

DIFERENCIAS ENTRE LOS REANÁLISIS ERA40 Y NCEP/NCAR EN LA VARIABILIDAD ESTRATOSFÉRICA DE LA TEMPERATURA Y DEL VIENTO ZONAL

(1) (1) (1)
Teresa Rico, **Blanca Ayarzagüena** y **Encarna Serrano**

(1) Dpto. Geofísica y Meteorología. Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid, Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid, eserrano@fis.ucm.es

SUMMARY

Atmospheric reanalyses are useful tools when studies on climate variability are carried out. Among all the existing reanalyses, those from ECMWF and NCEP/NCAR are the most used by researchers in the climate monitoring community. However, although relevant improvements in the realistic performance of atmospheric models have been made, their representations of the stratosphere are still in development, and, therefore, in the corresponding models used for both reanalyses as well. Due to the current interest in studies about coupled stratosphere-troposphere system, this paper deals with the degree of agreement between ERA40 and NCEP/NCAR 40-yr reanalyses in their performance of the temperature and zonal wind variability at the lower stratosphere (up to 10 hPa). For it, by applying the *Principal Component Analysis* technique to monthly data and considering separately the four seasons in the year, the authors have compared the main five modes of zonal wind and temperature obtained from both databases. Also, in order to contrast the results with those concerning to geopotential variability, an update of a previous study is included. Although there is a great agreement in the variability of these variables between reanalyses, some differences have been identified, especially at 50, 20 and 10 hPa, in some seasons. Most of these differences were found in spring, summer and autumn in temperature. Concerning the zonal wind, the first mode of variability shows differences between both reanalyses in the four seasons and at 20 and 50 hPa (and extended at 10 hPa for spring and summer). Briefly, all these differences should be taken into account if results from variability studies carried out with both datasets are compared.

1.-INTRODUCCIÓN

Es bien conocida la significativa aportación de los reanálisis atmosféricos en los estudios de variabilidad climática. El uso de un único modelo en el proceso de la asimilación de datos en todo el periodo reanalizado permite que los cambios identificados a partir de las bases de datos generadas sean atribuibles con mayor fiabilidad a la atmósfera y no debidas a cambios en el modelo de producción.

Si bien los reanálisis ERA40 y NCEP/NCAR 40-yr (generados por el *European Centre for Medium-Range Weather Forecast* –ECMWF- y *National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research*, respectivamente) son bastante similares en su reproducción de

variables atmosféricas a gran escala en la troposfera, algunos estudios recientes muestran que ambos reanálisis presentan ciertas discrepancias en niveles estratosféricos (ECMWF/GEO Workshop 2006; Rico, 2007; Serrano et al., 2008). Tras los resultados obtenidos en un estudio previo de intercomparación entre los reanálisis ERA40 y NCEP/NCAR en los principales modos de variabilidad del geopotencial en la estratosfera (Rico, 2007; Serrano et al., 2008), el presente trabajo extiende este tipo de análisis a los campos del viento zonal y de la temperatura, por ser estas magnitudes representativas de fenómenos estratosféricos con potencial impacto en la circulación troposférica (Oscilación Cuasibienal, calentamientos estratosféricos, etc...).

A continuación, se detallan los datos y metodología empleados en el estudio (sección 2), cuyos principales resultados se muestran en la sección 3. Las conclusiones más relevantes se exponen en la sección 4 y las referencias se incluyen en la sección 5.

2.- DATOS Y METODOLOGÍA

Los datos utilizados han sido las medias mensuales de temperatura (T) y de velocidad del viento zonal (U) en los niveles de presión de 10, 20, 50, 100 y 200 hPa, en un dominio espacial de latitud 20°S-90°N y longitud 180°W-180°E con una resolución horizontal de 2.5°x2.5° (latitud-longitud) de los reanálisis ERA40 y NCEP/NCAR 40-yr (http://data.ecmwf.int/data/d/era40_moda, http://www.cdc.noaa.gov/cgi-bin/db_search/SearchMenus.pl, respectivamente).

