

Ocurrencia de Depresiones Aisladas en Niveles Altos (DANAs) en el Hemisferio Norte desde principios del siglo XX

J. BAZO^{*1}, L. DE LA TORRE² y R. NIETO²

*(¹)Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)
Lima, Perú*

*ltr@uvigo.es, rnieto@uvigo.es
(²) Environmental Physics Laboratory, Facultade de Ciencias,
Universidade de Vigo
Campus As Lagoas s/n, Ourense, Spain*

RESUMEN

Este estudio presenta la climatología de las depresiones aisladas en niveles altos (DANAs) en el hemisferio Norte para un periodo de 51 años, desde principios del siglo XX -1908- hasta 1958 usando de datos reanalizados del proyecto Twentieth Century Reanalysis Project proporcionados por NOAA/OAR/ESRLPSD. La identificación de los sistemas se realizó aplicando un método objetivo de detección basado en la imposición consecutiva y restrictiva de los tres parámetros físicos principales del modelo conceptual de DANA (un mínimo de geopotencial en el nivel de 200 hPa, circulación cerrada en niveles altos de la troposfera, mínimo relativo de espesor equivalente y mínimo relativo del parámetro frontal térmico). Los resultados confirman el mantenimiento del mismo patrón de ocurrencia de DANAs obtenido en trabajos anteriores para un periodo posterior de 41 años (1958-1998) y usando datos de reanálisis NCEP-NCAR. La climatología indica varias zonas preferentes de ocurrencia de estos sistemas: a) el sur de Europa, Mar Mediterráneo, Norte de África, extendiéndose sobre el este del océano Atlántico Norte; b) la región Norte de China y Rusia (Siberia) extendiéndose sobre el oeste del Pacífico Norte; c) el este del Pacífico Norte y d) la costa noroeste del Atlántico Norte. La diferencia principal entre ambos trabajos radica en la densidad de DANAs detectada, menor para principios del siglo que para finales, debido a la falta de datos de observaciones para asimilar en los modelos implementados para realizar la base de datos reanalizados. También se confirma el comportamiento del ciclo estacional detectado en trabajos anteriores, las DANAs se forman con mucha más frecuencia durante el verano (32.2%) que durante el invierno (18.8%) para todo el hemisferio Norte.

Keywords: Depresiones Aisladas en Niveles Altos, DANAs, Cut-off lows, COLs, reanálisis histórico.

1 Introducción

Las depresiones aisladas en niveles altos (DANAs) o también llamadas en inglés Cut-off Lows (COLs) son sistemas de baja presión a escala sinóptica formadas como resultado de cambios meridionales de las corrientes en chorro, cerca a los 200 hPa, (Palm y Newton, 1969; Winkler et al. 2000). En mapas isobáricos las depresiones aisladas son fácilmente reconocibles como contornos cerrados de geopotenciales con un núcleo frío (Nieto et al. 2005).

En términos de su dinámica, las DANAs o COLs, son regiones aisladas de vorticidad potencial que afectan tanto a la estratosfera como a la troposfera, esto se debe al hecho de que el aire dentro de la baja presión, tiene su origen en una latitud más alta. Su intensidad es mayor en la troposfera superior, disminuyendo hacia abajo y es posible aún encontrar circulación anticiclónica en superficie.

En general las DANAs en la troposfera baja, son inestables y pueden causar eventos convectivos severos, dependiendo de las condiciones de superficie. Asimismo las DANAs se asocian con muchos problemas de previsión importantes, principalmente debido a las diferentes características del terreno y a la presencia y/o ausencia de un océano cálido que permita o inhiba la convección.

Por otra parte las DANAs también constituyen importantes mecanismos de intercambio entre la estratosfera y la troposfera (Bamber et al. 1984; Holton et al. 1995). En estos sistemas la tropopausa es anormalmente baja, lo que contribuye a producir un intercambio estratosfera-troposfera por convección o erosión radiativa de la tropopausa. También hay otros dos mecanismos posibles de intercambio estratosfera-troposfera: como es la mezcla turbulenta cerca de la

corriente en chorro asociada a la DANA o una tropopausa plegada a lo largo del sistema (Hoskins et al. 1985; Preci y Vaughan 1992; Wirth 1995).

