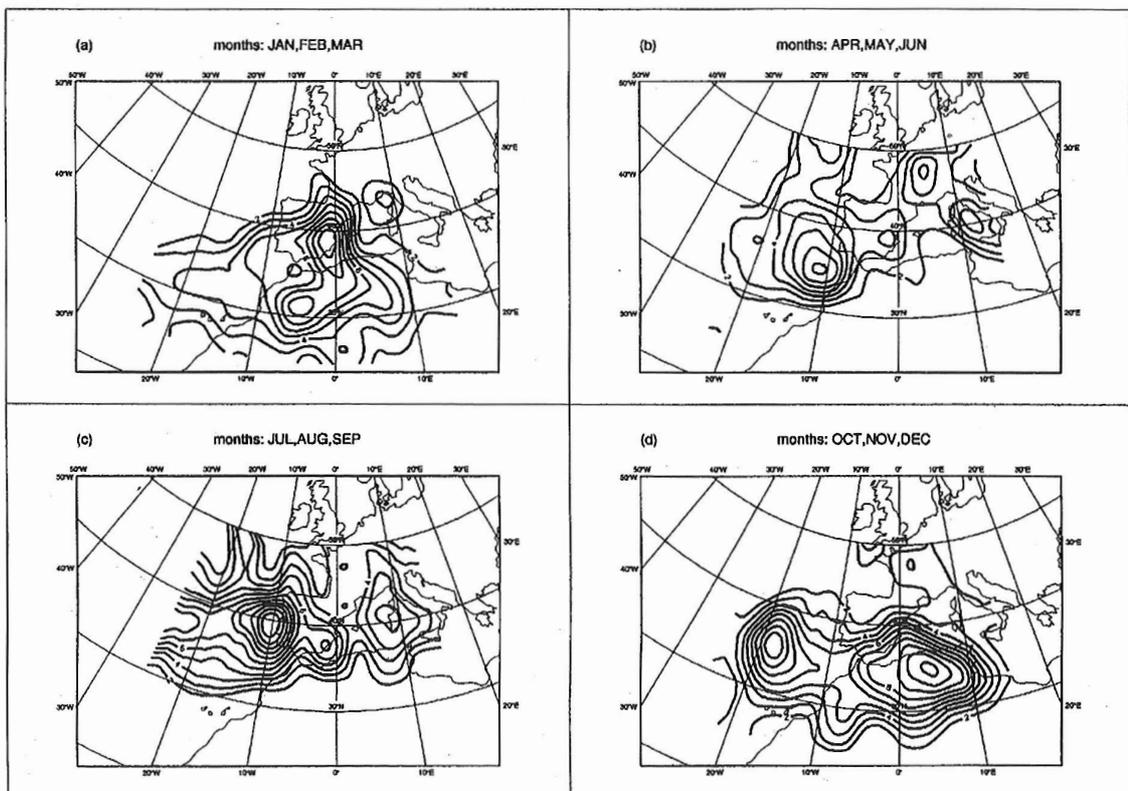


Fig. 4. Como en la Fig. 3, para cada estación

3.4. Variabilidad interanual

La variabilidad interanual es considerable, con un mínimo de 8 casos por mes por término medio durante el año 87 y un máximo de 16 durante el año 92. El número de casos por año tiene tendencia a aumentar durante el período estudiado, pero esto está probablemente relacionado con cambios en el sistema de análisis durante este período (por ejemplo, la resolución del modelo de análisis cambió el 17 de septiembre de 1991 de T106/19 niveles verticales a T213/31 niveles verticales).

3.5. Períodos activos e inactivos

Una de las características más notables de las DANAs es su tendencia a agruparse en el tiempo. Durante algunos períodos se detectaron varios sistemas al mismo tiempo, o un nuevo sistema se formó inmediatamente después del anterior. Por otra parte hubo largos períodos sin un solo sistema. Con el objetivo de estudiar esto, se calculó el intervalo de tiempo entre el final de un sistema y el principio del siguiente. Cuando un nuevo sistema se formaba antes del final del anterior, el intervalo de tiempo se definía como 0. En la Fig. 5 se muestra la distribución de la longitud de los intervalos entre sistemas.

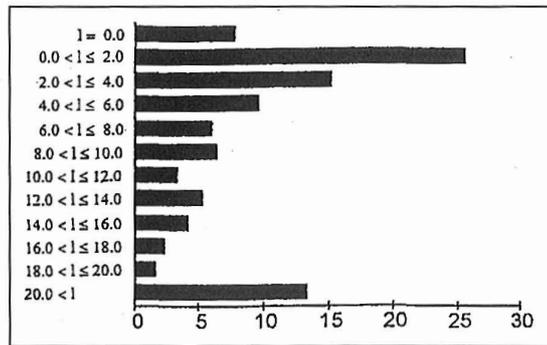


Fig. 5. Distribución de los intervalos de tiempo (unidad = día) entre sistemas consecutivos

3.6. Duración y movimiento

La mayor parte de las DANAs tienen un tiempo de vida corto. Para estudiar la duración se seleccionaron solamente los sistemas cuyo ciclo de vida transcurría completamente en el área de estudio (169 de los 271 sistemas). Se separaron en dos grupos, los que se debilitan y terminan (65) y los que son absorbidos nuevamente en la reserva principal de vorticalidad potencial (104). En la Fig. 6 se muestra la distribución del tiempo de vida para ambos grupos. Más del 50% aparecieron sólo en 3 ó 4 mapas (el intervalo entre mapas consecutivos es de 12 horas), y menos del 10% duraron 9 ó más mapas.