Por el significativo papel que juegan los datos de satélite en la generación de los campos estratosféricos del viento y de la temperatura, el periodo considerado en el estudio corresponde desde Septiembre de 1980 hasta Agosto del 2002, haciendo coincidir su comienzo con la fecha en la que los datos satelitales se incorporan al sistema de asimilación en ambos reanálisis (Uppala et al., 2005; Kalnay et al., 1996). En el estudio realizado previamente con el geopotencial (Rico, 2007; Serrano et al., 2008) se empleó todo el periodo de datos disponible, común entre reanálisis (desde 1957 hasta el 2002); por ello, para poder comparar resultados entre variables se ha repetido el análisis del geopotencial considerando sólo el periodo satelital (1980-2002).

El estudio comparativo ha sido estacional, es decir, tomando por separado los meses de invierno (Diciembre-Enero-Febrero, DEF), de primavera (Marzo-Abril-Mayo, MAM), de verano (Junio-

Julio-Agosto, JJA) y de otoño (Septiembre-Octubre-Noviembre, SON).

La comparación entre reanálisis en la variabilidad estratosférica se ha realizado por nivel de presión y estación del año, considerando los cinco primeros modos de U y T. Como es práctica habitual, estos modos de variabilidad se han extraído aplicando la técnica de “Análisis de las Componentes Principales” a las correspondientes anomalías mensuales, de manera que cada modo está definido por un mapa y una serie temporal, que son matemática y respectivamente a una función empírica ortogonal (EOF) y una componente principal (PC) (Peixoto y Oort, 1992). La contribución de cada modo en la variabilidad del campo analizado (U o T) viene dada por su fracción de varianza explicada (fvar).

3.-RESULTADOS

La estructura de la exposición de los resultados obtenidos se ha realizado teniendo en cuenta los tres aspectos complementarios proporcionados por la técnica de “Análisis de las Componentes Principales”: las EOFs, las PCs, y la fracción de varianza explicada (fvar) por los principales modos de variabilidad:

I.- En la comparación de las cien parejas de EOFs (cinco niveles x cuatro estaciones x cinco modos), se consideraron como ‘casos diferentes’ entre ambos reanálisis, tanto aquellas parejas de EOFs (una del ERA40 y otra del NCEP) que presentan discrepancias en la propia distribución espacial de los centros de acción, como aquéllas con diferencias cuantitativas en las anomalías de tales centros, tomando como umbral 0.5°C para T, 2 m·s⁻¹ para U y 20 mgp para Z por cada desviación estándar de sus correspondientes PCs.

II.- En general, los reanálisis ERA40 y NCEP/NCAR muestran un buen acuerdo en las PCs de los primeros cinco modos de las variables analizadas en los niveles examinados, con un coeficiente de correlación lineal, *r*, superior al 0.80 en un elevado número de casos (en T el 56%, en U el 78% y en Z el 85%).

III.- Al comparar entre reanálisis la fracción acumulada de varianza de los primeros cinco modos (fvar₁₂₃₄₅) de temperatura (T) y de viento zonal (U) obtenida (para cada nivel y estación), se ha observado gran similitud para los niveles de 200 y 100 hPa. Sin embargo, en los niveles estratosféricos 50, 20 y 10 hPa se han observado discrepancias entre ambos reanálisis en la fracción de varianza explicada por los modos de variabilidad: ERA40 proporciona en general, modos con mayor porcentaje de varianza que los dados por NCEP/NCAR (sobre todo, en el caso de U). Este resultado entre reanálisis es coincidente con el obtenido para el geopotencial (Z).

Dado que en los niveles de interés (desde 50 a 10 hPa) los tres primeros modos de Z, T y U recogen una alta fracción de su respectiva variabilidad, el presente trabajo restringe el análisis comparativo entre reanálisis a estos tres modos.

Seguidamente se detallan las diferencias identificadas entre ambos reanálisis para cada una de las variables.