Teniendo en consideración estudios previos realizados para el hemisferio Norte como el de Price y Vaughan (1992) para un periodo de un año; el de Kentarchos y Davies (1998) para el periodo 1990-1994 y el de Nieto et al. (2005) para un periodo de 41 años (1958-1998), se puede resumir que: 1) existen ciertas regiones favorecidas para la ocurrencia (Europa, China-Siberia, el Pacífico Norte, el noreste de Estados Unidos de América (EE.UU.), la parte occidental de los EE.UU., el noreste del Atlántico Norte y el Norte de África, 2) las DANAs se forman con más frecuencia en verano que en invierno, 3) las DANAs son cuasi estacionarias, 4) su duración es corta, y 5) hay una alta variabilidad interanual en el número total de DANAs.

El primer objetivo de este trabajo es realizar una climatología de DANAs para el Hemisferio Norte (HN) para la primera mitad del siglo XX utilizando los datos reanalizados del Twentieth Century Reanalysis Project. Un periodo de 51 años (1908-1958) que en parte no había sido estudiado en trabajos anteriores. La climatología se realiza mediante la detección objetiva de los sistemas imponiendo de manera consecutiva y restrictiva las tres principales características físicas del modelo conceptual de DANA. Como segundo objetivo se examina la ocurrencia de DANAs y cómo es que estas han evolucionado en número en el tiempo.

2 Datos y Metodología

Los datos usados para la detección de las DANAs en los 51 años (1908-1958) proceden del Twentieth Century Reanalysis, proporcionados por la National Oceanic

and Atmospheric Administration (NOAA/OAR/ESRLPSD). Este nuevo reanálisis es un proyecto internacional que ha producido información de datos atmosféricos de circulación general a nivel global. Esta base de datos nos lleva a una primera aproximación de la variabilidad atmosférica desde inicios de siglo XX. Los datos tienen una resolución temporal de 6 horas, una resolución espacial de 2° por 2° en latitud y longitud y 24 niveles en la vertical. Asimismo se usaron datos del National Centers for Environmental Prediction – National Center for Atmospheric Research (NCEP–NCAR) para los años 1948-1958 con una resolución temporal de 6 horas y resolución espacial de $2,5^\circ$ por $2,5^\circ$. Las variables utilizadas para este estudio fueron el geopotencial, temperatura y viento zonal en los niveles de 200 y 300 hPa.

3 Ciclo de vida de una DANA

El desarrollo clásico del ciclo de vida de una DANA se puede separar en cuatro etapas: 1) Desarrollo de una vaguada en niveles altos: depende de la existencia de ondas inestables en la circulación general en niveles altos de la troposfera que aumentan su amplitud y a veces también disminuyen su longitud de onda. 2) Ruptura: los contornos de geopotencial adquieren forma de omega invertida comenzando a producirse una circulación cerrada de la corriente general de los oestes. El aire frío procedente de las regiones del norte se aísla del flujo polar y el aire cálido procedente de regiones más meridionales se va separando del flujo general subtropical. 3) Aislamiento: la circulación ciclónica está cerrada, bien definida y desarrollada, separada totalmente de la circulación meridional general en el caso de una DANA ideal. 4) Fase

final: el aire frío del interior de una DANA se mueve sobre superficies más cálidas disparando la convección que, en consecuencia, debilita el sistema y lo hace desaparecer. En muchos casos la DANA se fusiona de nuevo con la circulación general antes de deshacerse completamente al acercarse una vaguada de gran amplitud por detrás y alcanzarla.

4 Diagnostico de Parámetros

El mínimo de geopotencial que caracteriza una DANA se ha utilizado como parámetro de diagnóstico en climatologías basadas en análisis objetivos, así Bell y Bosart (1989) o Novak et al. (2002), detectaron DANAs mediante la evaluación de puntos de rejilla en el nivel de 500 hPa. Cuando la identificación de DANAs se basa en el análisis subjetivo, se busca un contorno ciclónico cerrado de geopotencial o cualquier circulación cerrada en los vectores de viento a un nivel de presión. Este fue el parámetro de diagnóstico utilizado por Price y Vaughan (1993) y Kentarchos y Davies (1998) tomando 200 hPa como superficie de presión de referencia.