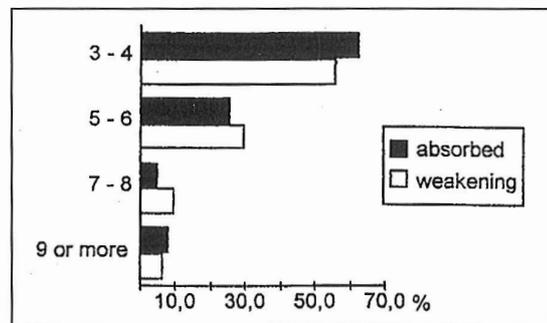


Fig. 6. Distribución del tiempo de vida. Los números a la izquierda representan el número de mapas consecutivos en que ha aparecido un sistema. El grupo «absorbed» incluye también los sistemas absorbidos por otro más intenso

Bell y Bosart (1989) encontraron en su estudio una correspondencia estrecha entre áreas de formación y de disipación de DANAs en el área del Mediterráneo, de lo que dedujeron que la mayor parte de los sistemas son casi estacionarios. Según Price y Vaughan (1992) aproximadamente la mitad de los sistemas se desplazaron significativamente.

Para el presente estudio se representaron las trayectorias de los centros de los 271 sistemas (no se muestran) y los desplazamientos parecen ser bastante erráticos, aunque pueden distinguirse dos comportamientos típicos: los sistemas casi estacionarios y los sistemas que se desplazan describiendo una curva en sentido ciclónico.

El desplazamiento máximo encontrado en 12 horas es 8,75° en longitud, y el máximo en latitud es 6,25°. El desplazamiento medio es 1,5° de oeste a este y casi 0° de norte a sur, pero estos números no son re-

presentativos, puesto que el comportamiento de las trayectorias es tan diferente de unos sistemas a otros. En promedio las trayectorias se curvan aproximadamente 20° en sentido ciclónico en 12 horas.

Otros rasgos típicos se relacionan con la interacción entre dos DANAs. A veces dos sistemas originados independientemente se acercan lo bastante como para formar un nuevo sistema. Frecuentemente se mueven en conjunto en sentido ciclónico mientras que conservan los dos máximos bien diferenciados de vorticidad potencial.

4. Conclusiones

Los principales resultados de este estudio son:

1) La variabilidad estacional e interanual de frecuencia observada de DANAs es considerable. Las DANAs tienden a agruparse en el tiempo, con períodos de gran actividad (supuestamente asociados a circulación meridiana) y períodos de inactividad (supuestamente asociados a circulación zonal). La frecuencia es mayor a finales de primavera y principio de verano y a principio del otoño. En invierno y principio de la primavera la actividad es relativamente baja, con un mínimo anual en abril.

2) La distribución geográfica de DANAs muestra que el área entre el Estrecho de Gibraltar, las Islas Canarias, Madeira y Lisboa es una región de alta frecuencia de DANAs en todas las estaciones, excepto en invierno. Otras regiones a destacar son el mar Tirreno en primavera y verano, el sudeste de la Península Ibérica durante la mayor parte del año, y el norte de África durante otoño e invierno.

3) Normalmente las DANAs tienen una vida corta. Sólo el 15% de ellas duraron más de 3 días. El comportamiento de las trayectorias de sus centros parece ser bastante errático, aunque pueden diferenciarse algunos comportamientos típicos.

Algunas de las limitaciones de este estudio son: 1) el sistema de análisis utilizado para producir los datos en que está basado el estudio ha sufrido cambios importantes (incluyendo resolución) durante el período estudiado; 2) el período de estudio es demasiado corto, si pensamos en la alta variabilidad temporal de la frecuencia de DANAs; y 3) el área de estudio es demasiado reducida, y deja fuera otras áreas próximas de alta frecuencia de DANAs, como el Mediterráneo Este.

Referencias

Bell, G. D. and L. F. Bosart, 1989: *A 15-year Climatology of Northern Hemisphere 500 mb Closed Cyclone and Anticyclone Centers*. *Mon. Wea. Rev.*, vol. 117, pp. 2142-2163.

Hoskins, B. J.; M. E. McIntyre and A. W. Robertson, 1985: *On the use and significance of isentropic potential vorticity maps*. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, vol. 111, pp. 877-946.

Palmen, E., 1949: *Origin and Structure of High Level Cyclones South of the Maximum Westerlies*. *Tellus*, vol. 1, pp. 22-31.

Parker, S. S.; J. T. Hawes; S. J. Colucci and B. P. Hayden, 1989: *Climatology of 500 mb Cyclones and Anticyclones 1950-85*. *Mon. Wea. Rev.*, vol. 117, pp. 558-570.

Price, J. D. and G. Vaughan, 1992: *Statistical studies of cut-off-low systems*. *Annales Geophysicae*, vol. 10, pp. 96-102.

Price, J. D. and G. Vaughan, 1993: *The potential for stratosphere-troposphere exchange in cut-off-low systems*. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, vol. 119, pp. 343-365.

Ventura, J. E., 1987: *As gotas de ar frio e o Regime da Precipitação em Portugal*. *Finnisterra*, XXII, vol. 43, pp. 39-69.

Agradecimientos

La autora desea expresar su agradecimiento a Antonio García Méndez y a Feliciano Jiménez Sánchez por sus sugerencias en cuanto al enfoque del estudio, y especialmente a Javier López Ruiz por sus comentarios y por su ayuda en muchos aspectos del trabajo.