3.1.- Diferencias en la variabilidad estratosférica de la temperatura

I.- Al comparar las 60 parejas de EOFs (3 modos x 5 niveles x 4 estaciones) se han identificado 25 casos diferentes en temperatura, T, siendo la mayoría de los casos diferencias cuantitativas (Tabla 1).

hPa	Temperatura (T)			
	DEF	MAM	JJA	SON
10	EOF1 (0.95)	EOF1 (0.88)	EOF1 (0.50)	EOF1 (0.31)
	EOF3 (0.95)		EOF2 (0.48)	EOF2 (0.03)
			EOF3 (0.74)	EOF3 (0.47)
20	EOF3 (0.97)	EOF1 (0.97)	EOF1 (0.76)	EOF1 (0.76)
		EOF2 (0.90)	EOF3 (0.79)	EOF2 (0.42)
		EOF3 (0.89)		EOF3 (0.35)
50	EOF1 (0.99)	EOF2 (0.77)	EOF1 (0.87)	EOF1 (0.92)
		EOF3 (0.84)		
100	--	--	EOF1 (0.64)	EOF2 (0.72)
200	--	--	--	--

Tabla 1.- Casos diferentes entre NCEP/NCAR y ERA40 en las tres primeras EOFs de temperatura, bien en la intensidad de las anomalías o en la estructura espacial. Entre paréntesis el coeficiente de correlación de las PCs entre ambos reanálisis.

Las discrepancias en los modos de temperatura aparecen, fundamentalmente, en primavera, verano y otoño (84%); y casi todos los casos corresponden a los niveles superiores de 10, 20 ó 50 hPa. Sin embargo, al comparar las EOFs del geopotencial entre ambos reanálisis, las estaciones con mayor número de casos diferentes corresponden a invierno y otoño (Tabla 2), no presentando ninguno en verano ni en primavera en los tres niveles anteriores.

hPa	Altura del geopotencial (Z)			
	DEF	MAM	JJA	SON
10	EOF1 (1.00)		--	EOF1 (0.96)
	EOF2 (1.00)			EOF3 (0.96)
20	EOF1 (1.00)			EOF2 (0.83)
	EOF2 (1.00)			EOF3 (0.62)
50	--	--	--	EOF3 (0.79)
100	--	EOF1 (0.99)	EOF1 (0.91)	EOF3 (0.45)
200	EOF3 (0.89)	--	--	--

Tabla 2.- Como en Tabla 1, pero para el geopotencial.

Las figuras 1 y 2 muestran los dos tipos de casos diferentes de EOFs identificados para la temperatura; ambas figuras en el nivel de 10 hPa. El primer modo de temperatura en los meses de invierno, en dicho nivel estratosférico muestra diferencias cuantitativas de hasta 1.5°C (por desviación estándar de su PC) en la intensidad de las anomalías en la zona polar (Fig.1), con una fracción de varianza explicada superior al 60% en ambos reanálisis. En el caso del modo dominante del geopotencial invernal, es decir, de la Oscilación Ártica, ERA40 también proporciona una estructura anular más intensa que NCEP/NCAR. Nos parece interesante destacar este caso, ya que 10 hPa se toma como referencia para catalogar los eventos de calentamiento estratosférico.

En la Fig. 2 la discrepancia entre ambos reanálisis consiste en la configuración espacial de la segunda EOF de temperatura en los meses de otoño, correspondiente también al nivel superior de nuestro estudio, 10 hPa. Mientras que el reanálisis NCEP/NCAR proporciona una estructura dipolar en la zona Ártica, las anomalías de temperatura en la EOF2 dada por ERA40 están distribuidas zonalmente con el nodo en torno a 20°N.

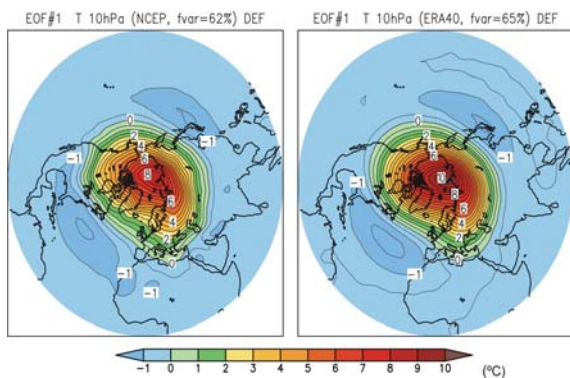


Fig. 1.- Primera EOF de la temperatura (°C/std) en 10 hPa en los meses de invierno (DEF) obtenida con los reanálisis NCEP/NCAR y ERA40.