Nuestra metodología de detección de DANAs está basada en las características físicas del modelo conceptual de DANA, (Nieto et al. 2005) que consta de tres pasos. La condición de mínimo de geopotencial en el nivel de 200 hPa y el aislamiento de la circulación general en el patrón de vientos del oeste en la alta troposfera es la primera restricción aplicada para poder considerar que un punto de rejilla sea considerado como una DANA. El mínimo de geopotencial ha de serlo al menos con respecto a seis de los ocho puntos que le rodean y con una diferencia superior a 10 mgp. Una vez seleccionados estos puntos sólo consideraremos como puntos de DANA aquellos que sean mínimo de espesor equivalente,

calculado este entre los niveles de 200 y 300 hPa. La condición final será aplicar el criterio de mínimo de parámetro frontal térmico (PFT) para el centro del sistema. La expresión matemática del PFT es:

$$PFT = -\nabla[\nabla T] \cdot \left(\frac{\nabla T}{|\nabla T|} \right)$$

El PFT es el cambio de gradiente de temperatura en la dirección del gradiente de temperatura. Existe una relación clara entre el PFT como parámetro de análisis

frontal, que fija un frente frío en el cual la temperatura empieza a caer y un frente cálido en donde se da un aumento de los extremos de temperatura. El PFT es máximo sobre la región frontal de una zona baroclina, por lo tanto a la derecha del centro de la DANA los valores de PFT deben ser mayores que en el núcleo. La temperatura en 200 hPa es la variable necesaria para calcular el PFT.

La Fig. 1 resume las condiciones impuestas para cada paso seguido.

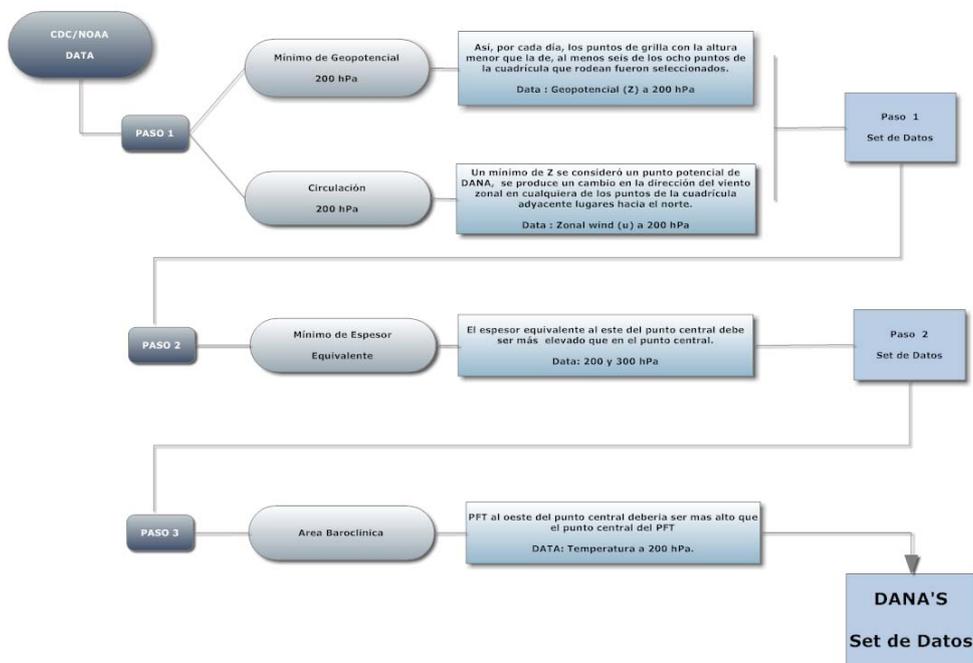


FIG.1. Resumen de los pasos y condiciones utilizadas en la detección de DANAs, datos y niveles en los que se realiza el análisis

La detección se realizó para todo el conjunto de años y para cada estación por separado, se consideró como invierno, los meses de enero a marzo (EFM), primavera los meses de abril a junio (AMJ), verano los meses de julio a septiembre (JAS) y otoño los meses de octubre a diciembre (OND).

4 Resultados

El periodo de análisis de este trabajo, 1908-1958, es coincidente en su década final con el trabajo de Nieto et al. (2005), por lo que para comprobar que la bondad de los datos se hizo inicialmente una comparación entre ambas bases de DANAs para el periodo común 1948-1958 con el fin de ver las diferencia en el patrón espacial de ocurrencia de DANAs para todo el hemisferio Norte (HN). En las Fig.