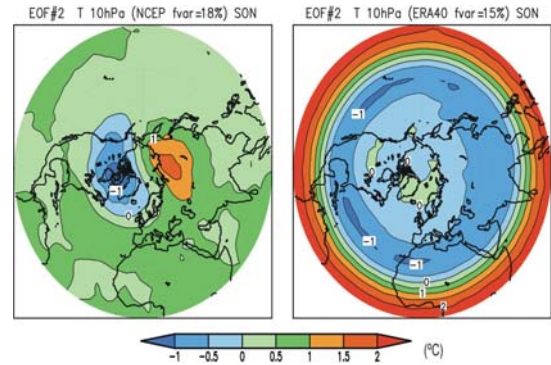


Fig. 2.- Segunda EOF de la temperatura (°C/std) en 10 hPa en los meses de otoño (SON) obtenida con los reanálisis NCEP/NCAR y ERA40.

II.- El coeficiente de correlación entre las PCs obtenidas con ambos reanálisis es alto en la mayoría de los casos, tanto en las de temperatura como en las de geopotencial.

En relación con el caso EOF2 de temperatura otoñal en 10 hPa, mostrado en la Fig.2, como caso diferente en configuración espacial entre reanálisis, en la Fig. 3 se incluye la componente principal de dicho modo en los cinco niveles de estudio. Si bien la correlación lineal en la PC2 es nula en 10 hPa, no es así en el resto de los niveles estratosféricos, especialmente en el de 50 hPa

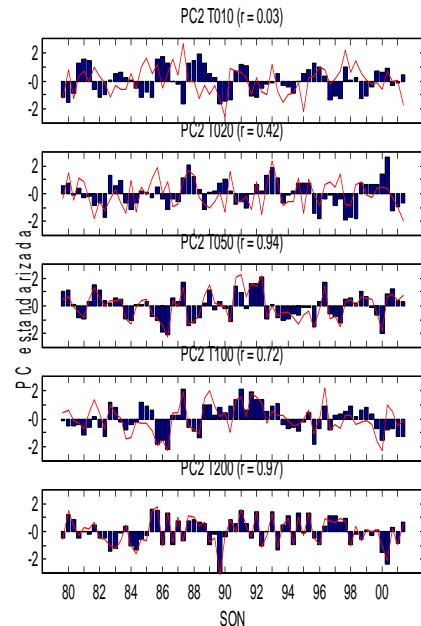


Fig. 3.- Componentes principales de temperatura de la EOF2 de otoño, en los cinco niveles de presión, dadas por datos del NCEP/NCAR (línea continua roja) y ERA40 (barras en azul). Entre paréntesis se incluye el coeficiente de correlación entre las PC2 de ambos reanálisis.

III.- La fracción acumulada de varianza por los cinco primeros modos, fvar12345, es muy parecida entre

ambos reanálisis, explicando en los niveles superiores como mínimo el 79% (Tabla 3).

	temperatura (T)		viento zonal (U)	
	DEF MAM	JJA SON	DEF MAM	JJA SON
NCEP	88%	79%	80%	85%
ERA40	87%	83%	86%	91%

Tabla 3.- Valor mínimo de fracción de varianza acumulada explicada por los primeros cinco modos de T y de U en los niveles 50, 20 y 10 hPa, dados por los reanálisis ERA40 y NCEP/NCAR.

Es interesante señalar la importancia del modo uno de la temperatura invernal y primaveral, en los niveles desde 100 hasta 10 hPa, con una fracción de varianza (fvar1) superior al 60%, mientras que la fvar2 es inferior al 20%. A modo ilustrativo, en la Fig. 4 se muestra cómo se distribuyen en primavera las fracciones de varianza correspondientes a cada uno de los cinco modos en los diferentes niveles de presión para ambos reanálisis. En ella, se pueden observar, además, ciertas diferencias entre reanálisis en los valores de la fvar1 en los niveles 100, 50 y 20 hPa (hasta un 4%).