2 y 3 se observa que para la primera mitad del siglo XX (NOAA) la densidad de DANAs como su número es menor que para los resultados obtenidos para el reanálisis NCEP-NCAR. De hecho, al principio del período el número de DANAs por año para todo el HN, es menor de 30 y va aumentando a partir de 1920 hasta llegar a valores similares a los NCEP-NCAR (más de 150 DANAs por año), es decir, se produce un aumento de más de 36 DANAs por década. Esto se debe a la cantidad de datos de observaciones disponibles, que ha ido aumentando a lo largo del siglo. Además los datos que se utilizan para la detección de DANAs son datos en niveles altos de la troposfera, que para la primera mitad del siglo XX eran pocos y su asimilación en los modelos de reanálisis es escasa hasta los años 40. Esto se puede comprobar en la Fig. 2 donde se presenta la comparación de la ocurrencia anual de DANAs para ambos reanálisis. Se puede ver como para el periodo coincidente desde 1948 a 1958 los resultados son bastante parecidos. En la fig. 3 se presenta la distribución geográfica de los sistemas de DANAs detectados para la década coincidente y se

puede comprobar que las áreas de máxima ocurrencia son consistentes entre sí y con los trabajos previos. Estas regiones son: la zona Occidental, Oriental y Sur Oeste de Europa, el Norte y Este de China, región de la Siberia, el Norte de Rusia, el Pacífico Norte (Alaska), Noroeste del Canadá y parte Occidental y Sur de Estados Unidos de América. El hecho de que donde faltan DANAs para el período común es sobre los océanos reforzaría nuestra suposición sobre la relación entre el menor número de DANAs y la poca disponibilidad de datos, sobre todo en altura.

La Fig. 4 muestra la distribución de DANAs sobre el HN durante todo el periodo estudiado (1908-1958) para la primera mitad del siglo XX. Como se observa las DANAs se concentran principalmente al sur de Europa, la costa Este Atlántica, zona del Mediterráneo y Norte del África. Así como en el Pacífico Norte y suroeste de EE.UU. y sureste de Canadá, Norte de Rusia y China (región de la Siberia). Tras un análisis en base anual se realizó un estudio estacional. En la Fig. 5 se muestra la frecuencia estacional de DANAs para el periodo analizado (1908-1958).

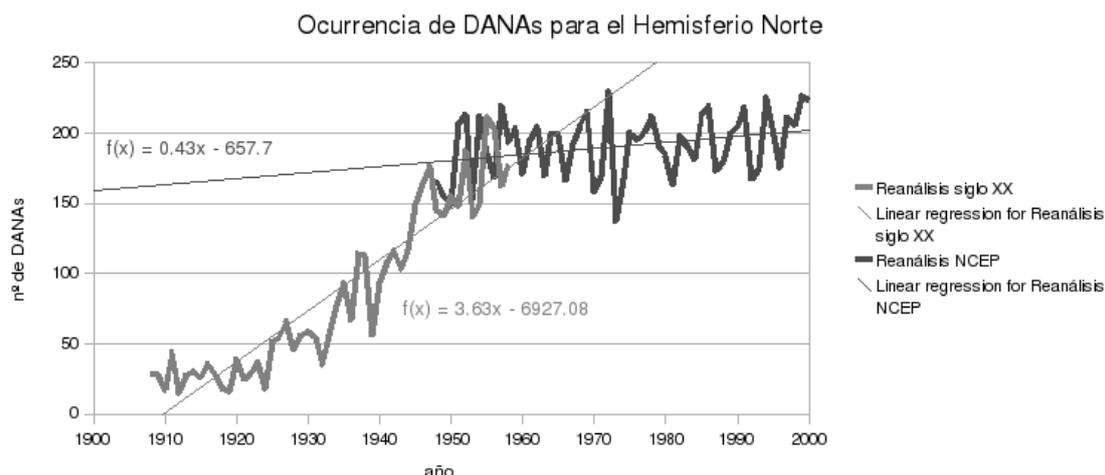


FIG. 2. Comparación anual de ocurrencia de DANAs entre reanálisis NOAA/OAR/ESRL y NCEP-NCAR.