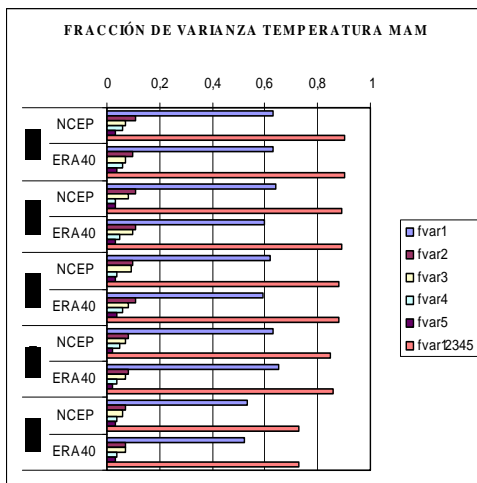


Fig. 4.- Fracción de varianza (tanto por uno) explicada por cada uno de los cinco primeros modos de temperatura (fvar1, fvar2,...) y acumulada (fvar12345) en los distintos niveles de presión en los meses de primavera (MAM)

En los meses de otoño, el primer modo de temperatura así como de geopotencial no supera el 50% de la correspondiente varianza total en ninguno de los cinco niveles de presión.

3.2.- Diferencias en la variabilidad estratosférica del viento zonal

I.- Tras comparar las 60 parejas de EOFs se han encontrado 18 casos en los que los reanálisis presentan diferente configuración espacial (6 casos) o diferencias en la intensidad de las anomalías superiores a $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}/\text{std}$ (12 casos).

Si bien en los meses de verano se han identificado el mayor número de casos diferentes entre ambos reanálisis (Tabla 5), es importante señalar que los modos 2 y 3 en los niveles más altos (50, 20 y 10 hPa) explican poca variabilidad del total del campo anómalo del viento zonal (Fig. 8).

En general, los modos diferentes del viento zonal entre reanálisis se han localizado en los tres niveles superiores (16 casos entre 18 en total). Son los niveles 20 y 50 hPa en los que aparecen mayor número de modos distintos de U entre reanálisis; además en todas las estaciones. Al representar la variabilidad de Z y T, las diferencias en las EOFs dadas entre ERA40 y NCEP se localizan en 10 y 20 hPa (Tablas 1 y 2).

Los modos con fvar > 4% en que existen diferencias en la configuración espacial corresponden: EOF2 invernal en 50 hPa (16% vs 25%), EOF2 y EOF3 estivales en 100 hPa (véase fvar en Fig. 4).

hPa	viento zonal (U)			
	DEF	MAM	JJA	SON
10	--	EOF1 (0.91)	EOF1 (0.83) EOF2* (0.72) EOF3* (0.37)	--
20	EOF1 (0.99)	EOF1 (0.99)	EOF1 (0.97) EOF3* (0.37)	EOF1 (0.98)
50	EOF1 (0.73) EOF2 (0.70)	EOF1 (0.75) EOF2 (0.73)	EOF1 (0.97) EOF3* (0.87)	EOF1 (0.98)
100	--	--	EOF2 (0.53) EOF3 (0.46)	--
200	--	--	--	--

Tabla 5.- Como en Tabla 1, pero para el viento zonal (* indica EOF con fvar ≤ 4%)

Un resultado a destacar en el estudio comparativo entre reanálisis es el hecho de que la EOF1 del viento zonal en todas las estaciones del año, con anomalías máximas en la franja ecuatorial, presenta diferencias cuantitativas en los niveles de 20 y 50 hPa (también en 10 hPa en los meses MAM y JJA). La Fig. 5a ilustra el caso correspondiente a la primavera en 20 hPa, observándose que si bien ambos reanálisis proporcionan una estructura común como modo dominante, ERA40 proporciona anomalías de U más intensas en la zona ecuatorial que NCEP/NCAR, así como una fracción de varianza superior en un 7%.