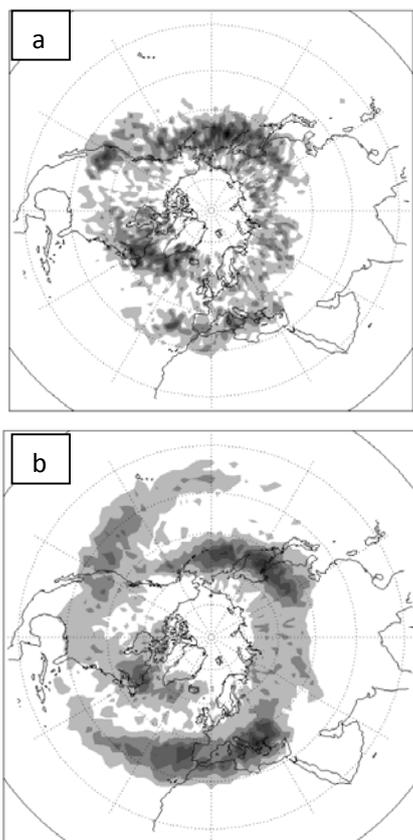


FIG. 3. Número total de DANAs para el reanálisis a) NOAA/OAR/ESRL por punto de rejilla $2^{\circ} \times 2^{\circ}$, b) NCEP-NCAR por punto de rejilla $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$, para el periodo 1948-1958.

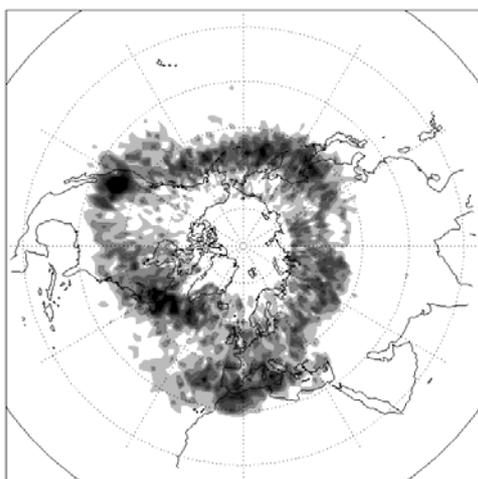


FIG. 4. Número total de DANAs por punto de rejilla $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ para el reanálisis NOAA/OAR/ESRL para el periodo 1908-1958.

Los resultados muestran coherencia con las climatologías previas (Price y Vaughan 1992; Kentarchos y Davies 1998; Nieto et al. 2005). Se observa la mayor ocurrencia de DANAs en la estación de verano y una disminución de los sistemas para el resto de las estaciones, con un marcado mínimo durante los meses de invierno. Esta relación podría atribuirse a que en la estación de verano se tiene una corriente en chorro más débil, lo cual permite un mayor flujo meridional, y este a su vez una mayor probabilidad de formación de DANAs. Se analizó las diferencias geográficas en la distribución estacional de DANAs, encontrándose que para el invierno la mayoría de depresiones aisladas en niveles altos se produjo al Sur de Europa, Mediterráneo y el Norte de África, así como en la costa este de Estados Unidos de América, Canadá y la costa este de China y Rusia. Durante el resto del año la ocurrencia de DANAs se extienden hacia latitudes más altas. Una alta ocurrencia de DANAs se presenta sobre el océano Atlántico, mar Mediterráneo y mar Adriático durante primavera y verano, siendo mucho más extensa el área de ocurrencia durante la primavera. En el sector de América del Norte se observa dos zonas importantes de ocurrencia en ambas costas sobre todo en durante el verano y la primavera. Durante los meses de otoño se observa un desplazamiento de ocurrencia de DANAs hacia latitudes más bajas a nivel de todo el HN. Durante primavera y verano se observa una importante ocurrencia de DANAs en el sector norte del territorio Asiático, así como en la parte del Pacífico Asiático, mientras que para los meses de otoño e invierno la ocurrencia se ve muy disminuida.