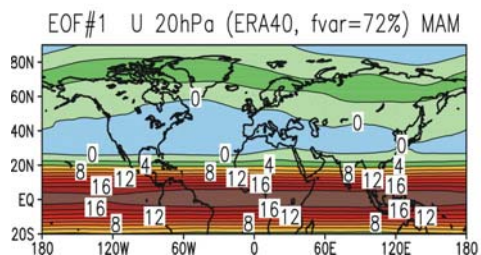
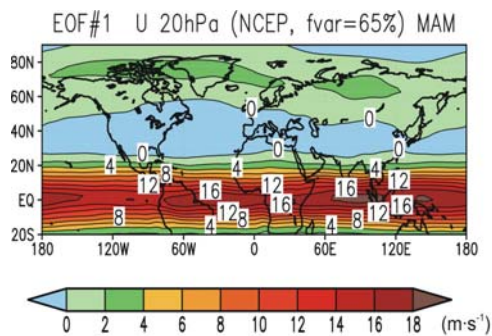


Fig. 5a.- Primera EOF del viento zonal ($m\cdot s^{-1}/std$) en 20 hPa en los meses de primavera (MAM) obtenida con los reanálisis NCEP/NCAR y ERA40.

Teniendo en cuenta la inexistencia de estaciones en los trópicos, se extrajo el modo dominante en esta región ($20^{\circ}S-20^{\circ}N$) considerando conjuntamente todos los meses del año, obteniéndose el mismo tipo de diferencia en dicho modo entre ambos reanálisis (Fig. 5b).

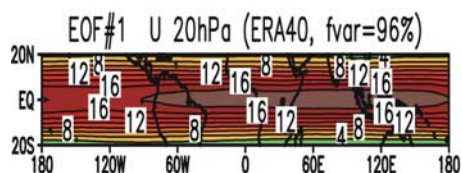
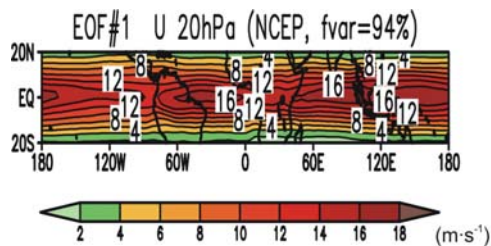


Fig. 5b.- Primera EOF del viento zonal ($m\cdot s^{-1}/std$) en 20 hPa en todos los meses del año obtenida con los reanálisis NCEP/NCAR y ERA40.

Por otro lado, la Fig. 6, correspondiente al modo dos de viento zonal invernal en 50 hPa, muestra un caso diferente entre reanálisis por la configuración espacial de la EOF. Es conveniente observar que se trata de un modo con cierta relevancia en la variabilidad del viento zonal en esta estación del año (con una fvar del 25% y 16% según ERA40 y NCEP/NCAR respectivamente).

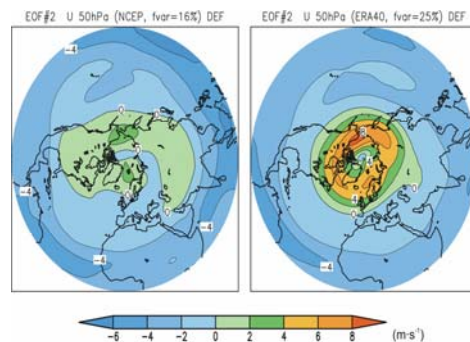


Fig.6.- Segunda EOF del viento zonal ($m\cdot s^{-1}/std$) en 50 hPa en los meses de invierno obtenida con los reanálisis NCEP/NCAR y ERA40.

Al comparar estos resultados en U con los obtenidos en términos del geopotencial, se observa muy pocas coincidencias entre ambas variables en lo relativo a modos diferentes entre reanálisis.

II.- Los coeficientes de correlación lineal r entre las series temporales de los principales modos del viento zonal entre ERA40 y NCEP/NCAR, correspondientes a los casos con estructura espacial similar, son altos (superiores al 0.72). Obviamente, entre las PCs de EOFs con estructuras dispares entre reanálisis (6 casos), la correlación no es muy elevada. Además, tres de los seis casos identificados corresponden a la EOF3 en JJA en los niveles 10, 20 y 50 hPa con fvar inferior al 2%, es decir, son modos poco relevantes en la variabilidad de U en los meses estivales.