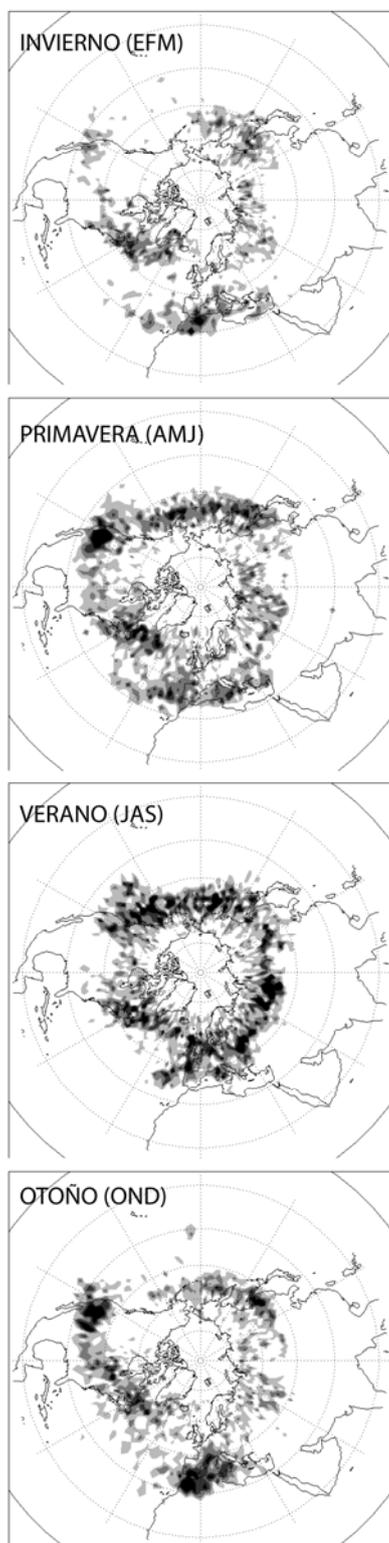


FIG. 5. Número total de DANAs para cada estación del año para el reanálisis NOAA/OAR/ESRL para el periodo 1908-1958.

En la Fig. 6 se muestra el porcentaje del número de DANAs para cada estación del año. Como cabe esperar de las figuras anteriores se observa que las DANAs se forman con mucha más frecuencia durante los meses de verano. En efecto, de las DANAs que se forman el 32,2% lo hacen durante esta estación. La estación en la cual las DANAs se desarrollan con mayor dificultad es durante el invierno, tan sólo un 18,2%. Durante la primavera y otoño los resultados son progresivos hacia cada uno de los extremos de la distribución, con un porcentaje del 27,6% y del 22% respectivamente.

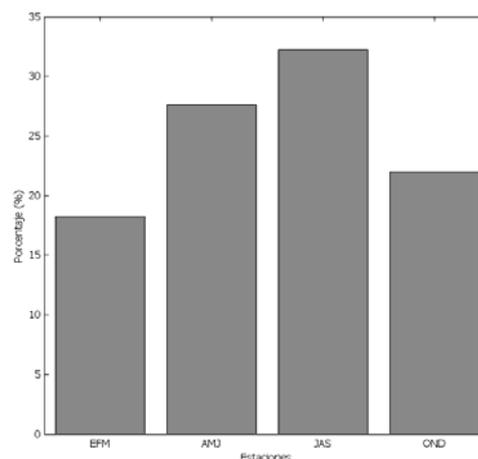


FIG. 6. Porcentaje del número de DANAs para cada estación del año para el periodo 1908-1958.

De todas las regiones de ocurrencia de DANAs la de mayor densidad de sistemas es la región sobre Europa. Es por ello que se realizó un análisis más pormenorizado de la tendencia en la ocurrencia de DANAs (Fig. 7). Se tomó como área de estudio la delimitada por las latitudes 35°N y 54°N y las longitudes 30°W y 34°E. Del análisis de las series se concluye que existe una gran variabilidad interanual e intraestacional. De nuevo el número de sistemas es mayor durante el verano, seguido de la primavera. Se analizó la tendencia en el número de DANAs mediante una regresión lineal, encontrando

una tendencia positiva bastante marcada tanto anualmente como para cada estación del año. Esto no concuerda con los resultados anteriores para finales del siglo XX analizados por Nieto et al. (2007). La tendencia positiva encontrada en este trabajo podría deberse a que en las primeras décadas del periodo de estudio

no se contaba con demasiados datos, sobre todo en altura, para implementar los modelos de los reanálisis, que, sin embargo, sí se incluyeron a partir de los años 40, cuando el número de DANAs se sitúa a un nivel similar al encontrado para el periodo 1958-1998 por Nieto et al. (2005).