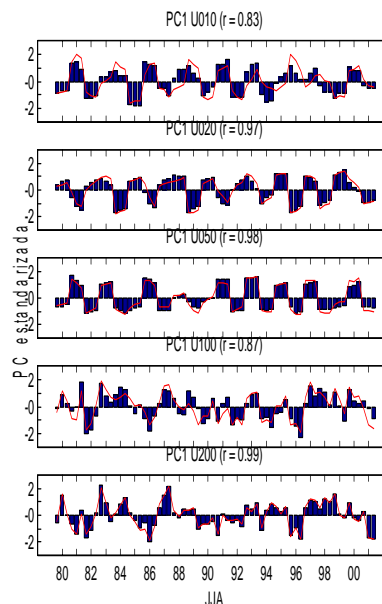


Fig. 7- Como Fig.3 pero para las PC1 del viento zonal en verano (JJA).

III.- Al comparar la variabilidad del viento zonal entre reanálisis, un primer resultado a destacar es que el primer modo dado por ERA40 en los niveles de 50, 20 y 10 hPa explica mayor porcentaje de

varianza del campo que el del NCEP/NCAR (con una diferencia desde 2 hasta 16 unidades). Este resultado es en gran parte responsable de que la $fvar_{12345}$ correspondiente a ERA40 sea superior a la asociada a NCEP/NCAR (Tabla 3). La Fig. 8 ilustra esta conclusión referente a los meses JJA.

Como ya se ha señalado, los dos reanálisis proporcionan una EOF1 del viento zonal en primavera y verano, coincidente en estructura espacial pero no en intensidad, en los niveles superiores. Conviene resaltar que se trata de un modo realmente predominante, oscilando su $fvar$ entre 84%-95% en verano (Fig. 8) y entre 41%-72% en primavera.

En cuanto al primer modo de U en los meses de otoño (otro caso diferente entre reanálisis), a diferencia de lo observado con la temperatura y el geopotencial, explica un altísimo porcentaje de varianza en los niveles 50, 20 y 10 hPa (superior al 60%).

Por el contrario, el primer modo del viento zonal en los meses de invierno no supera el 50% de su variabilidad en ninguno de los cinco niveles de presión, no siendo así con la temperatura ni con el geopotencial (con valores de $fvar$ comprendidos entre 55% y 70%).

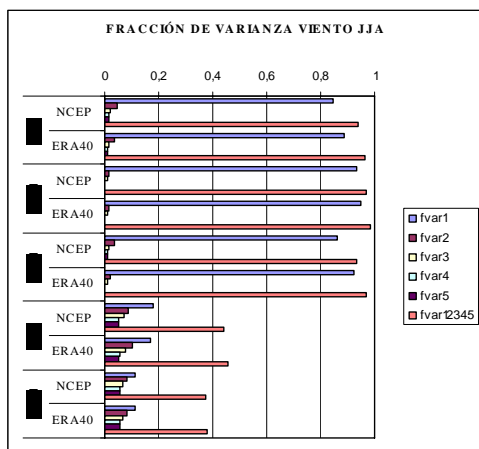


Fig. 8.- Como Fig.4 pero para el viento zonal en los meses de verano (JJA)

4.- CONCLUSIONES

Utilizando datos promedios mensuales de los reanálisis NCEP/NCAR y ERA40 del periodo 1980-2002 (es decir, incluyendo datos de satélite en el proceso de asimilación) se ha llevado a cabo un análisis comparativo sobre la variabilidad de temperatura y de viento zonal en niveles estratosféricos. Los resultados más relevantes del estudio son los siguientes:

- Las diferencias más notables entre reanálisis al comparar los cinco primeros modos de variabilidad de temperatura (T) y de viento zonal (U) se han observado en los niveles más altos (50, 20 y 10 hPa),

siendo en la mayoría de los casos de carácter cuantitativo.