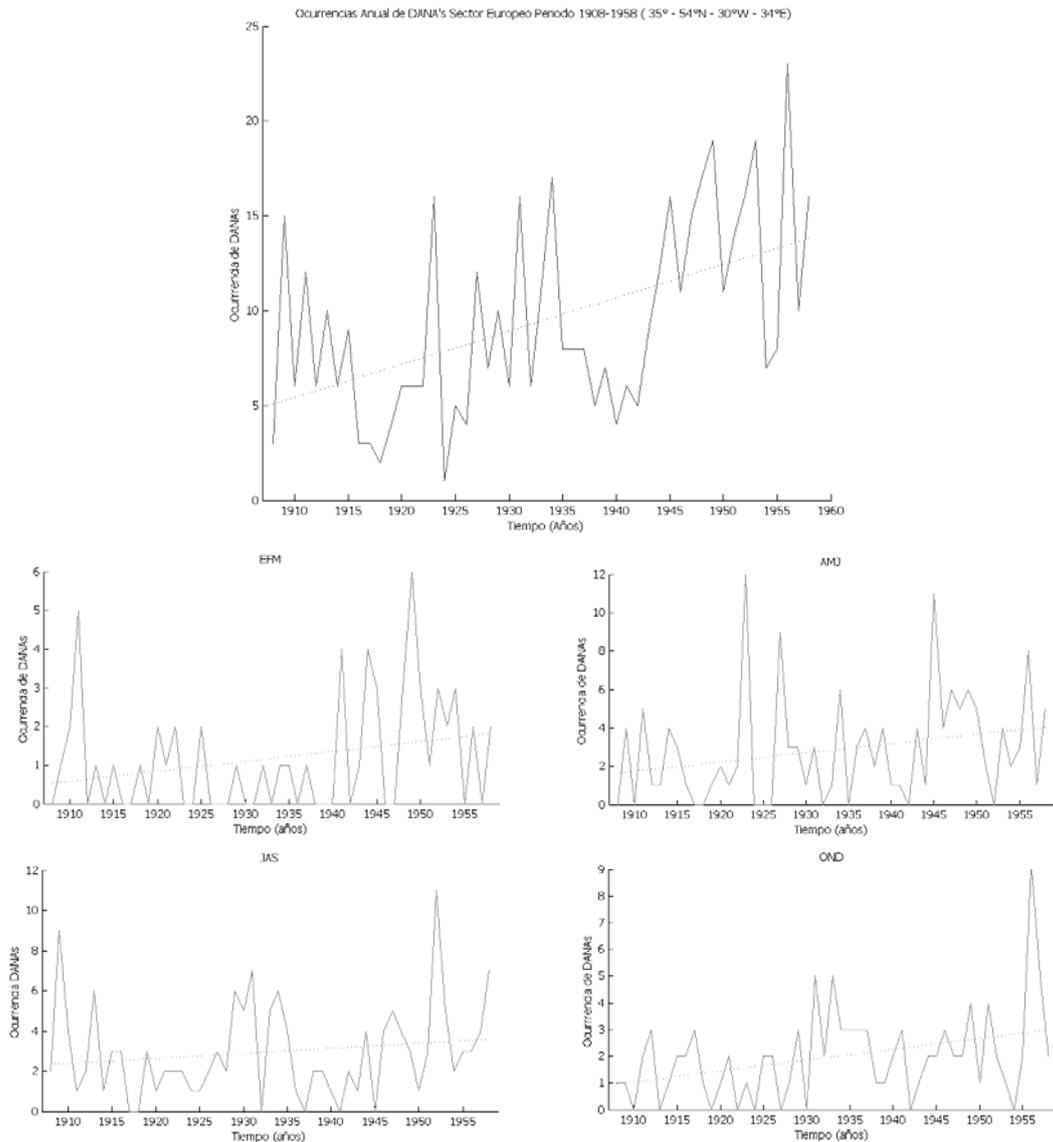


FIG. 7. Serie anual y estacionales de ocurrencia del número de DANAs para el sector Europeo y sus tendencias.

5 Conclusiones

El estudio pretende proporcionar una primera aproximación multidecadal (51

años) de ocurrencia de DANAs en el hemisferio Norte. Las DANAs fueron identificadas utilizando un nuevo rea-

nálisis para la primera mitad del siglo XX proporcionado por la NOAA/ OAR/ESRL PSD y mediante un método objetivo de detección basado en la imposición consecutiva y restrictiva de los parámetros físicos del modelo conceptual de DANA. En términos generales, los resultados obtenidos son coherentes con trabajos anteriores. Se obtuvo una distribución espacial de ocurrencia de DANAs similar aunque con una densidad inferior de sistemas. Independientemente de esta pequeña diferencia la base de datos es apropiada para poder realizar un análisis de variabilidad tanto anual como estacional. Del estudio se puede determinar que hay zonas importantes de ocurrencia de DANAs en el Hemisferio Norte como es el parte Sur de Europa, Mar Mediterráneo, Norte del África, Atlántico Norte, Pacífico Nororiental, región Norte de China y Rusia (Siberia), costa Oeste y Este de los Estados Unidos de América. Zonas importantes del Pacífico y Atlántico no están bien representadas, esto se debe a la escasa información con que cuenta el reanálisis del siglo XX para esas zonas.

Respecto a su estacionalidad las depresiones aisladas en niveles altos se presentan más a menudo en verano que invierno, lo que es coherente con anteriores resultados. Esto debido a que en los meses de verano la corriente en chorro es mucho más débil y el calentamiento continental mayor hace que aumente el flujo meridional en gran parte del hemisferio haciendo más propicia la formación de las DANAs.

Por ser la región sobre Europa la que más ocurrencia de sistemas presenta se analizó para ella la tendencia en el número de DANAs. Se observa que para el sector Europeo la mayor ocurrencia de DANAs ocurre en las estaciones de primavera y verano. También se observa una tendencia positiva a nivel anual y estacional. Un importante resultado es que es muy

complejo realizar análisis de tendencias con este tipo de reanálisis, puesto que los resultados están muy determinados por el propio reanálisis que, en este caso, tiene muy pocos datos asimilados para los niveles altos de la troposfera.

Este trabajo es una de las primeras climatologías realizadas usando esta nueva base de datos para la primera mitad del siglo XX y sirve para validar el reanálisis.

Agradecimientos

A Gerardo Jacome Vergaray del Centro de Predicción Numérica del SENAMHI, por sus constantes ayudas en la parte de programación y a mis compañeros de oficina y familia por el invaluable apoyo.

Referencias

- Bamber, D. J., P. G. W. Healey, B. M. R. Jones, S. A. Penkett, A. F. Tuck, y G. Vaughan, 1984: Vertical profiles of tropospheric gases: Chemical consequences of stratospheric intrusions. *Atmos. Environ.*, 18, 1759–1766.
- Bell, G. D., y L. F. Bosart, 1989: A 15-year climatology of Northern Hemisphere 500 mb closed cyclone and anticyclone centers. *Mon. Wea. Rev.*, 117, 2142–2163.
- Compo, G.P., J.S. Whitaker, P.D. Sardeshmukh, N. Matsui, R.J. Allan, X. Yin, B.E. Gleason, R.S. Vose, G. Rutledge, P. Bessemoulin, S. Brönnimann, M. Brunet, R.I. Crouthamel, A.N. Grant, P.Y. Groisman, P.D. Jones, M.C. Kruk, A.C. Kruger, G.J. Marshall, M. Maugeri, H.Y. Mok, Ø. Nordli, T.F. Ross, R.M. Trigo, X.L. Wang, S.D. Woodruff, S.J. Worley, 2009: The Twentieth Century Reanalysis Project. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, submitted
- Gimeno L., R. Trigo, P. Ribera y J.A. García. 'Editorial: Special issue on

- cut-off low systems (COL)'. Meteorol. Atmos. Phys. (Special issue on cut-off low systems), 96, 1-2, 2007.
- Holton, J., P. Haynes, M. McIntyre, A. Douglass, R. Rood, y L. Pfister, 1995: Stratosphere-troposphere exchange. Rev. Geophys., 33, 403-439.
- Hoskins, B. J., M. E. McIntyre, A. W. Robertson, 1985: On the use and significance of isentropic potential vorticity maps. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 111, 877-946; Corrigendum, 113, 402-404.
- Kentarchos, A. S., T. D. Davies, 1998: A climatology of cutoff lows at 200 hPa in the Northern Hemisphere, 1990-1994. Int. J. Climatol., 18, 379-390.
- Nieto, R., L. Gimeno, L. de la Torre, P. Ribera, D. Gallego, R. García-Herrera, J. A. García, M. Nuñez, A. Redaño and J. Lorente (2005) Climatological features of COLs in the Northern Hemisphere. J Climate, 18, 2805-2823.
- , —, —, —, D. Barriopedro, R. García-Herrera, J.A. García, A. Serrano, A. Gordillo, A. Redaño and J. Lorente, 2007: Interannual variability of cut-off low systems over the European sector: the role of blocking and the northern hemisphere circulation modes. Meteorology and Atmospheric Physics, 96, 85-101
- Novak, M. J., L. F. Bosart, D. Keyser, T. A. Wasula, and K. D. LaPenta, 2002: Climatology of warm season 500 hPa cutoff cyclones and a case study diagnosis of 14-17 July 2000. Preprints, 19th Conf. on Weather Analysis and Forecasting, San Antonio, TX, Amer. Meteor. Soc., 68-71.
- Price, J. D., and G. Vaughan, 1992: Statistical studies of cutoff-low systems. Ann. Geophys., 10, 96-102.