- En general, los modos dados por ERA40 aportan mayor fracción de varianza y anomalías más altas en sus EOFs que los de NCEP/NCAR en los niveles de 50, 20 y 10 hPa.

- Se han identificado diferencias cuantitativas entre reanálisis en la EOF1 invernal de T y U en los niveles altos, lo que es relevante en relación a los calentamientos súbitos estratosféricos.

- En primavera, el modo principal de ambas variables (T y U) en 10, 20 y 50 hPa presenta diferencias cuantitativas entre ambos reanálisis. Este resultado referido al viento zonal es particularmente importante, debido a que esta variable es utilizada para la determinación de la fecha de la ruptura anual del vórtice polar.

- Verano y otoño son las estaciones en las que se han observado relevantes discrepancias en la estructura espacial de la EOF1 de la temperatura en 10 hPa. En este tipo de diferencia entre reanálisis, las EOFs dadas por ERA40 presentan consistencia vertical, es decir, sin cambios abruptos e su estructura (característica que no cumple las EOFs del NCEP/NCAR en tales casos).

- En verano, el dominante primer modo del viento zonal en 10, 20 y 50 hPa (con $fvar$ entre 84%-93% según NCEP/NCAR o 89%-95% según ERA40) presenta diferencias cuantitativas entre ambos reanálisis sobre la región ecuatorial, siendo ERA40 quien proporciona anomalías más intensas.

El estudio comparativo entre reanálisis realizado paralelamente sobre la variabilidad del geopotencial (Z) en la estratosfera permite concluir lo siguiente:

- Al igual que con T y U, las diferencias identificadas entre reanálisis corresponden en su mayor parte a modos de Z en 50, 20 y 10 hPa, con estructuras espaciales algo más intensas y con mayor fracción de varianza por parte de ERA40.

- A diferencia de lo observado con T y U, ambos reanálisis presentan gran coincidencia en estructura e intensidad de los principales modos de Z para los meses de primavera y verano (con la única excepción de un primer modo en 100hPa (Z100) algo más fuerte por parte de ERA40).

- Como con T y U, la EOF1 de Z en los meses de invierno dada por ERA40 muestra anomalías más altas que con datos del NCEP/NCAR en los niveles altos.

- Otoño es la única estación en la que se ha identificado modos con estructuras espaciales distintas entre reanálisis (EOF2 y EOF3).

Una de las posibles explicaciones a las diferencias encontradas entre los dos reanálisis en la estratosfera podría ser la distinta resolución vertical entre los modelos que han generado sendos reanálisis (siendo más fina en ERA40, con 17 niveles entre 200 y 10 hPa mientras que NCEP sólo

incluye 10 niveles; además 10 hPa sólo tiene un nivel hasta 3 hPa en NCEP y seis niveles en ERA40).

Independientemente de cuáles sean las causas de las diferencias identificadas en la variabilidad estratosférica entre ambos reanálisis, sería conveniente tener en cuenta tales discrepancias al comparar resultados entre estudios de variabilidad climática realizados con distinta base de datos.

5.-REFERENCIAS

ECMWF/GEO Workshop (2006): "ECMWF/GEO Workshop on Atmospheric Reanalysis". ECMWF Workshop Proceedings, 135 pp.

Kalnay, E. et al. (1996): "The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project" *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 3, 437–471.

Peixoto, J.P. and A.H. Oort (1992): "Physics of climate". Ed. American Institute of Physics, New York, 520 pp.

Rico, T. (2007): "Estudio sobre las diferencias entre los reanálisis ERA40 y NCEP/NCAR en su reproducción de la variabilidad estratosférica". Trabajo Investigación 3º Ciclo, UCM, 141 pp.

Serrano, E., T. Rico y B. Ayarzagüena (2008): "Comparación entre los reanálisis ERA40 y NCEP/NCAR en su representación de la variabilidad estratosférica". 6ª AHPGG, Tomar, Portugal.

Uppala, S.M. et al. (2005): "The ERA-40 Reanalysis" *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, **131**, 2961-3012. doi:10.1256/qj.04.176

